

TUGAS AKHIR

OPTIMASI PROPORSI BAHAN SUBTITUSI DALAM CAMPURAN BETON TERHADAP KUAT TEKAN MENGUNAKAN METODE *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*

***(OPTIMIZATION OF SUBSTITUTE MATERIAL
PROPORTIONS IN CONCRETE MIX DESIGN FOR
COMPRESSIVE STRENGTH USING ARTIFICIAL
NEURAL NETWORK METHOD)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**M. Ilyas Hibatulloh
20511188**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

OPTIMASI PROPORSI BAHAN SUBSTITUSI DALAM CAMPURAN BETON TERHADAP KUAT TEKAN MENGUNAKAN METODE *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* (*OPTIMIZATION OF SUBSTITUTE MATERIAL PROPORTIONS IN CONCRETE MIX DESIGN FOR COMPRESSIVE STRENGTH USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHOD*)

Disusun oleh
M. Ilyas Hibatulloh
20511188

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 18 Oktober 2024

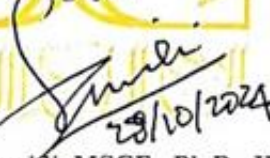
Oleh Dewan Penguji

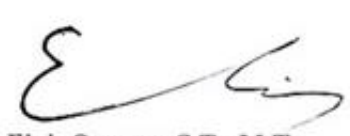
Penguji I

Penguji II

Pembimbing

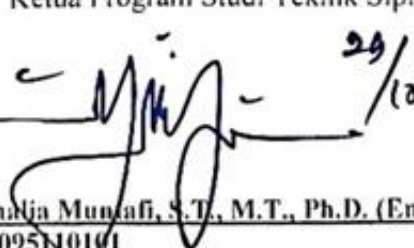

Astriaana Hardawati S.T., M.Eng.
NIP : 165111301


Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U.
NIP : 845110101


Elvis Saputra S.T., M.T.
NIP : 205111302

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil




Ir. Yuniha Munafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM.
NIP : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian Program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemui seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 18 Oktober 2024

Yang membuat pernyataan,



M. Ilyas Hibatulloh

20511188

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarokaatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan segenap rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Optimasi Proporsi Bahan Substitusi Dalam Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Menggunakan Metode *Artificial Neural Network*”. Tugas Akhir ini diajukan dan disusun guna memenuhi salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi pendidikan strata satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan bantuan, bimbingan, dan saran dari banyak pihak. Atas bantuan dari banyak pihak membuat penulis lebih mudah dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik. Maka dari itu, izinkan penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak terkait.

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, dorongan, saran, nasihat, motivasi, dan kesabarannya menghadapi penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U. Selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan arahnya dalam proses akhir penyusunan Tugas akhir ini.
4. Bapak Elvis Saputra S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan arahnya dalam proses akhir penyusunan Tugas akhir ini.

5. Seluruh dosen yang telah membagikan banyak ilmu kepada penulis selama menempuh studi di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
6. PT. Algoritma Data Indonesia telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mendapatkan beasiswa penuh dan belajar dalam program *Algoritma Apprenticeship & Scholarship* sehingga ilmu yang diperoleh dapat diterapkan dalam metode penelitian ini.
7. Muhammad Hidayatullah, S.Kom., selaku laboran Laboratorium Komputasi Teknik Sipil, yang selalu membantu serta melancarkan penulis selama proses penelitian.
8. Kedua orang tua penulis, Ibu Siti Chabibah dan Bapak Koyo, terima kasih atas semua nasihat, bimbingan, kesabaran, dan semua pengorbanan yang diberikan hingga selesainya Tugas Akhir ini.
9. Hanifatunnisa Amatulloh, Salwa Hayati, Ammala Syahida, dan Abdul Halim Shaleh, selaku saudara penulis yang selalu menghibur dan memberikan semangat.
10. Axsyal Aditya Nugraha, Laziqoh Zahatul Tolab, Dewi Maghfira Sjahrain, Muhammad Nizam Rizandy, Muhammad Farrel Ghiffary, selaku “keluarga kecil” penulis, terimakasih telah menemani penulis sepanjang studi berjalan.
11. Axsyal dan Maji'aturrohman, selaku partner studi penulis yang telah berjuang bersama sejak semester awal hingga kini.
12. Tiara Yayang Chairunnisa, Devastia Ade Ima Vidyaningrum, Dewi Nurindah Sari, selaku rekan yang selalu memberikan support, menerima keluhan kesah dan berbagi cerita dengan penulis
13. Mas Bibit, Mas Wiji, Mas Yoga, Mas Bas, Asid, Mukti, Yoga, Acheng, Jodi, Doni, Rakha, Naufal, Al-Hikam, selaku teman teman “Sarjana Teknik” yang telah mendukung dan membantu selama studi berlangsung.
14. Seluruh rekan dekat penulis dan pihak-pihak terkait yang telah bekerja sama, meskipun tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan dari awal hingga akhir perkuliahan.

Akhir kata, penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarokaatuh

Yogyakarta, 18 Oktober 2024



M. Hyas Hibatulloh

20511188



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Definisi Operasional	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Penelitian Terdahulu	8
2.2.1 Penggunaan Bahan Substitusi pada Campuran Beton	8
2.2.2 Prediksi Kuat Tekan Beton	10
2.2.3 Optimasi Dimensi Struktur Beton	11
2.2.4 Optimalisasi Beton Prategang PCI Girder pada Jembatan	11
2.3 Keaslian Penelitian	12
BAB III LANDASAN TEORI	22
3.1 Beton	22

3.2	Material Penyusun Beton	24
3.2.1	Semen Portland (PC)	24
3.2.2	Air	26
3.2.3	Agregat	28
3.2.4	Bahan Substitusi	31
3.3	<i>Fly Ash</i>	32
3.4	<i>Superplasticizer</i>	32
3.5	<i>Blast Furnace Slag</i>	33
3.6	Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)	34
3.7	Kuat Tekan Beton	42
3.8	<i>Exploratory Data Analysis (EDA)</i>	43
3.9	<i>Data Preprocessing</i>	47
3.10	<i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	50
3.10.1	<i>Artificial Neuron</i>	51
3.10.2	Arsitektur Jaringan <i>Artificial Neural Network</i>	54
3.10.3	<i>Hyperparameter Neural Network</i>	56
3.10.4	Pelatihan <i>Artificial Neural Network</i>	60
3.10.5	Algoritma <i>Backpropagation</i>	60
3.10.6	Permodelan <i>Artificial Neural Network</i>	62
3.10.7	<i>Loss Function</i>	64
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		67
4.1	Umum	67
4.2	Waktu dan Lokasi Penelitian	67
4.3	Jenis dan Variabel Penelitian	67
4.4	Data dan Metode Pengumpulan Data	68
4.5	Alat	70
4.6	Pelaksanaan Penelitian	70
4.6.1	Studi Literatur	70
4.6.2	Pengumpulan Data	70
4.6.3	Penentuan Parameter Desain Campuran Beton dan Pembuatan <i>Mix Design</i>	71

4.6.4	Perancangan Permodelan ANN	72
4.6.5	Optimasi Proporsi Bahan substitusi Menggunakan Model ANN	74
4.6.6	Kesimpulan dan Saran	75
4.7	Bagan Alir	75
BAB V PEMBAHASAN		77
5.1	Perencanaan Mix Design Beton	77
5.1.1	Proporsi Campuran Beton Kasus 1	77
5.1.2	Proporsi Campuran Beton Kasus 2	82
5.1.3	Proporsi Campuran Beton Kasus 3	83
5.1.4	Proporsi Campuran Beton Kasus 4	83
5.1.5	Proporsi Campuran Beton Kasus 5	84
5.1.6	Proporsi Campuran Beton Kasus 6	85
5.2	Pembuatan Model ANN	86
5.2.1	<i>Exploratory Data Analysis (EDA)</i>	86
5.2.2	<i>Data Preprocessing</i>	95
5.2.3	Pemilihan Arsitektural ANN	99
5.3	Aplikasi Model ANN untuk Optimasi Bahan Substitusi	121
5.3.1	Kasus 1	121
5.3.2	Kasus 2	123
5.3.3	Kasus 3	127
5.3.4	Kasus 4	131
5.3.5	Kasus 5	136
5.3.6	Kasus 6	143
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		150
6.1	Kesimpulan	150
6.2	Saran	153
DAFTAR PUSTAKA		155
LAMPIRAN		160

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil Pengujian Kuat Tekan	9
Tabel 2.2	Perbandingan Penelitian Ini dengan Studi Sebelumnya	14
Tabel 3.1	Gradasi Agregat	31
Tabel 3.2	Nilai Standar Deviasi	36
Tabel 3.3	Hubungan Faktor Air-Semen dan f'_{cr} Silinder Beton Pada Umur 28 Hari	37
Tabel 3.4	Penentuan Nilai FAS Maksimum dari Jenis Lokasi Pembetonan	38
Tabel 3.5	Nilai Slump Berdasarkan Jenis Pekerjaan	39
Tabel 3.6	Besar Butir Agregat Maksimum	39
Tabel 3.7	Perkiraan Kadar Air Bebas (liter/m^3) yang Dibutuhkan	40
Tabel 3.8	Perkiraan Kebutuhan Agregat Kasar per m^3 Beton Berdasarkan Ukuran Maksimum Agregat dan Modulus Halus Butir Pasir	41
Tabel 3.9	Hubungan Umur Beton Dengan Kuat Tekan	42
Tabel 4.1	Sampel Data Utama yang Digunakan	68
Tabel 4.2	Struktur Permodelan ANN	73
Tabel 5.1	Berat Jenis Komponen Campuran Beton	78
Tabel 5.2	Nilai Standar Deviasi	78
Tabel 5.3	Penentuan Faktor Air-Semen	79
Tabel 5.4	Pedoman Penentuan Nilai FAS Maksimum	79
Tabel 5.5	Pedoman Penentuan Nilai Slump Berdasarkan Jenis Pekerjaan	80
Tabel 5.6	Penentuan Kadar Air Bebas yang Akan Digunakan (liter/m^3)	81
Tabel 5.7	Penentuan Kebutuhan Agregat Kasar (m^3)	81
Tabel 5.8	Sampel Proporsi Campuran Beton Kasus 2	82
Tabel 5.9	Sampel Proporsi Campuran Beton Kasus 3	83
Tabel 5.10	Sampel Proporsi Campuran Beton Kasus 4	83
Tabel 5.11	Sampel Proporsi Campuran Beton Kasus 5	84
Tabel 5.12	Sampel Proporsi Campuran Beton Kasus 6	85
Tabel 5.13	Statistik Deskriptif Dataset	86

Tabel 5.14	Frekuensi Umur Beton	91
Tabel 5.15	Data Sebelum Normalisasi	98
Tabel 5.16	Normalisasi Data dengan <i>Min-Max Scaling</i>	98
Tabel 5.17	Normalisasi Data dengan <i>Z-Score Normalization</i>	99
Tabel 5.18	Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Layer	100
Tabel 5.19	Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Metode Normalisasi dan Fungsi Aktivasi	107
Tabel 5.20	Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Ukuran <i>Batch</i>	108
Tabel 5.21	Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Metode Pembagian Data	110
Tabel 5.22	Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Penghapusan Outlier	112
Tabel 5.23	Performa Model pada Data <i>Train, Validation, dan Test</i>	113
Tabel 5.24	Hasil Prediksi Kuat Tekan <i>Final Model</i>	115
Tabel 5.25	Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 1	121
Tabel 5.26	Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 2	123
Tabel 5.27	Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 2	128
Tabel 5.28	Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 3	132
Tabel 5.29	Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 5	136
Tabel 5.30	Kuat Tekan Maksimum Beton pada Berbagai Dosis <i>Superplasticizer</i> dan Proporsi <i>Fly ash</i> Terhadap Beton Normal	141
Tabel 5.31	Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 6	143
Tabel 5.32	Kuat Tekan Maksimum Beton pada Berbagai Dosis <i>Superplasticizer</i> dan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> Terhadap Beton Normal	148

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Variasi	9
Gambar 3.1	Proses Pencampuran Bahan Pembentuk Beton	24
Gambar 3.2	Grafik Hubungan Faktor Air Semen dengan Kuat Tekan Beton	27
Gambar 3.3	Proses Produksi Slag	34
Gambar 3.4	Contoh <i>Box-Plot</i>	44
Gambar 3.5	Jenis Distribusi pada Histogram	45
Gambar 3.6	Contoh Matriks Korelasi dan <i>Heatmap</i>	46
Gambar 3.7	Contoh Scatter Plot	47
Gambar 3.8	Model <i>Artificial Neuron</i>	52
Gambar 3.9	Arsitektur Jaringan Saraf Lapis Tunggal	55
Gambar 3.10	Arsitektur Jaringan Saraf Lapis Jamak	56
Gambar 3.11	Jenis Fungsi Aktivasi	58
Gambar 3.12	Arsitektur Jaringan Saraf Lapis Jamak	61
Gambar 3.13	Contoh Konfigurasi Permodelan	63
Gambar 4.1	Bagan Alir Penelitian	76
Gambar 5.1	Boxplot Komponen Campuran Beton dan Kuat Tekan	87
Gambar 5.2	Histogram Distribusi Komponen Campuran Beton	90
Gambar 5.3	Matriks Korelasi Antar Komponen	92
Gambar 5.4	<i>Scatter Plot Blast Furnace Slag</i> vs Kuat Tekan	93
Gambar 5.5	<i>Scatter Plot Fly Ash</i> vs Kuat Tekan	94
Gambar 5.6	<i>Scatter Plot Superplasticizer</i> vs Kuat Tekan	94
Gambar 5.7	Hasil Pemeriksaan Data yang Hilang (<i>Missing Value</i>)	95
Gambar 5.8	Frekuensi Pembagian Umur Beton dalam <i>Random Splitting</i>	96
Gambar 5.9	Frekuensi Pembagian Umur Beton dalam <i>Stratified Splitting</i>	97
Gambar 5.10	Proporsi Pembagian Umur Beton dalam <i>Random Splitting</i>	97
Gambar 5.11	Frekuensi Pembagian Umur Beton dalam <i>Stratified Splitting</i>	97
Gambar 5.12	Loss per <i>Epoch</i> Kombinasi Ukuran <i>Batch</i> 8	109
Gambar 5.13	Kurva Loss pada Proses <i>Training</i> dan <i>Validation</i>	113

Gambar 5.14	Kurva Koefisien Determinasi (R^2) <i>Train</i>	113
Gambar 5.15	Kurva Koefisien Determinasi (R^2) <i>Validation</i>	114
Gambar 5.16	Kurva Koefisien Determinasi (R^2) <i>Test</i>	114
Gambar 5.17	Perbandingan Persentase Kuat Tekan Terhadap Beton Umur 28 Hari Antara Prediksi ANN dengan PBI	122
Gambar 5.18	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> pada Umur 3 Hari	124
Gambar 5.19	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> pada Umur 7 Hari	124
Gambar 5.20	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> pada Umur 14 Hari	125
Gambar 5.21	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> pada Umur 28 Hari	125
Gambar 5.22	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> pada Berbagai Umur (3, 7, 14, dan 28 Hari)	125
Gambar 5.23	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Superplasticizer</i> pada Umur 3 Hari	128
Gambar 5.24	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Superplasticizer</i> pada Umur 7 Hari	129
Gambar 5.25	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Superplasticizer</i> pada Umur 14 Hari	129
Gambar 5.26	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Superplasticizer</i> pada Umur 28 Hari	129
Gambar 5.27	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Superplasticizer</i> pada Berbagai Umur (3, 7, 14, dan 28 Hari)	130
Gambar 5.28	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace</i> <i>Slag</i> pada Umur 3 Hari	132
Gambar 5.29	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace</i> <i>Slag</i> pada Umur 7 Hari	133
Gambar 5.30	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace</i> <i>Slag</i> pada Umur 14 Hari	133

Gambar 5.31	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> pada Umur 28 Hari	133
Gambar 5.32	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> pada Berbagai Umur (3, 7, 14, dan 28 Hari)	134
Gambar 5.33	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0%	137
Gambar 5.34	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,1%	137
Gambar 5.35	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,2%	138
Gambar 5.36	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,3%	138
Gambar 5.37	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,4%	138
Gambar 5.38	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,5%	139
Gambar 5.39	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,6%	139
Gambar 5.40	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,7%	139
Gambar 5.41	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,8%	140
Gambar 5.42	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,9%	140
Gambar 5.43	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 1%	140
Gambar 5.44	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Fly ash</i> pada Berbagai Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i>	141
Gambar 5.45	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0%	144

Gambar 5.46	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,1%	144
Gambar 5.47	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,2%	145
Gambar 5.48	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,3%	145
Gambar 5.49	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,4%	145
Gambar 5.50	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,5%	146
Gambar 5.51	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,6%	146
Gambar 5.52	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,7%	146
Gambar 5.53	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,8%	147
Gambar 5.54	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 0,9%	147
Gambar 5.55	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> dengan Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i> 1%	147
Gambar 5.56	Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi <i>Blast Furnace Slag</i> pada Berbagai Penambahan Kadar <i>Superplasticizer</i>	148

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	<i>Dataset</i> yang digunakan dalam penelitian	161
Lampiran 2	Proporsi Campuran Beton dan Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 2	189
Lampiran 3	Proporsi Campuran Beton dan Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 4	203
Lampiran 4	Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 5	217
Lampiran 5	Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 6	231



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ANN	= <i>Artificial neural network</i>
RMSE	= <i>Root Mean Square Error</i>
R^2	= Koefisien Determinasi
MAPE	= <i>Mean Absolute Percentage Error</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing and Materials</i>
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
PBI	= Peraturan Beton Indonesia
f'_c	= Kuat tekan beton (MPa)
f_{cr}	= Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (MPa)
f'_{c1}	= Kuat tekan yang lebih tinggi (MPa)
f'_{c2}	= Kuat tekan yang lebih rendah (MPa)
M	= Margin/nilai tambah kuat tekan beton (MPa)
MPa	= Megapascal
s	= Deviasi standar
S_r	= Deviasi standar yang direncanakan
x_i	= Kuat tekan beton dari tiap benda uji (MPa)
$\bar{x}$	= Kuat tekan beton rata-rata dari seluruh benda uji (MPa)
FAS	= Nilai Faktor Air-Semen
FAS_1	= Nilai FAS untuk kuat tekan yang lebih tinggi
FAS_2	= Nilai FAS untuk kuat tekan yang lebih rendah
c	= Jumlah semen yang dibutuhkan (kg/m ³)
W	= Jumlah air yang dibutuhkan (kg/m ³)
V_p	= Volume agregat halus (m ³)
V_w	= Volume kadar air bebas (m ³)
V_c	= Volume semen (m ³)
V_k	= Volume agregat kasar (m ³)
V_u	= Volume udara terperangkap (m ³)

P	= Beban/gaya tekan (N)
A	= Buas penampang dari benda uji (mm ²)
N	= Newton
Ce	= Semen
W	= Air
CA	= Agregat Kasar
FA	= Agregat Halus
F	= <i>Fly ash</i>
Sp	= <i>Superplasticizer</i>
BFS	= <i>Blast furnace slag</i>
x	= Nilai observasi
μ	= Rata-rata dari dataset
σ	= Deviasi standar dari dataset
IQR	= Rentang interkuartil
$Q1$	= Kuartil pertama
$Q3$	= Kuartil ketiga
$MCAR$	= <i>Missing Completely at Random</i>
MAR	= <i>Missing at Random</i>
$MNAR$	= <i>Missing Not at Random</i>
X'	= Nilai yang dinormalisasi
X_{min}	= Nilai minimum dalam dataset
X_{max}	= Nilai maksimum dalam dataset
Z	= Nilai Z (Z-score) dari data
x_i	= Sinyal input ke-i
w_i	= Bobot sinapsis yang terkait dengan input ke-i
θ	= Nilai ambang batas
u	= Potensi aktivasi
$g(.)$	= Fungsi aktivasi
y	= Sinyal output yang dihasilkan
$ReLU$	= <i>Rectified Linear Unit</i>
$Tanh$	= <i>Hyperbolic Tangent Function</i>

A	= Umur uji beton
At	= Target output atau nilai aktual data
Ft	= Output jaringan atau nilai hasil prediksi
n	= Jumlah data
EDA	= <i>Exploratory Data Analysis</i>
LOESS	= <i>Locally Estimated Scatterplot Smoothing</i>
mm	= Milimeter
cm	= Sentimeter



ABSTRAK

Sektor konstruksi memainkan peran penting dalam perekonomian Indonesia, dengan kontribusi 10,23% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) pada triwulan I tahun 2024. Beton, sebagai material utama dalam berbagai pembangunan, memiliki keunggulan seperti kekuatan tekan tinggi dan ketahanan yang baik, namun memiliki kelemahan terhadap gaya tarik. Upaya optimalisasi kuat tekan beton melalui penggunaan bahan substitusi, seperti fly ash, superplasticizer, dan blast furnace slag, telah dilakukan guna meningkatkan performa beton. Namun, tantangan muncul dalam menentukan proporsi bahan substitusi yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode Artificial Neural Network (ANN) untuk memprediksi kuat tekan beton dan mengoptimalkan proporsi bahan substitusi.

Model ANN yang dikembangkan menunjukkan kemampuan prediksi yang baik, dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 8,53%, *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 3,98 MPa, dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,92. Hasil prediksi kuat tekan menunjukkan bahwa proporsi fly ash optimal adalah 18,9% pada umur beton 28 hari, dan penggunaan superplasticizer 1% pada proporsi fly ash 24,1% memberikan peningkatan kuat tekan maksimum sebesar 21,83%. Proporsi superplasticizer yang optimal adalah 1%, dengan peningkatan kuat tekan sebesar 35,71% pada umur 14 hari. Penggunaan blast furnace slag optimal adalah 22,8%, dengan kuat tekan maksimum 43,29 MPa pada umur 28 hari. Penambahan superplasticizer 0,2% pada proporsi blast furnace slag 25% juga memberikan hasil yang baik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode ANN efektif dalam mengoptimalkan proporsi bahan substitusi untuk mencapai kuat tekan beton yang optimal, memberikan pendekatan yang lebih adaptif dan akurat dalam desain campuran beton untuk aplikasi konstruksi di Indonesia.

Kata kunci: Optimasi, Bahan substitusi, *Artificial Neural Network*, Kuat tekan.

ABSTRACT

The construction sector plays a crucial role in Indonesia's economy, contributing 10.23% to the Gross Domestic Product (GDP) in the first quarter of 2024. Concrete, as the primary material in various developments, boasts advantages such as high compressive strength and good durability, but it is weak in resisting tensile forces. Efforts to optimize concrete compressive strength using substitute materials like fly ash, superplasticizer, and blast furnace slag have been made to enhance concrete performance. However, challenges arise in determining the optimal proportions of these substitute materials. Therefore, this study uses the Artificial Neural Network (ANN) method to predict concrete compressive strength and optimize the proportions of substitute materials.

The developed ANN model demonstrates good predictive capability, with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 8.53%, a Root Mean Square Error (RMSE) of 3.98 MPa, and a coefficient of determination (R^2) of 0.92. The predicted compressive strength results show that the optimal fly ash proportion is 18.9% at 28 days of concrete age, and using 1% superplasticizer at a 24.1% fly ash proportion provides a maximum compressive strength increase of 21.83%. The optimal superplasticizer proportion is 1%, with a compressive strength increase of 35.71% at 14 days of age. The optimal blast furnace slag proportion is 22.8%, with a maximum compressive strength of 43.29 MPa at 28 days of age. Adding 0.2% superplasticizer at a 25% blast furnace slag proportion also yields good results. This study concludes that the ANN method is effective in optimizing substitute material proportions to achieve optimal concrete compressive strength, offering a more adaptive and accurate approach in concrete mix design for construction applications in Indonesia.

Keywords: Optimization, Substitute materials, Artificial Neural Network, Compressive strength.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor konstruksi memegang peran kunci dalam pertumbuhan ekonomi Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), kontribusi sektor konstruksi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) mencapai 10,23% pada triwulan I tahun 2024, menunjukkan betapa pentingnya sektor ini dalam pembangunan infrastruktur nasional. Beton, sebagai material utama dalam konstruksi, banyak digunakan dalam pembangunan gedung, jalan, dan berbagai jenis infrastruktur lainnya (Nugraha dan Hardawati, 2024). Menurut Latjemma (2022), beton memiliki sejumlah keunggulan, seperti kuat tekan yang tinggi, ketahanan yang baik, tidak memerlukan perawatan khusus, bahan campurannya mudah diperoleh, dan lebih awet dibandingkan bahan bangunan lainnya.

Sebagai bahan komposit, beton terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta bahan tambahan. Salah satu karakteristik terpenting dari beton adalah kuat tekan, yaitu kemampuan beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas (Mulyono, 2004). Kuat tekan beton menjadi indikator utama kinerja material ini, sehingga pengoptimalan proporsi bahan campuran sangat penting untuk menghasilkan beton yang kuat dan tahan lama.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bahan substitusi seperti fly ash dan blast furnace slag dapat meningkatkan kuat tekan beton, menekan biaya, dan memperbaiki workability campuran (Hamdi dkk., 2019). Superplasticizer juga terbukti membantu homogenitas campuran dan mempermudah pengerjaan, sambil meningkatkan kekuatan pada umur yang direncanakan (Faqihuddin dkk., 2021). Namun, penentuan proporsi bahan substitusi harus dilakukan dengan hati-hati, karena kesalahan dalam perbandingan bahan dapat mengurangi kekuatan beton (Mohamad dkk., 2020; Faqihuddin dkk., 2021).

Di samping metode konvensional seperti trial mix manual dan penggunaan tabel referensi, pendekatan modern melalui kecerdasan buatan menawarkan solusi

yang lebih akurat. Salah satu metode yang berkembang pesat adalah Artificial Neural Network (ANN). Menurut Haykin (2009), ANN mampu mengoptimalkan perhitungan kompleks dengan memanfaatkan program komputer untuk memodelkan hubungan berbagai variabel. Fausset (1994) menjelaskan bahwa ANN bekerja dengan meniru cara kerja jaringan saraf manusia, menghasilkan prediksi yang andal melalui proses pembelajaran.

Penggunaan ANN dalam bidang teknik sipil telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi, terutama dalam memprediksi kuat tekan beton dan mengoptimalkan desain struktur. Beberapa studi, seperti yang dilakukan oleh Rada dan Aji (2019), Prasetiawan (2019), serta Maji'aturrohmah dan Widodo (2024), mengungkapkan bahwa ANN dapat menghasilkan prediksi kuat tekan beton yang akurat serta membantu dalam optimalisasi desain struktur dengan persentase error yang rendah.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini akan berfokus pada optimasi proporsi bahan substitusi dalam campuran beton menggunakan metode ANN. Bahan substitusi yang digunakan meliputi fly ash, superplasticizer, dan blast furnace slag. Mengingat pentingnya kuat tekan sebagai indikator utama kualitas beton dan tantangan dalam menentukan proporsi bahan substitusi yang tepat, ANN diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih akurat dan efisien dibandingkan pendekatan tradisional. ANN akan memodelkan hubungan antara parameter campuran utama, bahan substitusi, dan umur beton sebagai input, serta kuat tekan sebagai target. Hasil dari model ini akan membantu menentukan proporsi optimal bahan substitusi, dengan harapan menciptakan metode desain campuran beton yang lebih adaptif dan andal untuk diterapkan dalam berbagai proyek konstruksi di Indonesia

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka terdapat tiga rumusan masalah untuk optimasi proporsi bahan substitusi dalam campuran beton untuk meningkatkan kuat tekan sebagai berikut.

1. Bagaimana tingkat keandalan dan kinerja model *Artificial Neural Network* (ANN) untuk prediksi kuat tekan beton sebagai dasar dalam memperkirakan proporsi campuran beton yang optimal?
2. Sejauh mana pengaruh variasi proporsi bahan substitusi terhadap kekuatan tekan beton?
3. Berapakah hasil proporsi bahan substitusi yang diusulkan untuk mencapai kuat tekan optimal pada campuran beton dengan pendekatan *Artificial Neural Network* (ANN)?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengevaluasi keandalan dan efektivitas model *Artificial Neural Network* (ANN) dalam prediksi kuat tekan untuk mengoptimalkan proporsi bahan substitusi dalam campuran beton.
2. Menganalisis sejauh mana variasi proporsi bahan substitusi mempengaruhi kekuatan tekan beton.
3. Menemukan proporsi optimal dari bahan substitusi yang memberikan kekuatan tekan beton maksimal dengan pendekatan *Artificial Neural Network* (ANN).

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Akan diperoleh efisiensi proporsi bahan substitusi pada campuran beton, sehingga memungkinkan konstruksi bangunan yang lebih efisien dan ekonomis.
2. Membuka jalan bagi inovasi dalam industri konstruksi dengan memanfaatkan teknologi kecerdasan buatan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi beton.
3. Mengurangi biaya dan waktu dalam proses pengembangan campuran beton melalui simulasi *Artificial Neural Network* (ANN) tanpa harus melalui pengujian langsung.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan dalam pelatihan model *Artificial Neural Network* (ANN) adalah *dataset open-source* yang berasal dari *UCI Machine Learning Repository* (1998) yang memuat informasi bahan utama penyusun beton, bahan substitusi, umur pengujian, dan kuat tekan beton.
2. Penelitian ini hanya menggunakan tiga jenis bahan substitusi, yaitu *fly ash* dan *blast furnace slag* sebagai substitusi sebagian semen, serta *superplasticizer* sebagai substitusi sebagian air. Penggunaan bahan lainnya tidak akan dibahas dalam penelitian ini.
3. Penelitian berfokus pada optimasi persentase proporsi bahan substitusi terhadap nilai kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari.
4. Nilai kuat tekan yang ditargetkan adalah 25 MPa.
5. Penelitian ini akan membatasi parameter kinerja hanya pada kuat tekan beton. Aspek lain seperti *workability*, nilai slump, kuat lentur, modulus elastisitas, penyerapan air, dan berat volume beton tidak termasuk dalam cakupan penelitian ini.
6. Keakuratan model ANN akan dievaluasi berdasarkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE), Koefisien Determinasi (R^2), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).
7. Simulasi optimasi proporsi bahan substitusi dilakukan menggunakan bantuan *Software* Microsoft Excel, Visual Studio Code, dan R Studio dengan asumsi bahwa parameter lain selain yang diteliti berada dalam kondisi standar.
8. Proses optimasi dilakukan menggunakan pendekatan *artificial neural network* (ANN).
9. Penelitian ini tidak mencakup analisis biaya terkait penggunaan bahan dalam proporsi tertentu serta reaksi kimiawi antar bahan. Fokus dari penelitian ini adalah pada evaluasi performa teknis kuat tekan beton, sehingga aspek ekonomis dan interaksi kimiawi antar bahan tidak menjadi bagian dari analisis yang dilakukan.

1.6 Definisi Operasional

Berikut adalah penjelasan tentang istilah-istilah yang digunakan dalam penulisan penelitian ini.

1. Optimasi adalah proses mencari nilai atau kondisi terbaik untuk suatu variabel atau sistem. Dalam penelitian ini, optimasi merujuk pada usaha menemukan proporsi bahan substitusi yang paling ideal terhadap kuat tekan beton menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN).
2. Proporsi adalah perbandingan jumlah atau rasio dari berbagai material yang digunakan dalam campuran beton. Dalam konteks penelitian ini, proporsi mengacu pada rasio penggunaan bahan substitusi dibandingkan dengan berat semen dalam campuran.
3. Bahan substitusi adalah material selain air, agregat, dan semen yang dicampurkan untuk menggantikan sebagian semen dalam campuran beton. Dalam penelitian ini, bahan substitusi digunakan untuk mengamati pengaruhnya terhadap kuat tekan beton, yang meliputi *fly ash*, *superplasticizer*, dan *blast furnace slag*.
4. Desain campuran beton adalah proses atau metode yang digunakan untuk menentukan proporsi bahan-bahan penyusun beton, seperti semen, agregat, air, dan bahan substitusi, yang menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kuat tekan yang diinginkan.
5. Kuat tekan atau kuat desak adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan ini diukur dengan uji kompresi pada spesimen beton berbentuk silinder atau kubus. Pada penelitian ini, yang digunakan adalah kuat tekan uniaksial, yaitu pengujian di mana tekanan diterapkan hanya dari satu arah, sesuai dengan standar pengujian beton.
6. *Artificial Neural Network* (ANN) adalah metode pemodelan yang meniru cara kerja jaringan saraf manusia dalam mengolah informasi dan melakukan prediksi. ANN akan digunakan dalam penelitian ini untuk mengoptimalkan proporsi bahan substitusi beton dengan cara memprediksi kuat tekan berdasarkan variabel input yang meliputi komposisi bahan campuran beton

dan umur beton. ANN bertujuan untuk menghasilkan model prediksi yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional.

7. *Dataset* adalah kumpulan data yang digunakan dalam penelitian atau analisis. *Dataset* yang dipakai pada penelitian ini bersumber dari *UCI Machine Learning Repository*, yang memuat informasi tentang bahan penyusun beton, umur beton dan hasil pengujian kuat tekan.
8. *Root Mean Square Error* (RMSE) adalah salah satu metrik yang digunakan untuk mengukur keakuratan model ANN dalam memprediksi kuat tekan beton. RMSE menunjukkan rata-rata kesalahan kuadrat dari hasil prediksi.
9. Koefisien Determinasi (R^2) adalah metrik yang menunjukkan seberapa baik model ANN dalam menjelaskan variasi dari data yang diukur. Nilai R^2 yang lebih tinggi menunjukkan model yang lebih akurat.
10. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) adalah metrik yang digunakan untuk mengukur persentase kesalahan absolut rata-rata dari hasil prediksi dibandingkan dengan data aktual.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan, metode ANN dianggap efektif dalam menyelesaikan masalah kompleks secara sistematis. Keakuratan metode ini bergantung pada tingkat korelasi antara data input dan output, karena ANN memproses informasi berdasarkan data historis yang telah diterima. Metode ini sangat dipengaruhi oleh jumlah dan kualitas sampel; semakin banyak sampel yang digunakan, semakin rendah tingkat kesalahannya. Penelitian ini melibatkan beberapa tahapan, yaitu pemodelan, pelatihan, pengujian, dan optimasi. Tahap pemodelan mencakup analisis data, identifikasi parameter yang digunakan, serta pemilihan struktur jaringan. Pada tahap pelatihan, data disiapkan dan konfigurasi dilakukan untuk proses pelatihan. Tahap pengujian dilakukan untuk memvalidasi akurasi estimasi, di mana persentase kesalahan dihitung dengan membandingkan nilai aktual dengan hasil estimasi. Setelah validasi dilakukan, tahap optimasi dilaksanakan. Pada tahap ini, hasil pemodelan digunakan untuk memprediksi kuat tekan pada beberapa kasus untuk kemudian diterapkan sebagai penentu proporsi bahan substitusi yang paling optimal dalam campuran beton.

Topik penelitian ini merupakan pengembangan dari metode optimasi di bidang konstruksi, sehingga penting untuk merujuk pada beberapa jurnal penelitian terdahulu sebagai bahan referensi. Peninjauan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya memungkinkan peneliti untuk menentukan parameter yang relevan serta mempelajari teori terkait penggunaan metode *Artificial Neural Network* (ANN) berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang memiliki relevansi dengan topik yang dipilih. Selain itu, dengan adanya peninjauan terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, orisinalitas penelitian ini dapat terkonfirmasi, memastikan bahwa kontribusi penelitian ini terhadap perkembangan metode optimalisasi dalam bidang konstruksi adalah valid dan unik. Bab ini akan

membahas penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dan menjelaskan perbedaan antara penelitian terdahulu dan penelitian yang sedang dilakukan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan sarana untuk mempelajari permasalahan, metode, kelebihan, kekurangan, dan hal-hal penting lainnya pada studi atau penelitian sebelumnya dengan maksud untuk menghasilkan penelitian baru yang orisinal dan baik. Berikut ini adalah beberapa studi dan penelitian yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis.

2.2.1 Penggunaan Bahan Substitusi pada Campuran Beton

Penelitian terkait penggunaan penggunaan bahan substitusi pada campuran beton pernah dilakukan oleh Mohamad, Rachman, dan Mointi (2020) dengan judul Kuat Tekan Beton Untuk Mutu Tinggi 45 MPa dengan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen, dan Faqihuddin, Hermansyah, dan Kurniati (2021) dengan judul Tinjauan Campuran Beton Normal dengan Penggunaan *Superplasticizer* Sebagai Bahan Pengganti Air Sebesar 0%; 0,3%; 0,5% Dan 0,7% Berdasarkan Berat Semen.

Penelitian yang dilakukan oleh Mohamad, Rachman, Mointi (2020) bertujuan untuk mendapatkan proporsi campuran optimum dan mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan *fly ash* pada beton mutu tinggi 45 MPa. Variasi *fly ash* yang digunakan ialah dengan persentase 0%, 25%, 30%, 35% dan 40% dari berat semen. Penelitian dilakukan dengan cara uji eksperimental, dimulai dari tahap perhitungan campuran beton, pengecekan kandungan air dalam material (pasir dan kerikil), kemudian persiapan bahan dan material, pembuatan benda uji, sampai dengan pengujian kuat tekan setelah beton berumur 28 hari.

Hasil pengujian kuat tekan paling tinggi didapatkan nilai 52,90 MPa pada beton normal tanpa *fly ash*, sedangkan pada penggunaan *fly ash* 25% didapatkan kuat tekan senilai 53,31 MPa, penggunaan *fly ash* 30% didapatkan nilai kuat tekan sebesar 45,81 MPa, penggunaan *fly ash* 35% didapatkan nilai kuat tekan sebesar 43,66 MPa, dan penggunaan *fly ash* 40% didapatkan nilai kuat tekan sebesar 43,66

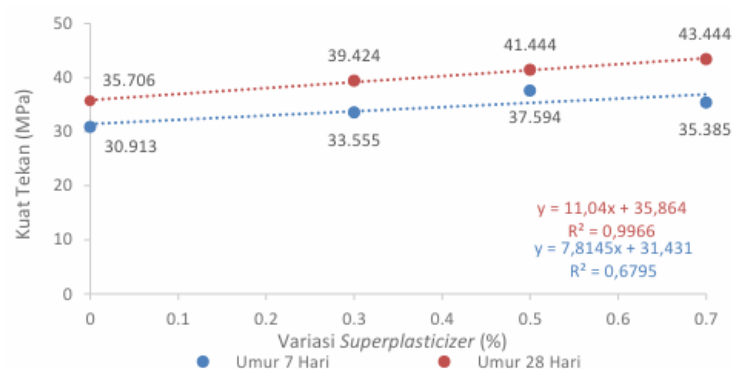
MPa. Sehingga dari penelitian yang dilakukan, didapatkan persentase *fly ash* yang disarankan agar masih bisa mendapatkan kuat rencana adalah di angka 20% – 30%.

Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Faqihuddin, Hermansyah, Kurniati (2021) bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi persentase penggunaan *superplasticizer* sebagai bahan pengganti air terhadap nilai slump dan kuat tekan beton mutu 25 MPa. Variasi *superplasticizer* yang digunakan ialah dengan presentase 0%; 0,3% 0,5% dan 0,7% dari berat semen. Penelitian dilakukan dengan cara uji eksperimental dengan pengujian kuat tekan setelah beton berumur 7 hari dan 28 hari. Hubungan kuat tekan dengan variasi dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Variasi (%)	Beban Tekan Rata-rata (kN)		Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	
	7 Hari	28 Hari	7 Hari	28 Hari
0	546,00	630,60	30,913	35,706
0,3	592,60	696,30	33,555	39,424
0,5	664,00	732,00	37,594	41,444
0,7	625,00	773,60	35,385	43,444

Sumber: Faqihuddin, Hermansyah, Kurniati (2021)



Gambar 2.1 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Variasi
(Sumber: Faqihuddin, Hermansyah, Kurniati, 2021)

Dari pengujian yang dilakukan, pada beton umur 7 hari didapatkan nilai kuat tekan optimum berada pada beton yang menggunakan kadar *superplasticizer* sebanyak 0,5%, dengan kuat tekan sebesar 37,594 MPa, meningkat sebanyak 20,612% dibandingkan dengan kuat tekan beton normal yang berada di angka 30,913 MPa. Sedangkan pada beton umur 28 hari nilai kuat tekan maksimum yang didapatkan adalah 43,444 MPa pada variasi kadar *superplasticizer* 0,7%.

2.2.2 Prediksi Kuat Tekan Beton

Penelitian terkait prediksi kuat tekan beton dengan judul Prediksi Kekuatan Beton Berdasarkan *Parameter Design, Hammer Test* Dan Test UPV dengan Menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) pernah dilakukan oleh Rada dan Aji pada tahun 2019. Penelitian ini memiliki tujuan untuk memprediksi kuat tekan beton existing tanpa menggunakan tes destruktif yang merusak permukaan beton. Penelitian dilakukan dengan cara membuat sampel benda uji silinder yang kemudian di uji kuat tekan nya menggunakan 3 metode; uji hammer test, uji UPV, dan uji kuat tekan konvensional menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). Data komposisi mix desain beton, hasil pengujian hammer test dan pengujian UPV akan digunakan sebagai data *input* pada permodelan ANN, yang kemudian akan diolah menggunakan algoritma *backpropagation* dan menghasilkan data *output* / target yang akan dicapai berupa kuat tekan beton pada umur 3 hari dan 28 hari. Sedangkan data hasil pengujian kuat tekan konvensional akan digunakan sebagai pembanding keakuratan kuat tekan hasil prediksi ANN dengan kuat tekan aktual.

Sampel yang digunakan adalah benda uji silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm sebanyak 45 pasang untuk masing-masing beton umur 3 hari dan umur 28 hari. Variasi campuran beton yang digunakan pada sampe memiliki rasio air-semen 0,45; 0,50; 0,55 dan rasio berat *fly ash* sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%. Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa metode ANN dapat digunakan bersama data NDT dan Mix design untuk memprediksi kuat tekan beton umur 3 hari dengan error MSE 5,83 nilai regresi 0,89 dan umur 28 hari error MSE 4,70 nilai regresi 0,87.

2.2.3 Optimasi Dimensi Struktur Beton

Penelitian terkait optimasi dimensi struktur beton dengan judul Optimasi Dimensi Balok Struktur Portal Beton 3D Bangunan Kantor Tiga Lantai dengan Metode *Artificial Neural Network* pernah dilakukan oleh Prasetiawan pada tahun 2019. Penelitian ini memiliki tujuan untuk memperoleh rumus empiris guna mendapatkan dimensi dan luas tulangan balok yang optimum dengan variasi bentang balok, tinggi kolom, jumlah lantai dan resiko gempa. Penelitian dilakukan dengan cara melakukan permodelan struktur dengan variasi model dalam beberapa parameter seperti bentang balok, bentang kolom, percepatan gempa, dan jumlah lantai dalam *software* SAP 2000. Hasil permodelan yang didapatkan dari permodelan berupa dimensi dan luas tulangan. Variabel yang didapatkan tadi kemudian akan diolah melalui program MATLAB dengan metode ANN untuk dilatih guna mendapatkan persamaan empiris.

Sampel yang digunakan adalah struktur portal bangunan kantor dengan variasi percepatan gempa di Indonesia, bentang balok 3 – 4 meter, tinggi kolom 3,5 – 4,5 meter, dan jumlah lantai antara 1 – 3 lantai. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan 12 rumus empiris yang dapat digunakan untuk memprediksi dimensi balok dan kolom yang optimum, dengan persentase *error* maksimum dari hasil interpolasi rumus empiris terjadi adalah sebesar 9%. Selain itu, dari penelitian ini juga dapat disimpulkan bahwa luas tulangan kolom dan balok akan meningkat seiring dengan meningkatnya parameter jumlah lantai, percepatan gempa, bentang balok, serta bentang kolom.

2.2.4 Optimalisasi Beton Prategang PCI Girder pada Jembatan

Penelitian dengan judul Optimalisasi Beton Prategang PCI Girder Pada Jembatan Pening Kloji, Mojokerto Menggunakan Metode *Artificial Neural Network* pernah dilakukan oleh Maji'aturrohman dan Widodo pada tahun 2024. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prinsip ANN untuk optimalisasi desain beton prategang pada jembatan yang ditinjau segi tinggi girder, gaya dalam yang dihasilkan, dan biaya yang direncanakan. Penelitian dilakukan dengan cara melakukan analisa struktur dengan variasi parameter panjang bentang, persentase parsial prestress, mutu beton, mutu baja, diameter, jumlah dan luas strands, serta

jumlah dan jarak antar gelagar yang di *trial* sebanyak 150 percobaan, parameter-parameter tadi digunakan sebagai variabel input pada jaringan ANN dengan bantuan *software* MATLAB. Hasil analisa yang diperoleh adalah tinggi girder, momen, gaya geser, dan biaya rencana.

Sampel yang digunakan adalah gelagar beton prategang profil I pada Jembatan Pening Kloji di Kabupaten Mojokerto Jawa Timur, dengan bentang jembatan sepanjang 50 meter, dan lebar 11 meter. Persentase eror yang didapatkan dari hasil perbandingan antara prediksi ANN dengan hasil prediksi berdasarkan rumus empiris adalah sebesar 7,56%. Prediksi ANN dapat dikatakan optimum dari segi biaya, mengingat biaya yang direncanakan 20,13% lebih murah dari jembatan eksisting.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian ini merupakan hasil karya asli yang berfokus pada optimasi proporsi bahan substitusi dalam campuran beton menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Dalam penelitian ini, ANN digunakan untuk memodelkan hubungan antara parameter campuran beton, bahan substitusi, dan umur beton dengan kuat tekan sebagai target prediksi. Model ANN ini kemudian digunakan untuk menentukan proporsi bahan substitusi yang optimal.

Penelitian ini berbeda dengan penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Mohamad dkk. (2020) dan Faqihuddin dkk. (2021), yang lebih menekankan pada metode eksperimental tanpa memanfaatkan ANN sebagai alat pemodelan. Penelitian ini menggunakan pendekatan berbeda dengan memanfaatkan ANN untuk mengoptimalkan proporsi bahan substitusi, bukan berdasarkan eksperimental.

Penelitian sebelumnya yang menggunakan ANN, seperti yang dilakukan oleh Rada dan Aji (2019), Prasetiawan (2019), serta Maji'aturrohman dan Widodo (2024), berfokus pada objek yang berbeda. Misalnya, Rada dan Aji (2019) menggunakan ANN untuk memprediksi kuat tekan beton berdasarkan uji hammer test, Prasetiawan (2019) mengaplikasikan ANN dalam optimasi dimensi balok struktur, sedangkan Maji'aturrohman dan Widodo (2024) meneliti penggunaan ANN dalam optimalisasi beton prategang PCI girder pada jembatan. Penelitian ini

menawarkan kontribusi yang berbeda karena fokus dan objeknya pada optimasi proporsi bahan substitusi dalam campuran beton.

Dengan demikian, meskipun ANN telah digunakan dalam berbagai penelitian di bidang teknik sipil, penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan fokus pada pengoptimalan proporsi bahan substitusi dalam campuran beton. Keaslian penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan karena memperkenalkan pendekatan ANN yang relevan dan kontekstual, dengan objek serta tujuan yang berbeda dari penelitian-penelitian sebelumnya.

Perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya kemudian dirangkum dan dapat dilihat dalam Tabel 2.2.



Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Ini dengan Studi Sebelumnya

No	Parameter	Mohamad, Rachman, dan Mointi (2020)	Faqihuddin, Hermansyah, dan Kurniati (2021)	Rada dan Aji (2019)	Prasetiawan (2019)	Maji'aturrohman dan Widodo (2024)	Penulis (2024)
1	Judul Penelitian	Kuat Tekan Beton Untuk Mutu Tinggi 45 Mpa dengan <i>Fly ash</i> Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen	Tinjauan Campuran Beton Normal dengan Penggunaan <i>Superplasticizer</i> Sebagai Bahan Pengganti Air Sebesar 0%; 0,3%; 0,5% Dan 0,7% Berdasarkan Berat Semen	Prediksi Kekuatan Beton Berdasarkan Parameter Design, Hammer Test Dan Test UPV dengan Menggunakan Artificial Neural Network (ANN)	Optimasi Dimensi Balok Struktur Portal Beton 3D Bangunan Kantor Tiga Lantai dengan Metode <i>Artificial Neural Network</i>	Optimalisasi Beton Prategang PCI <i>Girder</i> Pada Jembatan Perring Kloji, Mojokerto Menggunakan Metode <i>Artificial Neural Network</i>	Optimasi Proporsi Bahan Substitusi Dalam Campuran Beton Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Menggunakan Metode <i>Artificial Neural Network</i>
2	Tujuan Penelitian	Mendapatkan proporsi campuran optimum dan mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan <i>fly ash</i>	Mengetahui pengaruh variasi persentase penggunaan <i>superplasticizer</i> sebagai bahan pengganti air terhadap nilai slump dan kuat	Memprediksi kuat tekan beton existing tanpa menggunakan tes destruktif yang merusak permukaan beton.	Memperoleh rumus empiris guna mendapatkan dimensi dan luas tulangan balok yang optimum dengan variasi	Mengetahui prinsip ANN untuk optimalisasi desain beton prategang pada jembatan yang ditinjau segi tinggi girder,	Mendapatkan proporsi campuran optimum dan mengetahui pengaruh <i>fly ash</i> , <i>superplasticizer</i> , dan <i>blast</i>

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Ini dengan Studi Sebelumnya

No	Parameter	Mohamad, Rachman, dan Mointi (2020)	Faqihuddin, Hermansyah, dan Kurniati (2021)	Rada dan Aji (2019)	Prasetiawan (2019)	Maji'aturrohman dan Widodo (2024)	Penulis (2024)
		pada beton mutu tinggi 45 MPa	tekan beton mutu 25 MPa.		bentang balok, tinggi kolom, jumlah lantai dan resiko gempa	gaya dalam yang dihasilkan, dan biaya yang direncanakan	<i>furnace slag</i> terhadap nilai kuat tekan beton menggunakan pendekatan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN)
3	Metode Penelitian	Penelitian ini dilakukan dengan cara uji eksperimental, dimulai dari tahap perhitungan campuran beton, pengecekan kandungan air dalam material (pasir dan kerikil),	Penelitian dilakukan dengan dengan studi eksperimental, dimulai dari tahap persiapan alat dan bahan, pengujian bahan, perhitungan rancangan campuran, pengujian nilai	Penelitian dilakukan dengan cara membuat sampel benda uji silinder lalu dilakukan uji hammer test dan uji UPV. Dari data hasil uji tersebut kemudian data diolah menggunakan	Penelitian dilakukan dengan cara melakukan permodelan struktur dengan variasi model dalam beberapa parameter seperti bentang balok, bentang kolom, percepatan gempa, dan	Penelitian dilakukan dengan cara melakukan analisa struktur dengan variasi parameter desain jembatan yang di trial sebanyak 150 percobaan, parameter-parameter tadi digunakan sebagai variabel input pada	Penelitian dilakukan dengan cara mengembangkan model ANN yang dapat memprediksi kekuatan tekan beton berdasarkan data yang diperoleh. Model ANN yang dapat akan

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Ini dengan Studi Sebelumnya

No	Parameter	Mohamad, Rachman, dan Mointi (2020)	Faqihuddin, Hermansyah, dan Kurniati (2021)	Rada dan Aji (2019)	Prasetiawan (2019)	Maji'aturrohman dan Widodo (2024)	Penulis (2024)
		kemudian persiapan bahan dan material, pembuatan benda uji, sampai dengan pengujian kuat tekan setelah beton berumur 28 hari.	slump, pembuatan dan perawatan benda uji hingga pengujian kuat tekan pada beton umur 7 dan 28 hari.	algoritma ANN dengan target yang akan dicapai berupa kuat tekan beton pada umur 3 hari dan 28 hari. Hasil nya permodelan ANN akan divalidasi dengan membandingkannya dengan kuat tekan aktual berdasarkan uji menggunakan <i>Compression Testing Machine</i> (CTM).	jumlah lantai dalam software SAP 2000. Hasil permodelan yang didapatkan dari permodelan berupa dimensi dan luas tulangan. Variabel yang didapatkan kemudian diolah melalui program MATLAB dengan metode ANN untuk dilatih guna mendapatkan persamaan empiris.	jaringan ANN dengan bantuan software MATLAB. Hasil analisa yang diperoleh adalah tinggi girder, momen, gaya geser, dan biaya rencana.	dievaluasi menggunakan metrik evaluasi seperti RMSE, MSE, dan R^2 untuk memastikan akurasi model. Dari model ANN yang sudah divalidasi keakuratan nya, kemudian digunakan untuk simulasi dengan berbagai kombinasi proporsi bahan substitusi hingga didapatkan kombinasi yang paling optimal.

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Ini dengan Studi Sebelumnya

No	Parameter	Mohamad, Rachman, dan Mointi (2020)	Faqihuddin, Hermansyah, dan Kurniati (2021)	Rada dan Aji (2019)	Prasetiawan (2019)	Maji'aturrohman dan Widodo (2024)	Penulis (2024)
4	Parameter atau Variabel	Campuran beton mutu tinggi 45 MPa dengan variasi persentase <i>fly ash</i> yang digunakan sebanyak 0%, 25%, 30%, 35% dari berat semen.	Campuran beton mutu 25 MPa dengan variasi persentase <i>superplasticizer</i> yang digunakan sebanyak 0%; 0,3% 0,5% dan 0,7% dari berat semen.	Campuran beton dengan variasi komposisi mix design (w/c 0,45-0,55, rasio berat <i>fly ash</i> sebanyak 0-25%), hasil pengujian <i>Hammer Test</i> dan <i>UPV Test</i> . Masing-masing parameter diambil pada tiap umur 3 hari dan 8 hari.	Variasi desain gedung: bentang balok, bentang kolom, tinggi bangunan, percepatan dan resiko gempa, jenis tanah, dan jumlah lantai.	Variasi desain jembatan: panjang bentang (L), presentase parsial prestress, mutu beton (f'c), mutu baja (fy), diameter stands (Dps), jumlah strands (nstrand), luas strands (Astrand), jarak antar gelagar (Sg), dan jumlah gelagar (ng).	Campuran beton normal dengan variasi persentase <i>fly ash</i> , <i>superplasticizer</i> , dan <i>blast furnace slag</i> .

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Ini dengan Studi Sebelumnya

No	Parameter	Mohamad, Rachman, dan Mointi (2020)	Faqihuddin, Hermansyah, dan Kurniati (2021)	Rada dan Aji (2019)	Prasetiawan (2019)	Maji'aturrohman dan Widodo (2024)	Penulis (2024)
5	Cakupan Penelitian	Pengujian material, kemudahan pengerjaan (workability), berat volume beton, dan kuat tekan beton.	Pengujian material, kemudahan pengerjaan (workability), berat volume beton, dan kuat tekan beton.	Kuat tekan beton sebagai output yang dihasilkan, <i>Artificial Neural Network</i> sebagai alat bantu prediksi, dan (<i>Mean Squared Error</i>) MSE <i>testing</i> sebagai validasi keakuratan perhitungan.	Rumus empiris untuk penentuan dimensi struktur dan luas tulangan sebagai output yang dihasilkan, <i>Artificial Neural Network</i> sebagai alat bantu prediksi, dan <i>Mean Absolute Persentage Error</i> (MAPE) sebagai validasi keakuratan perhitungan.	Tinggi girder (H), momen (M), gaya geser (V), dan biaya (C) sebagai output yang dihasilkan, <i>Artificial Neural Network</i> dan <i>software MATLAB</i> sebagai alat bantu prediksi, dan <i>Mean Absolute Persentage Error</i> (MAPE) sebagai validasi keakuratan perhitungan.	Kuat tekan beton sebagai output yang dihasilkan, <i>Artificial Neural Network</i> sebagai alat bantu prediksi, dan <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE), koefisien determinasi (R^2), dan <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE) sebagai validasi keakuratan Perhitungan.

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Ini dengan Studi Sebelumnya

No	Parameter	Mohamad, Rachman, dan Mointi (2020)	Faqihuddin, Hermansyah, dan Kurniati (2021)	Rada dan Aji (2019)	Prasetiawan (2019)	Maji'aturrohman dan Widodo (2024)	Penulis (2024)
6	Arsitektur ANN	-	-	Model arsitektural yang digunakan berupa 4 neuron pada input layer, 10 neuron pada hidden layer, dan 1 neuron pada output layer.	Model pertama menggunakan 5 neuron pada input layer, 2 neuron pada hidden layer, dan 1 neuron pada output layer berupa dimensi balok. Model kedua menggunakan 6 neuron pada input layer, 2 neuron pada hidden layer, dan 1 neuron pada output layer berupa luas tulangan balok.	Pada penelitian menggunakan 4 permodelan ANN. Model menggunakan <i>Multi-Input Neuron</i> dengan jumlah neuron pada input layer secara berurutan 1, 7, 8 dan 9 neuron. Algoritma yang digunakan adalah <i>backpropagation</i> .	-

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Ini dengan Studi Sebelumnya

No	Parameter	Mohamad, Rachman, dan Mointi (2020)	Faqihuddin, Hermansyah, dan Kurniati (2021)	Rada dan Aji (2019)	Prasetiawan (2019)	Maji'aturrohman dan Widodo (2024)	Penulis (2024)
7	Hasil Penelitian	Persentase <i>fly ash</i> paling optimum yang didapat adalah 25% dengan nilai kuat tekan 53,31 MPa, lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan beton normal yang berada pada angka 52,90 MPa.	Persentase <i>superplasticizer</i> paling optimum pada umur 7 hari yang didapat adalah variasi 0,5% dengan nilai kuat tekan 37,594 MPa dan persentase paling optimum pada umur beton 28 hari didapatkan pada variasi 0,7% dengan nilai kuat tekan 43,444 MPa, meningkat sebanyak 20,612%	Metode ANN dapat digunakan bersama data NDT dan Mix design untuk memprediksi kuat tekan beton umur 3 hari dengan error MSE 5,83 nilai regresi 0,89 dan umur 28 hari error MSE 4,70 nilai regresi 0,87.	Didapatkan 12 rumus empiris yang dapat digunakan untuk memprediksi dimensi balok dan kolom yang optimum, dengan persentase error maksimum dari hasil interpolasi rumus empiris terjadi adalah sebesar 9%. Selain itu, dari penelitian ini juga dapat disimpulkan bahwa luas tulangan kolom	Persentase eror yang didapatkan dari hasil perbandingan antara prediksi ANN dengan hasil prediksi berdasarkan rumus empiris adalah sebesar 7,56%. Prediksi ANN dapat dikatakan optimum dari segi biaya, mengingat biaya yang direncanakan 20,13% lebih murah dari jembatan eksisting.	-

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Ini dengan Studi Sebelumnya

No	Parameter	Mohamad, Rachman, dan Mointi (2020)	Faqihuddin, Hermansyah, dan Kurniati (2021)	Rada dan Aji (2019)	Prasetiawan (2019)	Maji'aturrohmah dan Widodo (2024)	Penulis (2024)
			dibandingkan dengan kuat tekan beton normal.		dan balok akan meningkat seiring dengan meningkatnya parameter jumlah lantai, percepatan gempa, bentang balok, serta bentang kolom.		

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah bahan komposit yang bergantung pada kualitas masing-masing material pembentuknya. Beton terbuat dari beberapa bahan utama, seperti semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambah jika diperlukan untuk komposisi tertentu. Bahan tambah yang digunakan dapat berupa bahan kimia, serat, ataupun bahan buangan non-kimia.

Bahan-bahan tadi akan digabungkan menjadi sebuah campuran beton yang berbentuk plastis, yang kemudian dituang ke dalam cetakan dan ditunggu hingga mengeras. Beton terus bertambah keras seiring bertambahnya usia karena proses kimia yang terjadi antara semen dan air, dengan umur beton.

Selain sifat-sifat bahan dasar yang digunakan dalam pembentukan beton, beberapa faktor tambahan yang memengaruhi kekuatan, keawetan, dan sifat-sifat beton lainnya meliputi perbandingan campuran, proses pengadukan, pengecoran, pemadatan, serta perawatan beton.

Beton segar yang berkualitas adalah beton yang dapat diaduk, diangkut, dituangkan ke dalam cetakan, dan dipadatkan dengan mudah, tanpa mengalami segregasi (pemisahan butiran dari campuran) atau *bleeding* (pemisahan air dan semen dari campuran). Sementara itu, beton yang baik setelah mengeras adalah beton yang memiliki kekuatan tinggi, daya tahan lama, kedap air, tahan terhadap aus, serta memiliki perubahan volume atau penyusutan yang minim.

Merujuk pada Tjokrodimuljo (2007) beton memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan yang dimiliki beton yaitu:

1. Harganya relatif murah karena bahan-bahannya mudah didapat.
2. Beton awet, tahan aus, tahan panas, dan tahan terhadap korosi serta pembusukan, sehingga biaya perawatannya rendah.
3. Memiliki kuat tekan yang tinggi, dan jika dipadukan dengan baja tulangan, menghasilkan struktur yang tahan terhadap tarik dan tekan. Ini membuat

beton bertulang cocok untuk berbagai aplikasi seperti pondasi, kolom, balok, dinding, jalan, landasan pesawat, penampung air, pelabuhan, bendungan, dan jembatan.

4. Pengerjaan beton relatif mudah dan fleksibel dalam bentuk dan ukuran, serta cetakannya dapat digunakan berulang kali, menjadikannya lebih ekonomis. Sedangkan kekurangan yang dimiliki beton antara lain sebagai berikut:

1. Bahan dasar penyusun beton, baik agregat halus maupun kasar, bervariasi tergantung lokasi pengambilannya, sehingga metode perencanaan dan pembuatan beton bisa berbeda-beda.
2. Beton tersedia dalam berbagai jenis kekuatan, sehingga perlu direncanakan sesuai dengan bagian bangunan yang akan dibuat, yang mengakibatkan variasi dalam perencanaan dan pelaksanaan.
3. Beton memiliki kekuatan tarik yang rendah, sehingga membuat sifat beton menjadi getas dan mudah retak.

Mengacu pada Hamdi dkk. (2022), beton dapat dikategorikan dalam 3 jenis berdasarkan mutu nya, yaitu:

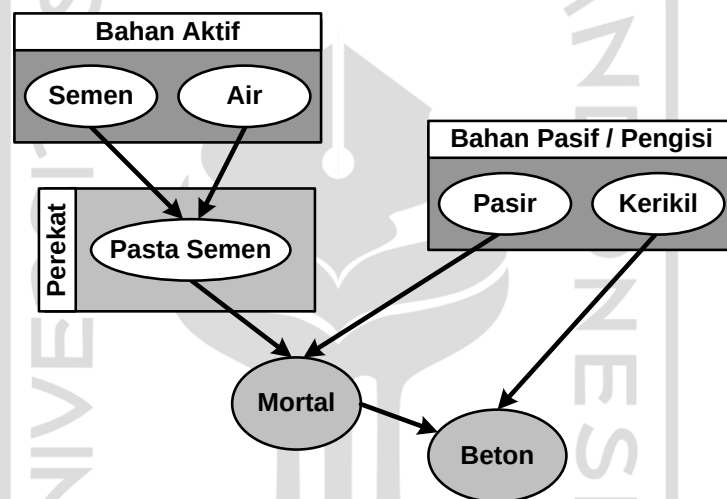
1. Beton mutu rendah, yakni beton dengan nilai kuat tekan (f'_c) kurang dari 20 MPa
2. Beton biasa/normal, yakni beton dengan nilai kuat tekan (f'_c) dalam rentang 20 MPa sampai dengan 41 MPa
3. Beton mutu tinggi, yakni yakni beton dengan nilai kuat tekan (f'_c) lebih dari 41 Mpa

Sedang, berdasarkan berat volume nya, beton dapat dikategorikan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Beton ringan, yakni beton dengan nilai berat volume kurang dari 1900 kg/m^3 .
2. Beton normal, yakni beton dengan nilai berat volume dalam rentang 2200 kg/m^3 sampai dengan 2500 kg/m^3 .
3. Beton berat, yakni beton dengan nilai berat volume lebih dari 2500 kg/m^3 .

3.2 Material Penyusun Beton

Bahan-bahan yang membentuk beton dapat dibagi menjadi dua kategori utama: bahan aktif dan bahan pasif. Bahan aktif, yang mencakup semen dan air, berfungsi sebagai bahan pengikat. Sementara itu, bahan pasif, yaitu pasir (agregat halus) dan kerikil (agregat kasar), berfungsi sebagai bahan pengisi. Ketika semen dicampur dengan air, akan terbentuk pasta semen. Jika pasta semen ini dicampur dengan pasir, maka akan terbentuk mortar semen. Selanjutnya, penambahan kerikil atau batu pecah akan menghasilkan beton. Proses pencampuran bahan pembentuk beton dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Proses Pencampuran Bahan Pembentuk Beton
(Sumber: Buku Ajar Teknologi Bahan Konstruksi JTS FTSP UII, 2008)

Selain itu, terdapat pula bahan substitusi yang dapat dicampurkan ke dalam campuran beton. Bahan substitusi ini digunakan untuk menggantikan sebagian dari komponen campuran, dengan tujuan untuk memodifikasi sifat-sifat beton, seperti meningkatkan kuat tekan, mengurangi biaya, dan memperbaiki performa beton. Seperti yang telah disebutkan, setiap bahan penyusun beton, termasuk bahan substitusi, mempengaruhi langsung kualitas beton tersebut.

3.2.1 Semen Portland (PC)

Semen adalah salah satu komponen utama dalam konstruksi beton, yang berfungsi sebagai bahan pengikat yang menyatukan agregat kasar dan halus

menjadi satu kesatuan padat, serta untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat. Semen dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu semen non hidraulis dan semen hidraulis. Semen non-hidrolis merupakan jenis semen yang tidak bisa mengeras atau stabil ketika berada di dalam air, sedangkan semen hidrolis adalah jenis semen yang mampu mengeras di dalam air dan menghasilkan padatan yang stabil ketika berada dalam air.

Mengutip dari SNI 15-2049 (2004), semen portland (PC) sendiri termasuk kedalam jenis semen hidrolis yang diperoleh dengan cara menggiling klinker (bahan ini terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis) bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih jenis kristal dari senyawa kalsium sulfat, dan bisa juga ditambahkan bahan tambahan lainnya. Bahan baku untuk pembuatan semen terdiri dari pasir silika, tanah liat, batu kapur, bijih besi, magnesita, sulfur, serta soda potash (Hamdi dkk., 2022). Keunggulan semen portland meliputi kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan terhadap cuaca dan lingkungan, serta kemampuannya untuk mengeras dan mengikat kuat pada permukaan yang ditempelinya. Selain itu, semen portland juga mudah didapatkan di pasaran dengan harga yang relatif terjangkau.

Semen portland dibagi menjadi lima kategori berdasarkan jenis dan penggunaannya, yaitu sebagai berikut (SNI 2049, 2004):

1. Jenis 1
Semen portland jenis 1 adalah semen portland yang digunakan untuk konstruksi bangunan umum dan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
2. Jenis 2
Semen portland jenis 2 adalah semen portland yang digunakan untuk konstruksi bangunan yang terpapar sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis 3
Semen portland jenis 3 adalah semen portland yang digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kuat tekan awal tinggi dan pengeringan cepat. Setelah 24 jam proses pengecoran semen tipe ini akan menghasilkan kuat tekan dua kali lebih tinggi daripada semen tipe biasa.

4. Jenis 4

Semen portland jenis 4 adalah semen portland yang digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan tingkat keamanan tinggi dan kalor hidrasi rendah, sehingga cocok digunakan pada proses pengecoran struktur beton yang massif, seperti bendungan atau pelabuhan.

5. Jenis 5

Semen portland jenis 5 adalah semen portland yang digunakan untuk konstruksi bangunan yang terpapar sulfat tinggi.

Terdapat pula jenis semen yang sering digunakan oleh masyarakat, yaitu:

1. *Portland Pozzolan Cement (PPC)*

PPC digunakan untuk berbagai aplikasi seperti rumah, bangunan struktur, bendungan, saluran irigasi, bangunan di area pantai dan rawa/gambut, serta bagian-bagian bangunan lainnya seperti pasangan batu, plester dinding, tegel, dan pasta semen. PPC cocok untuk bangunan dengan tingkat hidrasi sedang.

2. *Portland Composite Cement (PCC)*

PCCC banyak digunakan pada berbagai jenis bangunan umum dan beton dengan mutu yang berbeda, seperti perumahan, gedung bertingkat, jembatan, jalan beton, serta untuk bahan bangunan seperti pasangan batu, plester dinding, tegel, dan pasta semen.

3.2.2 Air

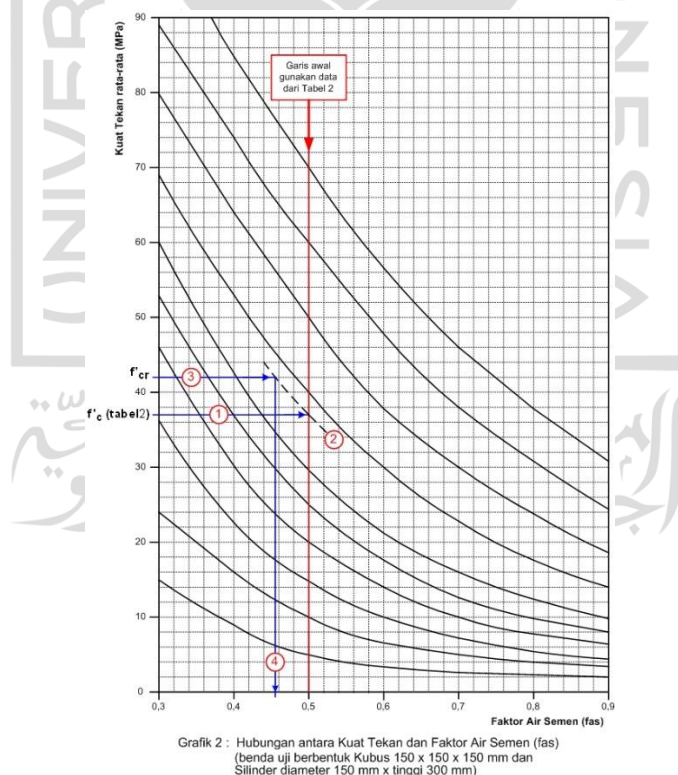
Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting dan paling murah. Fungsi air dalam campuran beton adalah untuk memfasilitasi reaksi kimia yang mengikat campuran, sehingga beton dapat mengeras. Tanpa air, semen tidak dapat mengeras dan menghasilkan beton yang kuat dan tahan lama. Selain itu, air juga berperan sebagai pelumas antara butiran agregat dalam adukan beton, membuatnya lebih mudah dipadatkan saat dituangkan ke dalam cetakan.

Kekuatan tekan beton sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang digunakan. Terlalu banyak air dapat mengurangi kekuatan beton dan menyebabkan bleeding, yaitu kondisi di mana air semen naik ke permukaan beton yang baru saja dituangkan. Bleeding dapat mengakibatkan penurunan daya lekat antara lapisan permukaan beton dan lapisan di bawahnya (Hamdi dkk., 2022). Selain kuat tekan,

kandungan air dalam beton juga mempengaruhi dan mengatur *workability* (kemudahan pengolahan), tingkat susut, dan daya tahan beton, serta memiliki dampak yang signifikan pada sifat-sifat tersebut. Oleh karena itu, agar campuran beton menjadi kuat dan tahan lama, penting untuk mengatur penggunaan air dengan cermat. Jumlah air yang digunakan harus diukur dengan tepat dan disesuaikan dengan jenis semen serta agregat yang dipakai.

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan jumlah air yang tepat dalam campuran beton mencakup jenis semen yang digunakan, jenis dan ukuran agregat yang dipilih, tekstur dan konsistensi campuran beton yang diinginkan, serta kondisi lingkungan sekitar tempat pengerjaan beton, seperti suhu udara, kelembapan udara, dan waktu pengeringan yang tersedia.

Perbandingan antara jumlah air dan semen dalam campuran beton dikenal dengan rasio air-semen (FAS). Grafik yang menunjukkan hubungan antara rasio air-semen (FAS) dan kekuatan tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Faktor Air Semen dengan Kuat Tekan Beton
(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Rasio yang lebih rendah umumnya menghasilkan beton yang lebih kuat tetapi mungkin kurang mudah diolah, sedangkan rasio yang lebih tinggi dapat meningkatkan workability tetapi dapat mengurangi kekuatan akhir beton. Beton yang digunakan untuk konstruksi biasanya memiliki nilai FAS 0,45 – 0,65. Karena nilai FAS sangat berpengaruh pada kekuatan beton yang dihasilkan, maka nilai FAS harus di kontrol secara ketat.

Persyaratan air untuk campuran beton diatur dalam SNI 03-6861.1 (2002) adalah sebagai berikut:

1. Air harus bersih dan bebas dari lumpur, minyak, serta benda terapung lainnya yang dapat terlihat secara visual.
2. Air tidak boleh mengandung benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
3. Air harus bebas dari garam-garam larut yang dapat merusak beton (seperti asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
4. Kandungan klorida (Cl) harus kurang dari 0,50 gram/liter, dan senyawa sulfat harus kurang dari 1 gram/liter sebagai SO_3 .
5. Kekuatan tekan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak boleh turun lebih dari 10% dibandingkan dengan beton yang menggunakan air suling.
6. Untuk beton pratekan, selain syarat-syarat di atas, air tidak boleh mengandung klorida lebih dari 0,05 gram/liter.

Sementara itu, air untuk perawatan beton harus tidak menimbulkan noda atau endapan yang dapat merusak warna permukaan beton. Zat besi dan zat organik dalam air dapat menyebabkan pencemaran dan perubahan warna beton.

3.2.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang digunakan dalam beton sebagai bahan pengisi, yang menyusun sebagian besar volume beton. Sifat agregat yang paling penting meliputi kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, porositas, dan karakteristik penyerapan airnya. Faktor-faktor ini berdampak pada ikatan dengan pasta semen, daya tahan beton terhadap serangan bahan kimia, dan ketahanan terhadap penyusutan (Ahmad, 2011). Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang ukurannya telah diperkecil melalui proses alami atau mekanis, seperti pemecahan batu dan penghalusan.

Agregat umumnya terdiri dari pasir, kerikil, atau batu pecah yang kemudian dicampur dengan semen dan air untuk menghasilkan campuran beton yang kuat dan tahan lama. Agregat berperan sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Meskipun berfungsi sebagai bahan pengisi, karena agregat menyusun 70% hingga 75% dari volume beton, agregat memiliki pengaruh yang besar terhadap sifat-sifat mortar atau beton. Agregat juga berkontribusi terhadap kekuatan beton, sehingga kualitas agregat sangat menentukan mutu beton yang dihasilkan.

Untuk menghasilkan beton berkualitas baik, agregat yang digunakan setidaknya harus terdiri dari dua kelompok ukuran. Umumnya, pada beton, kelompok tersebut adalah agregat halus (agregat yang dapat melalui saringan no.4 atau agregat dengan ukuran butir $\leq 4,75$ mm) dan agregat kasar (agregat yang tertahan di saringan no.4 atau agregat dengan ukuran butir $> 4,75$ mm). Berikut adalah penjabaran mengenai agregat kasar dan agregat halus:

1. Agregat Halus

Mengacu pada SNI 1970 (2008), yang dimaksud dengan agregat halus adalah material yang dihasilkan dari disintegrasi alami batuan atau dari pasir yang dihasilkan melalui proses pemecahan batu menggunakan alat pemecah batu (*stone crusher*). Agregat halus umumnya memiliki diameter butiran kurang dari atau sama dengan 4,75 milimeter (mm). Salah satu jenis agregat halus yang sering ditemukan adalah pasir, dan untuk membuat campuran beton yang berkualitas tinggi, kualitas pasir sangat penting untuk diperhatikan. Fungsi agregat halus pada beton antara lain seperti memberikan kemudahan dalam pengerjaan dan konsistensi campuran, membantu semen dalam merekatkan agregat kasar, dan mencegah terjadinya segregasi pasta semen dengan agregat kasar. Adapun menurut (PBI, 1971), Agregat halus (pasir) harus memenuhi persyaratan berikut:

- a. Agregat halus harus memiliki butiran yang tajam, keras, dan tahan terhadap pengaruh cuaca serta suhu, seperti sinar matahari dan hujan.
- b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat keringnya. Jika kadar lumpur melebihi 5%, agregat harus dicuci sebelum digunakan dalam campuran beton.

- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik dalam jumlah yang berlebihan. Kandungan bahan organik harus diuji menggunakan percobaan warna dengan larutan NaOH 3%.
- d. Agregat halus harus memiliki variasi ukuran butiran yang baik.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu material utama pembentuk beton yang memiliki ukuran lebih besar dari 4,75 mm hingga 40 mm, atau ukuran butiran yang tertahan pada ayakan No. 4 sampai No. 1,5 inci. Agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton bisa berupa kerikil yang berasal dari proses disintegrasi alami batuan, atau batu pecah yang diperoleh dari mesin pemecah (*stone crusher*) atau dipecahkan secara manual (SNI 1970, 2008). Agregat kasar (kerikil/split) berfungsi sebagai bahan pengisi yang mencakup sekitar 70% dari volume beton, memberikan stabilitas, keawetan, dan kekuatan pada beton. Menurut SNI 03-2834 (2000) dan SNI 2847 (2013) agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi syarat-syarat tertentu sebagai berikut:

- a. Kerikil atau batu pecah harus keras, tidak berpori, dan tahan terhadap cuaca. Butir-butir pipih boleh ada, tetapi tidak lebih dari 20% dari berat agregat.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Jika lebih, agregat harus dicuci.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan yang dapat merusak beton, seperti bahan kimia reaktif terhadap alkali.
- d. Kekerasan butir agregat kasar harus diperiksa dengan mesin Los Angeles, dengan kehilangan berat tidak lebih dari 50%.
- e. Agregat kasar harus memiliki gradasi yang baik dengan ketentuan sesuai Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persentase berat agregat yang lewat ayakan (%)		
	Ukuran agregat (mm)		
	38 - 4,76	19,0 - 4,76	9,6 - 4,76
38,1	95 - 100	100	-
19	37 - 70	95 - 100	100
9,52	10 - 40	30 - 60	50 - 85
4,76	0 - 5	0 - 10	0 - 10

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

- f. Ukuran maksimal butir agregat kasar tidak boleh melebihi ketentuan berikut:
- 1) $\frac{1}{5}$ dari jarak terkecil antara sisi cetakan.
 - 2) $\frac{1}{3}$ dari ketebalan slab.
 - 3) $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih minimum antara batang atau berkas tulangan
 - 4) Untuk beton bertulang, ukuran agregat ≤ 40 mm, dan untuk beton tanpa baja-tulangan ukuran maksimum butiran dapat lebih besar.

3.2.4 Bahan Substitusi

Bahan substitusi adalah material yang ditambahkan ke dalam campuran beton, di luar unsur utama beton (air, semen, dan agregat), sebelum atau selama proses pencampuran. Tujuannya adalah untuk memperbaiki atau mengubah sifat beton, baik saat masih segar maupun setelah mengeras. Fungsi bahan substitusi adalah untuk menyesuaikan sifat beton agar lebih sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek, serta untuk mengurangi biaya (Mulyono, 2004). Bahan substitusi umumnya digunakan dalam jumlah kecil (dalam persentase berat semen) dan memerlukan perhatian khusus dalam penggunaannya. Pemberian bahan substitusi yang berlebihan dapat merusak kualitas beton dan meningkatkan risiko korosi pada baja tulangan. Dalam penelitian ini, bahan substitusi yang digunakan sebagai variabel adalah *fly ash*, *superplasticizer*, dan *blast furnace slag*.

3.3 *Fly Ash*

Fly ash adalah residu dari pembakaran batu bara di industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berupa partikel halus berbentuk bubuk. Partikel ini ringan, berbentuk bulat, tidak berpori, dan memiliki sifat pozzolanik, yang berarti dapat bereaksi dengan kapur dan air untuk membentuk senyawa yang memiliki sifat pengikat seperti semen, dengan ukuran partikel rata-rata sekitar 10 μm , tetapi dapat bervariasi dari kurang dari 1 μm hingga lebih dari 150 μm (Husin dan Setiadji, 2008).

Berdasarkan Nugraha dan Antoni (2007), kualitas pembakaran batu bara sangat memengaruhi kualitas abu batu bara, yang terdiri dari abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Mutu dan karakteristik abu batu bara ditentukan oleh sifat kimia dan fisiknya, yang bergantung pada berbagai faktor seperti tipe batu bara, kadar abu, jenis tungku yang digunakan, proses penggilingan, serta efisiensi pembakaran. Sekitar 75%-90% abu yang keluar dari cerobong asap ditangkap oleh sistem pengendap elektrostatis atau peralatan filtrasi lainnya dan kemudian abu ini disebut dengan *fly ash*. Sedangkan, sisa abu lainnya yang mengendap di dasar tungku disebut sebagai *bottom ash*. Sebagian besar *fly ash* terdiri dari oksida-oksida silika (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), kalsium (CaO), serta sedikit sodium, titanium, dan sulfur.

Fly ash dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen atau sebagai bahan tambah (Kumaat, 2022). Diperlukan adanya kontrol untuk menentukan proporsi *fly ash* yang ideal tanpa mengganggu proses konstruksi dan kualitas beton. Efek negatif dari penggunaan *fly ash* dalam jumlah tinggi termasuk waktu ikat yang lama dan penurunan kekuatan awal, yang mengakibatkan penundaan pekerjaan konstruksi. Proporsi optimum dari *fly ash* hanya bisa ditentukan dengan mempertimbangkan berbagai parameter dalam beberapa studi kasus (Thomas, 2007).

3.4 *Superplasticizer*

Berdasarkan ASTM C-494, *superplasticizer* adalah bahan tambah pada beton yang dibuat dengan zat kimia untuk meningkatkan kualitas beton secara

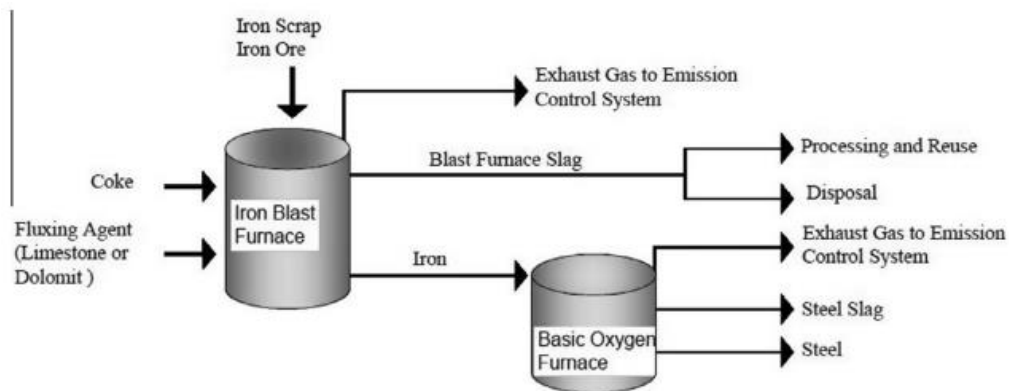
keseluruhan. Dalam campuran beton, *superplasticizer* bekerja dengan cara melarutkan gumpalan, melapisi partikel-partikel semen, dan memastikan semen tersebar merata di seluruh campuran, sehingga memungkinkan agregat terlapisi dengan baik dan meningkatkan workability beton (Rahmayanti, 2019).

Mulyono (2004) menyebutkan bahwa *superplasticizer* berfungsi untuk mengurangi jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton untuk mencapai tingkat *workability* atau kelancaran beton yang baik. Jika jumlah air dan faktor air-semen (FAS) tetap pada campuran dengan *superplasticizer*, maka kebutuhan semen dapat diminimalkan, yang mengakibatkan penghematan biaya akibat kemudahan pengerjaan dengan tenaga kerja yang lebih sedikit. Beton jenis ini dikenal sebagai *self-leveling concrete*. *Flowing concrete* memiliki sifat kohesif yang baik, tidak mengalami segregasi, dan mampu mempertahankan nilai slump dengan baik, tergantung pada jenis semen yang digunakan. Bahan ini juga meningkatkan kelenturan beton dalam jangka waktu yang lebih lama pada suhu tinggi

Meskipun memiliki banyak keuntungan, penggunaan terlalu banyak *superplasticizer* dalam campuran beton dapat menyebabkan masalah seperti tingkat *flowability* yang terlalu tinggi, kehilangan slump, biaya yang tidak efisien, dan penundaan yang signifikan pada *setting time*, yang membuat berkurangnya kekuatan akhir beton (Wicaksono, 2023). Penggunaan *superplasticizer* pada beton plastis konvensional berada dikisaran 0,3-0,8% dari berat semen (Pradhipta, dkk. 2022).

3.5 **Blast Furnace Slag**

Blast furnace slag adalah bagian material yang dihasilkan dari proses pembakaran tanur tinggi (*blast furnace*). Slag atau terak akan mengendap atau terpisah karena berbeda sifat dari unsur lainnya (Sudjana, 2008). *Blast furnace slag* merupakan produk non-logam berbentuk halus dan granular yang dihasilkan dari pembakaran dan kemudian didinginkan, misalnya dengan cara mencelupkannya ke dalam air (Mulyono, 2004). *Blast furnace slag* diproduksi di dalam *blast furnace* bersamaan dengan besi. Gambar 3.3 menggambarkan secara skematis bagaimana slag blast furnace diperoleh dari bijih besi.



Gambar 3.3 Proses Produksi Slag
(Sumber: Özbay, Erdemir, dan Durmus, 2016)

Sebagian besar *blast furnace slag* terdiri dari silika dan alumino silikat dari kalsium dan basa lainnya, yang terbentuk dalam keadaan cair bersamaan dengan besi pada suhu tinggi di dalam tanur. Reaksi kimia yang dihasilkan dari blast furnace slag mirip dengan reaksi semen Portland (Václavík, 2011). Mengacu pada Mulyono (2004), Václavík dkk. (2011) dan Özbay dkk. (2016), keuntungan dari penggunaan slag dalam campuran beton antara lain sebagai berikut.

1. Meningkatkan *workability* dari campuran beton
2. Meningkatkan kekuatan tekan beton.
3. Meningkatkan rasio antara kelenturan dan kekuatan tekan beton.
4. Mengurangi variasi kekuatan tekan beton.
5. Meningkatkan ketahanan beton terhadap sulfat dalam air laut.
6. Mengurangi serangan alkali-silika.
7. Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu sehingga dapat mencegah retak pada beton.
8. Memperbaiki penyelesaian akhir dan memberikan warna cerah pada beton.
9. Meningkatkan keawetan beton terhadap perubahan volume.
10. Mengurangi porositas dan serangan klorida.

3.6 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

Proses merancang dan mengembangkan komposisi campuran beton untuk proyek konstruksi tertentu dikenal sebagai perencanaan campuran beton.

Perencanaan campuran beton berfokus pada pembuatan campuran agar beton memiliki sifat mekanik seperti kekuatan, daya tahan, kerapatan, dan lainnya, yang sesuai dengan spesifikasi proyek dan persyaratan lingkungan. Penelitian ini menggunakan campuran beton berdasarkan ACI 211.1, yang dirancang untuk menghasilkan campuran beton yang memenuhi syarat performa dan efisiensi biaya. Perhitungan proporsi campuran beton dilakukan dengan cara berikut: (Carakan dan Yudiantoro, 2006)

1. Menentukan kekuatan tekan beton (f'_c) yang diminta pada umur tertentu
2. Menentukan nilai deviasi standar (s)

Deviasi standar digunakan untuk mengukur variasi atau sebaran data pada kuat tekan rata-rata beton. Nilai deviasi standar didasarkan pada kualitas pengendalian pelaksanaan campuran beton segar. Semakin tinggi kualitas pelaksanaannya, semakin kecil nilai deviasi standar. Nilai deviasi standar dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.1 dan Tabel .

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.1)$$

dengan:

s = Deviasi standar,

x_i = Kuat tekan beton dari tiap benda uji, dan

$\bar{x}$ = Kuat tekan beton rata-rata dari seluruh benda uji.

Untuk kuat tekan beton rata-rata sendiri didapatkan berdasarkan rumus 3.2 berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.2)$$

dengan:

n adalah jumlah nilai hasil uji, yang setidaknya diambil tiga puluh buah. (satu nilai uji adalah nilai rata-rata dari hasil dua benda uji).

Tabel 3.2 Nilai Standar Deviasi

Volume Pekerjaan (m ³)	Mutu Pekerjaan		
	Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil (< 1000)	$4,5 < sd \leq 5,5$	$5,5 < sd \leq 6,5$	$6,5 < sd \leq 8,5$
Sedang ($1000 - 3000$)	$3,5 < sd \leq 4,5$	$4,5 < sd \leq 4,5$	$5,5 < sd \leq 7,5$
Besar (> 3000)	$2,5 < sd \leq 3,5$	$3,5 < sd \leq 4,5$	$4,5 < sd \leq 6,5$

3. Menghitung nilai tambah kuat tekan rencana (M)

Nilai tambah dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.3.

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.3)$$

dengan:

M = Margin/nilai tambah kuat tekan beton,

1,64 = Tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji hingga maksimum 5%, dan

S_r = Deviasi standar yang direncanakan.

4. Menghitung kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$f_{cr} = f'_c + M \quad (3.4)$$

dengan:

f_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (MPa),

f'_c = Kuat tekan beton rencana (MPa), dan

M = Margin/nilai tambah kuat tekan beton (MPa).

5. Menentukan faktor air semen (FAS)

Tahapan penentuan faktor air semen (FAS) yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan sebagai berikut.

- a. Menentukan jenis beton yang dipakai apakah merupakan beton *air-entrained* atau tidak

- b. Menentukan nilai FAS berdasarkan kuat tekan yang direncanakan dan jenis beton pada point a berdasarkan Tabel 3.3

Tabel 3.3 Hubungan Faktor Air-Semen dan f'_{cr} Silinder Beton Pada Umur 28 Hari

Kuat Tekan Beton Rencana Umur 28 Hari (MPa)	Faktor Air Semen (FAS)	
	Beton <i>Air-Entrained</i>	Beton <i>Non Air-Entrained</i>
41,4	0,41	-
34,5	0,48	0,4
27,6	0,57	0,48
20,7	0,68	0,59
13,8	0,82	0,74

Untuk nilai kuat tekan yang tidak tercantum dalam Tabel 3.3 dapat dicari menggunakan rumus interpolasi yang dijabarkan pada persamaan 3.5

$$FAS = FAS_1 + \left(\frac{FAS_2 - FAS_1}{f'_{c2} - f'_{c1}} \right) \times (f'_{c2} - f'_{c1}) \quad (3.5)$$

dengan:

FAS = Nilai fas yang ingin dicari,

FAS_1 = Nilai FAS untuk kuat tekan yang lebih tinggi,

FAS_2 = Nilai FAS untuk kuat tekan yang lebih rendah,

f'_{c2} = Kuat tekan rencana (MPa),

f'_{c1} = Kuat tekan yang lebih tinggi (MPa), dan

f'_{c2} = Kuat tekan yang lebih rendah (MPa).

- c. Menetapkan faktor air semen maksimum berdasarkan pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Penentuan Nilai FAS Maksimum dari Jenis Lokasi Pembetonan

Lokasi / Jenis Pembetonan	Nilai Faktor Air Semen (FAS) Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:	
a. keadaan keliling non-korosif	0,60
b. keadaan keliling korosif yang disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:	
a. tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari secara langsung	0,60
b. terlindungi dari hujan dan terik matahari secara langsung	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:	
a. mengalami keadaan basah dan kering yang berganti-ganti	0,55
b. mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	0,52
Beton yang kontinu berhubungan air	
a. air tawar	0,57
b. air laut	0,52

- d. Nilai fas yang dipakai adalah nilai yang terendah dari poin b dan c.
6. Menentukan nilai slump
- Nilai slump ditetapkan berdasarkan kondisi dan jenis pekerjaan untuk memastikan beton mudah dituangkan, didapatkan, dan diratakan. Nilai slump digunakan untuk mengukur tingkat kekentalan adonan beton segar, yang berkaitan erat dengan kemudahan pengerjaan (workability). Semakin tinggi

nilai slump, semakin cair adukan beton, sehingga lebih mudah untuk dikerjakan. Namun, nilai slump yang terlalu tinggi dapat menyebabkan beton menjadi terlalu cair, yang dapat mengurangi kekuatan dan daya tahan beton. Nilai slump dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Nilai Slump Berdasarkan Jenis Pekerjaan

Jenis Pekerjaan	Slump (mm)	
	Maks.	Min.
Dinding Penahan Tanah dan Pondasi	75	25
Pondasi Sederhana, Sumuran, dan Dinding Substruktur	75	25
Balok dan Dinding Beton	100	25
Kolom Struktural	100	25
Perkerasan dan Slab	75	25
Beton Massal	50	25

7. Menentukan nilai maksimum dari besar butir agregat
 Besar butir agregat maksimum ditentukan berdasarkan dimensi minimum dan jenis pekerjaan yang dilakukan. Besar butir agregat maksimum dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Besar Butir Agregat Maksimum

Dimensi Minimum (mm)	Ukuran Agregat Maksimum (mm)	
	Balok / Kolom	Pelat
62,5	12,5	20
150	40	40
300	40	80
700	80	80

hasil pengujian *properties* agregat dan diharuskan memenuhi persyaratan ini.

8. Menentukan nilai kadar air bebas

Kadar air bebas dalam campuran dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.7 sebagai berikut.

Tabel 3.7 Perkiraan Kadar Air Bebas (liter/m³) yang Dibutuhkan

Slump (mm)	Ukuran Maksimum Agregat (mm)		
	10	20	40
25 – 50	206	182	167
75 – 50	226	203	177
25 – 50	240	212	188
Udara Terperangkap	3%	2%	1%

9. Menetapkan jumlah semen yang akan digunakan

Penetapan jumlah semen yang akan digunakan dapat dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut. Menghitung kebutuhan jumlah semen menggunakan persamaan 3.6.

$$c = \frac{W}{FAS} \quad (3.6)$$

dengan:

c = Jumlah semen yang dibutuhkan (kg/m³),

W = Jumlah air yang dibutuhkan (kg/m³), dan

FAS = Faktor air semen.

10. Menentukan nilai modulus kehalusan agregat dari hasil pengujian

Modulus Halus Butir (MHB) adalah suatu indeks yang digunakan untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir agregat. MHB didefinisikan sebagai jumlah persentase kumulatif butir yang tertinggal di atas ayakan tertentu, dibagi dengan seratus. Semakin besar nilai modulus halus, semakin besar ukuran butir agregat. Umumnya, pasir memiliki modulus halus antara 1,5 hingga 3,8, sedangkan modulus halus untuk kerikil biasanya berkisar antara 5 hingga 8 (Tjokrodimulyo, 1992).

11. Menentukan volume agregat kasar

Besaran volume agregat kasar terhadap agregat campuran ditentukan berdasarkan ukuran maksimum butir agregat kasar dan modulus halus pasirnya. Besaran volume agregat kasar dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Perkiraan Kebutuhan Agregat Kasar per m³ Beton Berdasarkan Ukuran Maksimum Agregat dan Modulus Halus Butir Pasir

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Modulus Halus Butir Pasir			
	2,4	2,6	2,8	3,0
10	0,46	0,44	0,42	0,40
20	0,66	0,64	0,62	0,60
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,84

12. Menentukan volume agregat halus

Volume agregat halus dapat dihitung menggunakan persamaan 3.7.

$$V_P = 1 - (V_W + V_C + V_K + V_U) \quad (3.7)$$

dengan:

V_P = Volume agregat halus (m³),

V_W = Volume kadar air bebas (m³),

V_C = Volume semen (m³),

V_K = Volume agregat kasar (m³), dan

V_U = Volume udara terperangkap (m³).

13. Merangkum hasil proporsi campuran

Proporsi masing-masing bahan yang digunakan dalam campuran beton untuk setiap kubik meter (m³) kemudian diuraikan secara rinci.

14. Menetapkan proporsi bahan substitusi

Jika campuran beton memerlukan bahan substitusi, maka kadar bahan substitusi harus ditentukan, biasanya dihitung sebagai persentase dari berat semen.

3.7 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah ukuran beban per satuan luas yang menyebabkan beton hancur saat dibebani dengan gaya tekan tertentu yang diterapkan oleh mesin uji tekan (SNI 03–1974, 2011). Kuat tekan beton mencerminkan mutu struktur karena semakin tinggi kekuatan yang diperoleh, semakin baik mutu beton yang dihasilkan. Kuat tekan beton sangat berkaitan dengan sifat lainnya, sehingga jika nilai kuat tekan tinggi, sifat-sifat beton lainnya juga cenderung lebih baik (Thohari, 2024).

Umur beton akan memengaruhi kuat tekan beton. Kuat tekan beton meningkat seiring bertambahnya umur beton, dengan kekuatan beton meningkat pesat hingga umur 28 hari. Setelah itu, meskipun kekuatan beton tetap bertambah, laju kenaikannya akan melambat. Oleh sebab itu, pengujian biasanya tidak hanya dilakukan pada umur beton 28 hari, tetapi juga pada berbagai umur untuk menentukan nilai kadar optimum beton. Hubungan umur beton dengan kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 Hubungan Umur Beton Dengan Kuat Tekan

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Kuat Tekan (%)	40	65	88	95	100	120	135

Sumber: PBI (1971)

Adapun berdasarkan SNI 1974 (2011), nilai kuat tekan dari beton dapat dihitung menggunakan persamaan 3.12.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.12)$$

dengan:

f'_c = Kuat tekan beton yang diuji (MPa atau N/mm²),

- P = Beban/gaya tekan (N), dan
 A = Luas penampang dari benda uji (mm²).

3.8 Exploratory Data Analysis (EDA)

Exploratory Data Analysis (EDA) adalah proses menganalisis data untuk memperoleh pemahaman mengenai karakteristik, pola, serta hubungan yang terdapat dalam dataset secara intuitif (Merdiansah dkk., 2024). Tujuan utama dari EDA adalah untuk memperoleh pemahaman awal tentang data sebelum menerapkan model statistik atau machine learning yang lebih kompleks (Mayasari dkk., 2023). Mengutip dari Mayasari dkk., (2023), Sihombing dkk. (2022), Levia dkk. (2023), dan Sembiring (2024). Metode yang umum digunakan dalam EDA antara lain sebagai berikut:

1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan untuk memperoleh pemahaman dasar mengenai data. Proses ini mencakup perhitungan statistik dasar seperti mean, median, dan modus untuk setiap variabel.

2. Boxplot

Outlier dapat didefinisikan sebagai pengamatan yang menyimpang jauh dari pengamatan lainnya. Keberadaan data *outlier* ini dapat memengaruhi pengambilan kesimpulan atau keputusan dalam suatu penelitian (Hawkins, 1980). Suatu data dapat dianggap sebagai *outlier* jika memenuhi persamaan 3.12 atau 3.13 berikut:

$$x < \mu - 3\sigma \text{ atau } x > \mu + 3\sigma \quad (3.12)$$

dengan:

- x = Nilai observasi,
 μ = Rata-rata dari dataset, dan
 σ = Deviasi standar dari dataset.

$$x < Q1 - 1,5 \times IQR \text{ atau } x > Q3 + 1,5 \times IQR \quad (3.13)$$

dengan:

x = Nilai observasi,

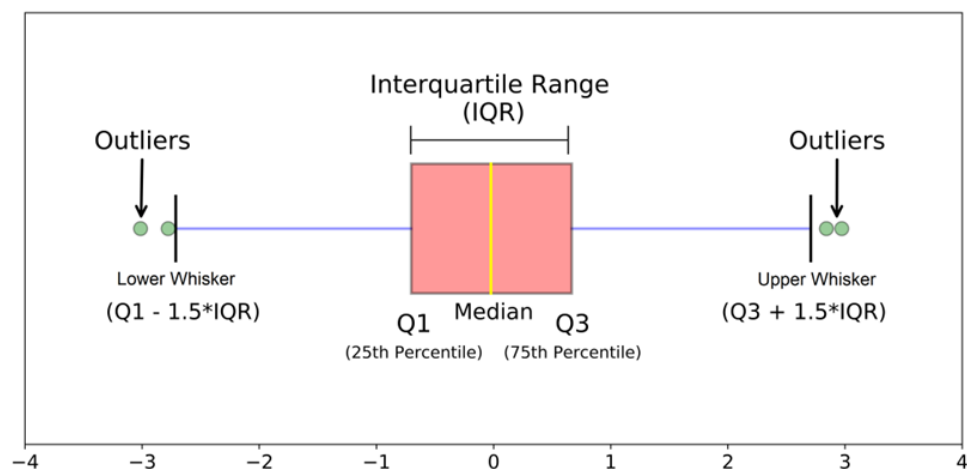
IQR = Rentang interkuartil

$$= Q3 - Q1,$$

$Q1$ = Kuartil pertama, dan

$Q3$ = Kuartil ketiga.

Pendeteksian *outlier* dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode, salah satunya adalah *box plot*. *Boxplot* adalah grafik yang digunakan untuk menggambarkan distribusi data berdasarkan lima nilai utama: nilai minimum, kuartil pertama ($Q1$), median ($Q2$), kuartil ketiga ($Q3$), dan nilai maksimum. Diagram ini memvisualisasikan rentang interkuartil (IQR) sebagai kotak, dengan garis (*whiskers*) yang menunjukkan rentang data, serta titik-titik atau tanda lain yang menunjukkan outlier. Untuk memperjelas, contoh boxplot dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Contoh Box-Plot
(Sumber: Babbar, 2023)

3. Histogram

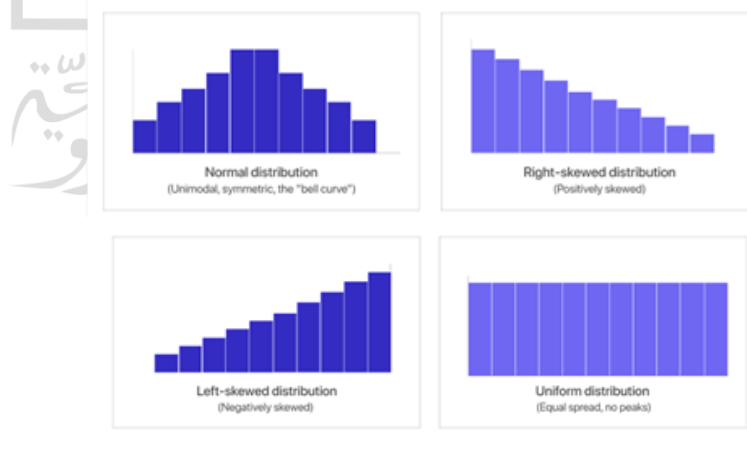
Histogram adalah grafik yang dibuat berdasarkan data yang telah disusun dalam tabel distribusi frekuensi. Grafik ini terdiri dari persegi panjang yang saling berimpitan di satu sisinya. Dari histogram, kita dapat memperoleh berbagai informasi yang berkaitan dengan data yang

ditampilkan. Mirip dengan diagram batang, bentuk histogram terdiri dari batang-batang yang berdekatan dan menggambarkan frekuensi dalam bentuk bertingkat dan saling berimpitan. Pada tahap EDA, histogram digunakan untuk memahami distribusi data dan melihat pola frekuensi data secara visual.

Hastono (2006) menjelaskan bahwa distribusi data terbagi menjadi beberapa jenis sebagai berikut:

- Distribusi normal, kurva berbentuk lonceng terbentuk karena data tersebar merata di sekitar rata-rata. Histogram memiliki satu puncak di tengah. Titik data memiliki peluang yang sama untuk berada di kedua sisi rata-rata.
- Distribusi Miring Kanan, distribusi ini memiliki ekor panjang di sisi kanan. Sebagian besar titik data terkonsentrasi di sebelah kiri, dengan ekor yang membentang ke nilai yang lebih tinggi.
- Distribusi Miring Kiri, memiliki ekor panjang di sisi kiri. Mayoritas titik data berkumpul di sebelah kanan, dengan ekor yang membentang ke nilai yang lebih rendah.
- Distribusi Merata, dimana semua nilai atau interval dalam dataset memiliki frekuensi yang serupa. Juga disebut distribusi persegi panjang.

Contoh histogram berserta distribusi data diberikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Jenis Distribusi pada Histogram
(Sumber: Pyne)

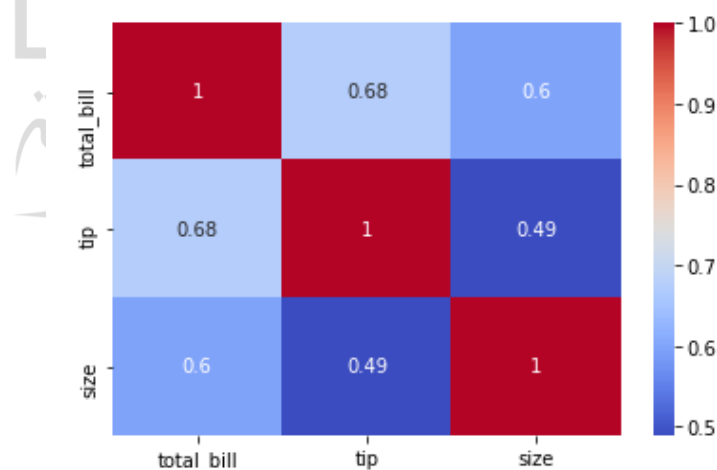
4. Matriks Korelasi

Matriks korelasi adalah alat yang digunakan untuk menampilkan koefisien korelasi antara setiap pasangan variabel dalam dataset yang umumnya divisualisasikan dengan *heatmap*. Melalui *heatmap*, kita dapat secara intuitif melihat kekuatan dan arah korelasi linear antarvariabel. Warna yang lebih terang atau gelap mencerminkan korelasi yang lebih kuat, sedangkan warna netral menunjukkan korelasi yang lebih lemah. Dengan *heatmap*, kita dapat dengan cepat mengidentifikasi variabel dengan korelasi kuat yang mungkin memerlukan analisis lebih lanjut, serta menemukan pola yang tidak terlihat melalui analisis numerik saja.

Nilai korelasi berkisar dari -1 hingga 1, di mana:

- Nilai 1 berarti korelasi positif sempurna (seiring bertambahnya nilai satu variabel, nilai variabel lainnya juga bertambah).
- Nilai -1 berarti korelasi negatif sempurna (seiring bertambahnya nilai satu variabel, nilai variabel lainnya berkurang).
- Nilai 0 menunjukkan bahwa tidak ada korelasi linier antara dua variabel.

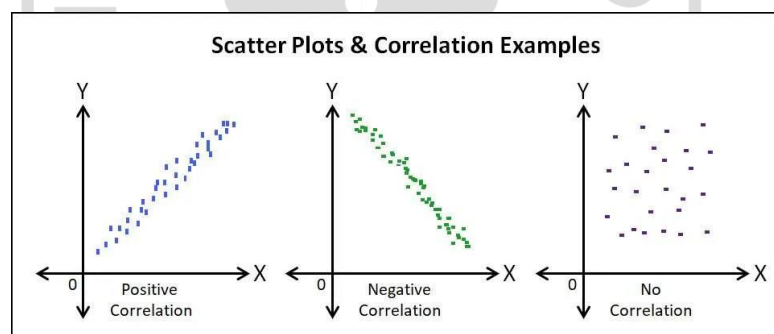
Contoh matriks korelasi dan *heatmap* diberikan pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Contoh Matriks Korelasi dan *Heatmap*
(Sumber: ngodingdata.com)

5. *Scatter Plot*

Scatter plot digunakan untuk melihat sebaran data dan mengamati sejauh mana hubungan antara sumbu x dan sumbu y. *Scatter plot* adalah alat yang efektif untuk menampilkan variasi semantik dalam data. Scatterplot hanya menampilkan korelasi antara dua variabel, bukan hubungan sebab-akibat. Meskipun mungkin terlihat ada pola yang menunjukkan keterkaitan antara dua variabel, penting untuk tidak langsung menyimpulkan bahwa perubahan pada salah satu variabel secara langsung memengaruhi variabel lainnya. Faktor lain yang berpotensi memengaruhi hasil harus dipertimbangkan dalam analisis lebih lanjut. Gambaran dari scatter plot dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Contoh Scatter Plot
(Sumber: trailhead.salesforce.com)

3.9 *Data Preprocessing*

Data preprocessing adalah tahap penting dalam analisis data dan pembelajaran mesin, yang mencakup persiapan serta transformasi data mentah menjadi format yang lebih terstruktur dan siap untuk dianalisis. Proses ini tidak hanya bertujuan meningkatkan kualitas serta akurasi data, tetapi juga memastikan data dapat digunakan secara efektif dalam model pembelajaran mesin. Dengan *preprocessing* data yang baik, kita dapat menghasilkan *dataset* yang berkualitas dan dapat diandalkan untuk analisis lanjutan, serta menjamin efektivitas model yang akan dibangun (Merdiansah dkk., 2024). *Data preprocessing* mencakup beberapa tahap, termasuk *data cleaning* untuk menangani *missing data*, *data selection* untuk

memilih kolom yang relevan untuk analisis, dan *data transformation* untuk mengubah data ke format yang sesuai untuk digunakan dalam model (Sembiring, 2024).

Sebelum dilakukan permodelan ANN, tahap *preprocessing* yang dilakukan sebagai berikut:

1. Penanganan Data yang Hilang (*Handling Missing Value*)

Missing value diartikan sebagai data atau informasi yang hilang atau tidak tersedia terkait subjek penelitian pada variabel tertentu, biasanya disebabkan oleh kesalahan non-sampling (Zulhanif dan Suprijadi, 2009). Rubin (1976) mengklasifikasikan missing value ke dalam tiga kategori:

- a. *Missing Completely at Random* (MCAR), yaitu nilai hilang secara acak, tanpa pola atau hubungan dengan variabel lain.
- b. *Missing at Random* (MAR), yaitu nilai hilang tidak sepenuhnya acak, tetapi terkait dengan variabel lain yang diamati.
- c. *Missing Not at Random* (MNAR), yaitu nilai hilang secara sistematis, bergantung pada nilai yang hilang itu sendiri atau faktor yang tidak diamati.

Beberapa metode untuk menangani missing value meliputi menghapus data yang hilang, mengisi dengan nilai rata-rata atau median, menggunakan modus, menerapkan metode imputasi, dan mengisi dengan informasi yang tersedia (Dachi, 2023).

2. Pembagian Data (*Data Splitting*)

Dachi (2023) menyatakan bahwa *splitting data* adalah proses membagi dataset menjadi dua atau lebih bagian yang saling eksklusif untuk melatih dan menguji model. Tujuannya adalah untuk menciptakan dataset yang dapat digunakan dalam pelatihan model serta evaluasi kinerjanya. Dalam *Machine Learning*, proses ini dilakukan sebelum pelatihan untuk memastikan model mampu melakukan generalisasi terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

Adapun pada permodelan ANN dalam proses penelitian ini, dataset besar dibagi menjadi 3 subset, yaitu data pelatihan (*training*), data validasi (*validation*), dan data pengujian (*testing*) dengan rasio 70:15:15.

3. Permisahan Fitur Target

Pemisahan fitur/prediktor dan target merupakan langkah penting dalam pemodelan data, di mana dataset dipisahkan menjadi dua bagian utama, yaitu fitur (variabel independen) dan target (variabel dependen). Fitur mencakup semua atribut yang akan digunakan untuk membuat prediksi, sedangkan target adalah nilai yang ingin diprediksi oleh model. Pemisahan ini memastikan bahwa model hanya menggunakan data relevan dalam pembelajaran, sehingga proses pelatihan dan pengujian model dapat dilakukan dengan lebih terstruktur dan akurat.

4. Normalisasi Data

Normalisasi data dapat diartikan sebagai proses yang mengubah variabel atau fitur dalam dataset ke dalam skala tertentu, sehingga semua variabel memiliki rentang nilai yang seimbang dan seragam. Tindakan ini penting untuk meningkatkan efektivitas analisis dan pemodelan data, karena memastikan bahwa tidak ada fitur yang mendominasi hasil akibat perbedaan skala (Dachi, 2023).

Terdapat dua metode normalisasi yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain sebagai berikut:

a. *Min-Max Normalization*

Min-Max normalization adalah metode normalisasi yang melakukan transformasi linier pada data asli, sehingga menciptakan keseimbangan nilai perbandingan antar data sebelum dan sesudah proses normalisasi (Nasution dkk., 2019). *Min-Max normalization* dapat ditentukan berdasarkan persamaan 3.13.

$$X' = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (3.13)$$

dengan:

X' = Nilai yang dinormalisasi,

X = Nilai observasi asli,

X_{min} = Nilai minimum dalam dataset, dan

X_{max} = Nilai maksimum dalam dataset.

b. *Z-Score Normalization*

Z-Score normalization adalah teknik statistik yang digunakan dalam analisis big data untuk menghitung nilai baku atau nilai standar. Teknik ini sering diterapkan dalam data mining untuk mengidentifikasi outlier. Proses ini melibatkan transformasi data menjadi rentang nilai baru berdasarkan nilai rata-rata dan standar deviasi dataset yang ada, sehingga menghasilkan informasi yang lebih relevan untuk analisis lebih lanjut (Whendasmoro, 2022). Z-score dapat ditentukan berdasarkan persamaan 3.14.

$$Z = \frac{(X - \mu)}{\sigma} \quad (3.14)$$

dengan:

Z = Nilai Z (Z-score) dari data,

X = Nilai observasi asli,

μ = Rata-rata dari dataset, dan

σ = Deviasi standar dari dataset.

3.10 Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) atau Jaringan Saraf Tiruan merupakan model matematis yang dibentuk dengan prinsip yang sama seperti cara kerja sistem saraf biologis, yakni dengan cara memproses informasi secara paralel melalui banyak unit pemrosesan yang dikenal sebagai neuron, sehingga memungkinkan ANN untuk memodelkan dan menyelesaikan masalah yang kompleks (Sari dkk., 2024). *Artificial neural network* sederhana pertama kali diperkenalkan oleh McCulloch dan Pitts pada tahun 1943 dan terus berkembang hingga kemajuan signifikan terjadi pada tahun 1990. Pada waktu itu, perhatian besar diberikan pada

penerapan model-model *artificial neural network* untuk menyelesaikan berbagai masalah di dunia nyata (Rada dan Aji, 2019). ANN telah banyak digunakan dalam berbagai bidang, termasuk kecerdasan buatan, ilmu komputer, teknik sipil, dan lain-lain. Mengacu pada (Siang, 2009), *artificial neural network* dapat diaplikasikan pada hal berikut:

1. Pengenalan Pola (*Pattern Recognition*)

Artificial neural network dapat digunakan untuk mengenali pola seperti huruf, angka, suara, dan tanda tangan yang telah mengalami sedikit perubahan. Kemampuan ini mirip dengan otak manusia, yang tetap dapat mengenali seseorang meskipun penampilannya telah sedikit berubah setelah beberapa waktu tidak bertemu.

2. Pemrosesan Sinyal (*Signal Processing*)

Model ADALINE dari *artificial neural network* dapat digunakan untuk mengurangi noise dalam saluran telepon, membantu meningkatkan kualitas sinyal.

3. Prediksi (*Prediction*)

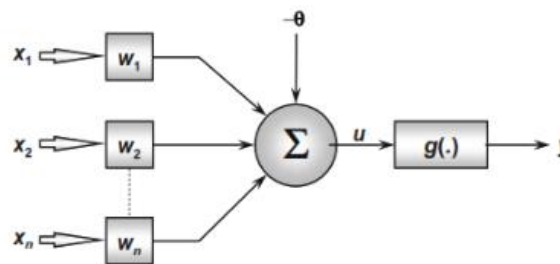
Artificial neural network dapat digunakan untuk memprediksi kejadian di masa depan berdasarkan pola dari data masa lalu. Hal ini dimungkinkan karena jaringan saraf tiruan memiliki kemampuan untuk mengingat dan membuat generalisasi dari data yang telah dipelajarinya sebelumnya.

Meskipun ANN memiliki keunggulan dalam pemodelan dan analisis data, terdapat beberapa kelemahan, seperti kesulitan dalam menginterpretasikan hasil serta kebutuhan akan jumlah data yang besar untuk melatih model. Selain itu, karakteristik ANN juga sangat dipengaruhi oleh pola hubungan antar-neuron (dikenal sebagai arsitektur jaringan), metode penentuan bobot sambungan (dikenal pelatihan atau proses belajar jaringan), dan fungsi aktivasi yang mengatur respons dari *neuron-neuron* tersebut.

3.10.1 *Artificial Neuron*

Struktur *artificial neural network* dikembangkan dengan mengacu pada model-model sistem saraf biologis dan otak manusia. *Artificial neuron* atau jaringan tiruan merupakan unit pemrosesan komputasional yang disederhanakan dari model

neuron biologis. *Neuron* tiruan dalam jaringan saraf tiruan bersifat nonlinier. *Neuron* ini biasanya menghasilkan output yang kontinu dan melakukan tugas-tugas sederhana. Tugas-tugas tersebut meliputi mengumpulkan sinyal dari input yang tersedia, mengolahnya sesuai dengan fungsi operasional, dan menghasilkan respons berdasarkan fungsi aktivasi yang telah ditentukan (Sari dkk., 2024). Ilustrasi pemodelan *Artificial Neuron* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Model *Artificial Neuron*
(Sumber: Sari dkk., 2024)

Setiap *neuron* dalam jaringan saraf tiruan (ANN) dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.9. Sinyal input dari luar sistem (*input neuron*), diwakili oleh himpunan $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, yang mirip dengan sinyal listrik yang diterima oleh dendrit di neuron biologis. Setiap sinyal input ini dikalikan dengan bobot sinapsis yang sesuai $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, yang mewakili relevansi atau kepentingan masing-masing sinyal. Setelah itu, semua sinyal yang sudah ditimbang ini dijumlahkan, seperti yang ditunjukkan oleh simbol Σ pada gambar. Hasil dari penjumlahan ini, yang disebut u , kemudian dikurangi dengan nilai ambang batas (θ). Nilai u ini kemudian diproses melalui fungsi aktivasi $g(\cdot)$ untuk menghasilkan output akhir y . Proses ini menggambarkan bagaimana neuron tiruan mengambil informasi dari berbagai sumber, memberikan bobot pada informasi tersebut, dan kemudian menentukan output berdasarkan informasi yang telah diproses.

Neuron tiruan memiliki tujuh elemen dasar seperti yang tergambar pada Gambar 3.8, dengan penjabaran masing-masing elemen sebagai berikut:

1. *Input Neuron* atau Sinyal Masukan (x_i)

Sinyal masukan merupakan atau sampel yang berasal dari lingkungan eksternal dan mewakili nilai-nilai yang diasumsikan oleh variabel-variabel

dalam suatu aplikasi tertentu. Sinyal masukan ini biasanya dinormalisasi untuk meningkatkan efisiensi komputasi dari algoritma pembelajaran. Normalisasi ini membantu memastikan bahwa proses pembelajaran berlangsung lebih cepat dan stabil, dengan mengurangi risiko masalah seperti *gradient vanishing* atau *exploding* pada jaringan saraf tiruan.

2. Bobot Sinapsis (w_i)

Bobot sinapsis adalah nilai yang digunakan untuk memberikan bobot pada setiap variabel masukan, sehingga memungkinkan pengukuran seberapa relevan setiap input terhadap fungsi neuron. Bobot ini menentukan seberapa besar pengaruh suatu sinyal masukan terhadap output akhir yang dihasilkan oleh neuron tiruan.

3. Agregator Linear (Σ)

Agregator linear menghimpun semua sinyal masukan yang telah diberi bobot oleh sinapsis untuk menghasilkan tegangan aktivasi. Tegangan aktivasi ini merupakan hasil penjumlahan dari sinyal-sinyal tersebut setelah dikalikan dengan bobot masing-masing, dan digunakan sebagai input untuk fungsi aktivasi yang menentukan output akhir neuron tiruan.

4. Ambang Aktivasi atau Bias (θ)

Ambang aktivasi atau bias adalah nilai yang digunakan untuk menentukan batasan agar hasil dari agregator linier dapat memicu neuron untuk menghasilkan output. Bias membantu mengatur kapan neuron akan aktif atau terpicu untuk menghasilkan hasil tertentu.

5. Potensi Aktivasi (u)

Potensi aktivasi adalah hasil dari selisih antara agregator linier dan ambang aktivasi. Jika nilai ini positif, yaitu jika agregator linier lebih besar dari atau sama dengan ambang aktivasi ($u \geq \theta$), maka neuron menghasilkan potensi eksitatori. Sebaliknya, jika nilai ini negatif, yaitu jika agregator linier kurang dari ambang aktivasi ($u < \theta$), maka potensi bersifat inhibitori.

6. Fungsi Aktivasi (g)

Fungsi aktivasi digunakan untuk membatasi output neuron sehingga berada dalam rentang nilai yang wajar. Fungsi ini menentukan batasan pada hasil

keluaran neuron sesuai dengan bentuk fungsinya. Fungsi aktivasi akan dibahas lebih lanjut pada sub-sub bab 3.8.2.

7. *Output Neuron* atau Sinyal Keluaran (y)

Sinyal keluaran adalah nilai akhir yang dihasilkan oleh neuron berdasarkan sinyal masukan yang diterimanya. Nilai ini juga bisa digunakan sebagai masukan untuk neuron lain yang terhubung secara berurutan.

Untuk menjelaskan lebih lanjut, proses yang dijabarkan sebelumnya dapat dimodelkan dengan persamaan 3.13 dan persamaan 3.14.

$$u = \sum_{i=1}^n (x_i \times w_i) - \theta \quad (3.13)$$

$$y = g(u) \quad (3.14)$$

dengan:

x_i = Sinyal input ke- i

w_i = Bobot sinapsis yang terkait dengan input ke- i ,

θ = Nilai ambang batas,

u = Potensi aktivasi,

$g(.)$ = Fungsi aktivasi, dan

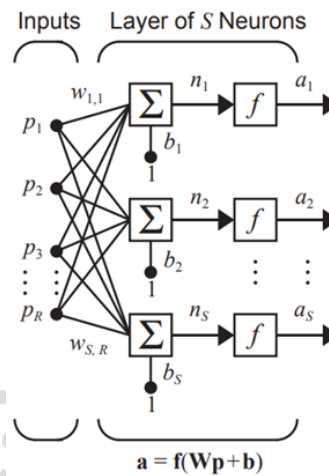
y = Sinyal output yang dihasilkan.

3.10.2 *Arsitektur Jaringan Artificial Neural Network*

Arsitektur jaringan yang umum nya digunakan dalam permodelan yaitu:

1. Jaringan Saraf Lapis Tunggal (*Single Layer Networks*)

Jaringan dengan *layer* tunggal hanya memiliki satu lapisan input dan satu lapisan output. Jaringan ini hanya menerima input dan kemudian mengolahnya menjadi output tanpa perlu melalui lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Model arsitektur jaringan saraf lapis tunggal ditunjukkan pada Gambar 3.9.

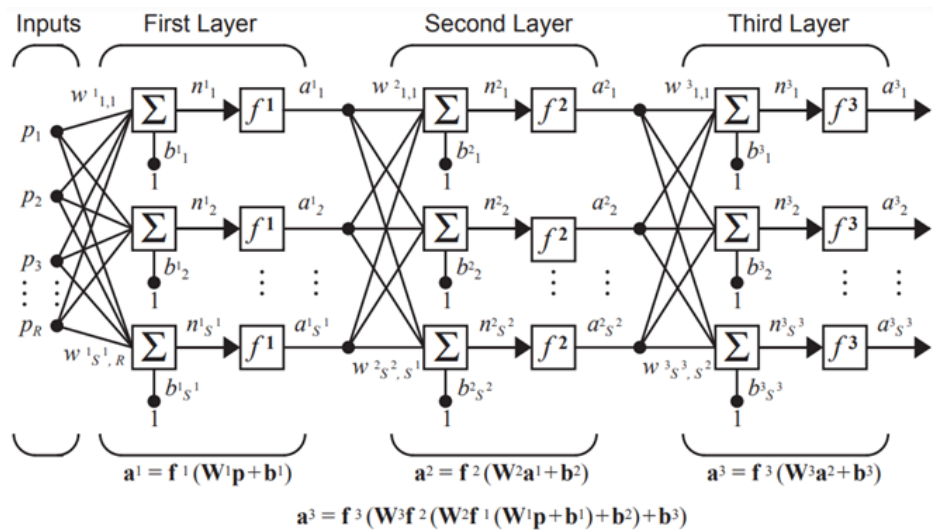


Gambar 3.9 Arsitektur Jaringan Saraf Lapis Tunggal

(Sumber: Neural Network Design, 2002)

2. Jaringan Saraf Lapis Jamak (*Multilayer Network*)

Jaringan dengan lapisan jamak (*multi layer*) memiliki ciri khas tertentu, yaitu terdiri dari tiga jenis lapisan: lapisan input (*input layer*), lapisan output (*output layer*), dan lapisan tersembunyi (*hidden layer*). *Input layer* digunakan untuk menerima nilai masukan dari setiap rekaman dalam data, dengan jumlah simpul yang sesuai dengan jumlah variabel prediktor. *Hidden layer* bertugas untuk mentransformasikan nilai input di dalam jaringan. Setiap simpul pada hidden layer terhubung dengan simpul-simpul pada input layer dan simpul-simpul pada hidden layer berikutnya atau pada *output layer*. Jumlah hidden layer dapat bervariasi sesuai kebutuhan (Vercellis, 2009). *Hidden layer* dapat terdiri dari satu atau lebih lapisan yang terletak di antara *input layer* dan *output layer*. Jaringan dengan lapisan jamak ini mampu menyelesaikan masalah yang lebih kompleks dibandingkan dengan jaringan dengan lapisan tunggal, meskipun proses pelatihannya terkadang lebih rumit dan memakan waktu lebih lama (Arif, 2006). Model arsitektur jaringan saraf lapis jamak ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Arsitektur Jaringan Saraf Lapis Jamak

(Sumber: Neural Network Design, 2002)

3.10.3 Hyperparameter Neural Network

Hyperparameter pada neural network adalah parameter yang tidak dipelajari secara langsung selama proses pelatihan model, melainkan harus diatur sebelumnya oleh pengguna. Optimisasi *hyperparameter* adalah bagian mendasar dari Machine Learning (ML) dan telah banyak diteliti dalam beberapa tahun terakhir; namun, ini masih menjadi salah satu tantangan utama di bidang ini (Japa dkk., 2023). Pemilihan *hyperparameter* yang tepat sangat penting karena mereka memengaruhi kinerja dan kemampuan generalisasi model. Namun, karena tidak ada metode baku untuk menentukan nilai *hyperparameter* terbaik, proses ini sering kali memerlukan eksperimen yang berulang kali, yang bisa memakan waktu dan sumber daya.

Metode optimasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan fungsi *grid search*. Menurut Japa dkk. (2023), *Grid Search* melakukan pencarian dengan mempertimbangkan grid multi-dimensi dari kombinasi *hyperparameter*. Rentang untuk setiap *hyperparameter* dalam grid biasanya ditentukan oleh pengguna. *Grid Search* kemudian menghitung produk Kartesius dari kombinasi *hyperparameter* yang memungkinkan. Karena beberapa *hyperparameter* dapat memiliki nilai yang tak terbatas, pengguna juga harus mendefinisikan langkah untuk melompat dari satu nilai *hyperparameter* ke nilai berikutnya. Ketika dilakukan oleh spesialis, nilai-nilai

yang diambil dari grid ini dapat menghasilkan model pembelajaran yang memuaskan.

Optimisasi *hyperparameter* dalam neural network melibatkan beberapa komponen penting, di antaranya:

1. Jumlah Lapis dan Neuron pada *Hidden Layer*

Hubungan antar neuron dalam *artificial neural network* (ANN) mengikuti pola tertentu yang sesuai dengan arsitekturnya dan terkait dengan algoritma pembelajaran yang digunakan untuk melatih jaringan tersebut. Pemodelan ANN menggunakan algoritma untuk membentuk jaringan yang mampu mempelajari informasi atau data yang diberikan. Biasanya, satu neuron dengan banyak input mungkin tidak cukup, sehingga diperlukan beberapa neuron yang bekerja secara paralel dalam suatu lapisan (*layer*). Untuk menyederhanakan algoritma, dibentuklah model arsitektur jaringan dengan mengumpulkan data input hingga membentuk lapisan-lapisan (*layer*) yang jumlahnya disesuaikan dengan data yang ada. Konsep lapisan ini penting dalam membangun arsitektur ANN yang efektif.

2. Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi digunakan untuk membatasi *output neuron* sehingga berada dalam rentang nilai yang wajar. Fungsi aktivasi ditetapkan agar model dapat menyesuaikan secara spesifik dengan masalah yang akan dimodelkan menggunakan jaringan saraf tiruan. Dengan demikian, algoritma yang sesuai untuk masalah tersebut dapat diidentifikasi oleh program yang dibangun. Ada beberapa jenis fungsi aktivasi yang digunakan dalam pemodelan *neural network*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 berikut.

Name	Input/Output Relation	Icon	MATLAB Function
Hard Limit	$a = 0 \quad n < 0$ $a = 1 \quad n \geq 0$		hardlim
Symmetrical Hard Limit	$a = -1 \quad n < 0$ $a = +1 \quad n \geq 0$		hardlims
Linear	$a = n$		purelin
Saturating Linear	$a = 0 \quad n < 0$ $a = n \quad 0 \leq n \leq 1$ $a = 1 \quad n > 1$		satlin
Symmetric Saturating Linear	$a = -1 \quad n < -1$ $a = n \quad -1 \leq n \leq 1$ $a = 1 \quad n > 1$		satlins
Log-Sigmoid	$a = \frac{1}{1 + e^{-n}}$		logsig
Hyperbolic Tangent Sigmoid	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$		tansig
Positive Linear	$a = 0 \quad n < 0$ $a = n \quad 0 \leq n$		poslin
Competitive	$a = 1 \quad \text{neuron with max } n$ $a = 0 \quad \text{all other neurons}$		compet

Gambar 3.11 Jenis Fungsi Aktivasi

(Sumber: Neural Network Design, 2002)

Fungsi aktivasi dipilih berdasarkan kriteria tertentu yang dapat menyelesaikan masalah. Adapun dalam penelitian ini digunakan 2 variasi fungsi aktivasi dari *library* keras, yaitu ReLu (*Rectified Linear Unit*) yang sejalan dengan fungsi *positive linear* pada Gambar 3.10 dan tanh (*Hyperbolic Tangent Function*).

3. Ukuran Batch (*Batch Size*) dan *Epoch*

Kusuma (2022) menyatakan bahwa *batch size* adalah parameter yang menentukan jumlah sampel yang digunakan dalam proses pelatihan. Pengaturan *batch size* mempengaruhi durasi pelatihan dan potensi terjadinya overfitting. Dalam kondisi tertentu, ukuran *batch size* juga berdampak pada efisiensi komputasi. Semakin besar *batch size*, semakin cepat waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proses pelatihan. Sedangkan *epoch* adalah kondisi di mana seluruh dataset telah melewati proses pelatihan dalam jaringan neural sebanyak satu kali. Jumlah *epoch* mempengaruhi proses pembelajaran, namun jumlah yang optimal bervariasi tergantung pada kasus

yang dihadapi. Semakin tinggi jumlah *epoch*, semakin banyak waktu yang dibutuhkan untuk mempelajari dataset secara keseluruhan.

4. *Optimizer* dan Laju Pembelajaran (*Learning Rate*)

Optimizer berfungsi untuk memperbarui bobot dan bias berdasarkan informasi kesalahan dari hasil prediksi. Tujuan utamanya adalah meminimalkan kesalahan (melakukan optimisasi terhadap fungsi loss) sebanyak mungkin, dimana pengaturan *learning rate* yang akan menentukan seberapa cepat dan mendetail model belajar. Semakin kecil *learning rate*, semakin lama waktu yang dibutuhkan model untuk mencapai konvergensi (dengan biaya komputasi yang tinggi), namun proses belajarnya menjadi lebih detail dan akurat.

Dalam konteks ini, Kingma dan Ba (2015) menyatakan bahwa *stochastic gradient-based optimization* menjadi metode yang sangat penting dalam berbagai bidang ilmu dan teknik. Metode ini memungkinkan optimasi fungsi objektif skalar yang membutuhkan maksimisasi atau minimisasi terhadap parameternya. Jika fungsi objektif tersebut dapat dibedakan terhadap parameternya, *gradient descent* menjadi metode yang efisien karena perhitungan turunan parsial terhadap semua parameter memiliki kompleksitas komputasi yang sama dengan evaluasi fungsi itu sendiri.

Dalam penelitian ini akan digunakan metode Adam sebagai metode optimasi stokastik yang efisien. Adam hanya memerlukan gradien orde pertama dengan kebutuhan memori yang minimal. Metode ini menghitung laju pembelajaran adaptif secara individual untuk berbagai parameter berdasarkan estimasi momen pertama dan kedua dari gradien. Nama Adam berasal dari singkatan *adaptive moment estimation*. Salah satu keuntungan dari Adam adalah bahwa magnitudo pembaruan parameter tidak terpengaruh oleh skala ulang gradien, dan metode ini dapat bekerja dengan baik meskipun dalam kondisi yang tidak stasioner dan pada gradien yang jarang (Kingma & Ba, 2015).

3.10.4 Pelatihan *Artificial Neural Network*

Mengacu pada (Rada dan Aji, 2019) terdapat dua jenis pelatihan jaringan berdasarkan cara memodifikasi bobotnya, yaitu pelatihan dengan supervisi (*supervised learning*) dan pelatihan tanpa supervisi (*unsupervised learning*). Penjelasan mengenai masing-masing jenis pelatihan sebagai berikut.

1. *Supervised Learning*

Dalam pelatihan dengan supervisi, digunakan sejumlah pasangan data (*input-output*) untuk melatih jaringan hingga bobot yang diinginkan tercapai. Pasangan data ini berfungsi sebagai “pembimbing” yang membimbing jaringan untuk mencapai bentuk terbaik. “Pembimbing” memberikan informasi yang jelas mengenai bagaimana sistem harus mengubah dirinya untuk meningkatkan kinerja. Salah satu jaringan saraf lapis jamak yang termasuk kedalam jenis *supervised learning* adalah jaringan perambatan-balik (*backpropagation*).

2. *Unsupervised Learning*

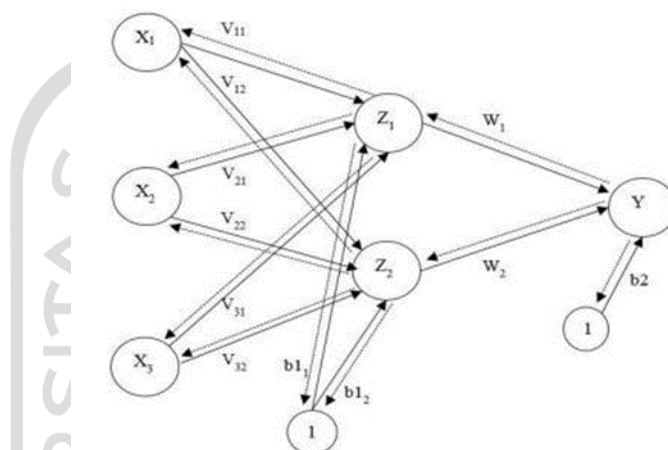
Dalam pelatihan tanpa supervisi, tidak ada “pembimbing” yang mengarahkan proses pelatihan. Sebaliknya, perubahan bobot jaringan dilakukan berdasarkan parameter tertentu, dan jaringan dimodifikasi sesuai dengan ukuran parameter tersebut.

Adapun dalam penelitian ini, jenis *Artificial Neural Network* yang digunakan termasuk kedalam jenis *supervised learning*, yang berarti ANN bekerja dengan cara melakukan iterasi berulang-ulang untuk meminimalkan kesalahan (*error*) dalam memprediksi *output* berdasarkan data *input* yang ada. ANN belajar dengan menggunakan pasangan *input-output* yang telah diketahui untuk memodifikasi bobotnya agar menghasilkan prediksi yang lebih akurat.

3.10.5 Algoritma *Backpropagation*

Algoritma *backpropagation* adalah algoritma yang sering digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah kompleks. Algoritma *backpropagation* ini pertama kali dirumuskan oleh Werbos dan kemudian dipopulerkan oleh Rumelhart dan McClelland untuk digunakan dalam jaringan saraf tiruan (Rada dan Aji, 2019). Konsep kerja algoritma ini mirip dengan konsep beberapa model arsitektur yang

telah dipaparkan sebelumnya. Dalam algoritma ini, pembobot (w) pada neuron diperbarui secara mundur (*backward*) berdasarkan error output yang dihasilkan dari fungsi aktivasi. Untuk memperoleh error output tersebut, fungsi dijalankan terlebih dahulu secara maju (*forward*) dan kemudian diproses mundur (*backpropagate*) dengan bias (b) pada fungsi tersebut. Model jaringan arsitektur dari algoritma *backpropagation* dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Arsitektur Jaringan Saraf Lapis Jamak
(Sumber: Kusumadewi S., 2004)

Secara umum, proses algoritma back propagation terdiri dari langkah-langkah berikut (Adhi, 2009):

1. Melakukan penetapan awal bobot dan bias.
2. Menyebarkan nilai pada setiap unit *input* ke seluruh jaringan di *hidden layer*.
3. Menghitung nilai *input* dari *hidden layer*.
4. Menghitung nilai *output* dari *hidden layer*.
5. Menyebarkan nilai setiap *input* pada unit di *hidden layer* ke seluruh jaringan di *output layer*.
6. Menghitung koreksi error pada unit di *output layer*.
7. Menghitung koreksi error pada unit di *hidden layer*.
8. Memperbarui bobot dan bias pada *output layer*.
9. Memperbarui bobot dan bias pada *hidden layer*.
10. Mengulangi langkah 2 hingga langkah 9 untuk perbaikan bias dan bobot.

3.10.6 Permodelan *Artificial Neural Network*

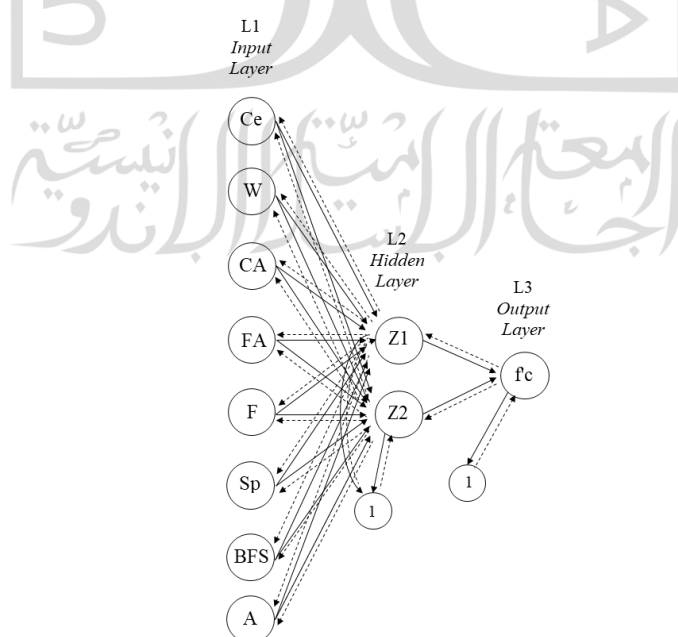
Algoritma *backpropagation* yang dijelaskan pada sub bab 3.8.5 akan digunakan dalam penelitian ini. Permodelan algoritma dimulai dengan cara melatih *dataset* yang dimiliki, yang mencakup spesifikasi *input* dan *output* pada data percobaan (*training set*). Konfigurasi pemodelan ini terdiri dari tiga lapisan: *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*. *Input layer* berisi kumpulan data yang berfungsi untuk memproses informasi guna menghasilkan *output*. *Hidden layer* adalah lapisan yang memproses dan mentransformasi data antara *input* dan *output layer*, menangkap pola kompleks dalam data. *Output layer*, di sisi lain, merupakan hasil akhir berupa persamaan numerik yang berasal dari pemrosesan data *input*. Rencana penerapan ANN dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Permodelan ANN untuk prediksi kuat tekan beton.

Input : Semen (Ce), Air (W), Agregat Kasar (CA), Agregat Halus (FA), Fly ash (F), Superplasticizer (Sp), Blast furnace slag (BFS), dan Umur uji beton (A)

Output : Kuat tekan beton (f'_c)

Contoh Konfigurasi permodelan dari variabel *input* dan *output* pada model dengan menggunakan 1 *hidden layer* yang berisikan 2 node dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Contoh Konfigurasi Permodelan

2. Dalam penelitian ini, akan dilakukan *trial and eror* menggunakan *Single-Layer Network* dan *Multiple-Layer Network* yang memungkinkan penggunaan fungsi transfer yang berbeda (baik linear maupun non-linear) serta memiliki risiko error yang lebih kecil.
3. Parameter input dan output yang telah didefinisikan pada poin 1 perlu dinormalisasikan untuk mempersiapkan data sebelum analisis. Metode *Min-Max Scaling* mengubah data ke dalam rentang 0 hingga +1, sehingga mengurangi risiko terjadinya error yang besar. Di sisi lain, metode *Standard Scaler* mengubah data dengan cara mengurangi rata-rata dan membagi dengan deviasi standar, sehingga menghasilkan distribusi dengan rata-rata 0 dan deviasi standar 1. Dalam penelitian ini, akan dilakukan percobaan untuk menguji kedua metode ini dan menentukan mana yang lebih efektif untuk analisis data.
4. Setelah data dinormalisasi, langkah selanjutnya adalah memasukkan semua data ke dalam program dan menentukan jumlah lapis dan *neuron / node* pada *hidden layer* yang sesuai. Tidak ada metode langsung untuk memilih jumlah lapis dan *neuron / node*, sehingga umumnya digunakan metode *trial-error*. Beberapa percobaan diperlukan untuk menentukan jumlah *hidden layer* yang menghasilkan hasil terbaik. Menurut Fausset L. (1994), satu *hidden layer* sudah cukup untuk *backpropagation network* dalam memprediksi pemetaan berkelanjutan dari pola *input* ke *output*. Namun, dalam kondisi tertentu, dua atau lebih *hidden layer* dapat mempermudah proses percobaan.
5. Selain jumlah lapis dan jumlah neuron, diperlukan juga untuk menentukan *hyperparameter* lain seperti fungsi aktivasi, jenis *optimizer*, jumlah *epoch* serta ukuran *batch* yang akan diujikan pada model.
6. Setelah menentukan beberapa *hyperparameter* melalui metode *trial-error*, langkah selanjutnya adalah menjalankan program untuk memperoleh model yang bisa digunakan untuk prediksi kuat tekan beton.
7. Optimasi proporsi bahan substitusi dilakukan dengan memanfaatkan model ANN yang telah dibangun. Proses ini melibatkan penerapan model ANN pada

data *mix design* beton dengan variasi bahan substitusi. Model ANN digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton dari setiap variasi campuran. Hasil prediksi kemudian dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing bahan substitusi. Proporsi bahan substitusi yang memberikan kuat tekan optimal akan dipilih sebagai hasil optimasi.

3.10.7 Loss Function

Setelah model ANN dilatih dan diuji dengan *dataset* yang ada, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai error untuk mengevaluasi kinerja model. Dalam pengolahan data yang bersifat estimasi dan masih mengandung unsur ketidakpastian, penting untuk memasukkan nilai error sebagai pengukuran akurasi dari estimasi tersebut (Sembiring, 2024). Untuk setiap nilai, diperlukan perhitungan nilai error untuk membandingkan hasil input dengan target output (Rada dan Aji, 2019). *Loss Function* atau perhitungan error yang digunakan pada pengujian kali ini adalah *Root Mean Square Error* (RMSE), koefisien determinasi (R^2), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dengan rincian sebagai berikut.

1. Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error adalah metode pengukuran yang digunakan untuk mengukur perbedaan antara nilai prediksi model dan nilai yang diobservasi. RMSE merupakan hasil akar kuadrat dari *Mean Square Error* (MSE). Semakin kecil nilai RMSE yang diperoleh, semakin akurat metode yang digunakan (Ridlo dkk., 2023). Adapun perhitungan RMSE ditunjukkan pada persamaan 3.15 berikut.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (3.15)$$

dengan:

A_t = Target output atau nilai aktual data

F_t = Output jaringan atau nilai hasil prediksi, dan

n = Jumlah data.

2. Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi digunakan untuk mengukur kemampuan model untuk menjelaskan variabel dependen yang berbeda. Nilai koefisien determinasi berkisar dari nol hingga satu, dimana jika nilai R^2 mendekati nol menunjukkan bahwa model tidak banyak menjelaskan variabilitas variabel dependen. Variabel independen dalam model mungkin tidak memiliki kekuatan penjelas yang signifikan terhadap variabel dependen. Sebaliknya, jika R^2 mendekati satu, ini menunjukkan bahwa model menjelaskan sebagian besar variabilitas variabel dependen. Dengan kata lain, model memiliki kekuatan penjelas yang tinggi. Koefisien determinasi merupakan salah satu metrik untuk mengevaluasi model, tetapi tidak selalu memberikan gambaran lengkap tentang kualitas model. Misalnya, nilai R^2 yang tinggi tidak selalu berarti model adalah model terbaik, karena model yang terlalu kompleks dapat memiliki R^2 tinggi tetapi performa yang buruk pada data yang tidak terlihat (*overfitting*).

Koefisien determinasi (R^2) memiliki rentang nilai yang digunakan untuk menentukan kekuatan hubungan linier dalam data. Nilai R^2 di bawah 0,3 menunjukkan hubungan linier yang sangat lemah. Rentang 0,3 hingga 0,5 menunjukkan hubungan linier yang rendah, sedangkan nilai antara 0,5 dan 0,7 menunjukkan hubungan linier yang sedang. Nilai R^2 di atas 0,7 menunjukkan hubungan linier yang kuat (Moore dkk., 2013).

3. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) merupakan persentase kesalahan rata-rata absolut yang sering digunakan dalam statistik untuk mengukur akurasi. MAPE dihitung dengan mengambil rata-rata persentase selisih absolut antara data asli dan data prediksi (Ridlo, dkk. 2023).

Nilai MAPE dapat dihitung menggunakan rumus 3.16.

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100\% \quad (3.16)$$

dengan:

- A_t = Target output atau nilai aktual data
 F_t = Output jaringan atau nilai hasil prediksi, dan
 n = Jumlah data.

Hasil interpretasi nilai MAPE menunjukkan beberapa kategori tingkat akurasi peramalan. Lewis (1982) dalam Afifuddin dkk. (2021) menyatakan bahwa nilai MAPE yang kurang dari 10% menandakan peramalan yang sangat akurat. Jika nilai MAPE berada di antara 10% hingga 20%, peramalan tersebut dianggap baik. Untuk nilai yang berkisar antara 20% hingga 50%, peramalan dinyatakan layak. Namun, jika nilai MAPE lebih dari 50%, peramalan tersebut dianggap kurang akurat. Klasifikasi ini memberikan gambaran yang jelas tentang kualitas peramalan yang dapat diharapkan dalam konteks penelitian ini.



BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Optimasi proporsi bahan substitusi dalam campuran beton bertujuan untuk mencapai kuat tekan beton yang lebih efektif. Penelitian ini menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memodelkan hubungan antara proporsi bahan substitusi dan kuat tekan beton. Data yang digunakan berasal dari UCI *Machine Learning Repository* (2008), yang mencakup informasi tentang bahan utama penyusun beton, bahan substitusi, umur pengujian, dan kuat tekan beton. Pada bab ini, penulis akan menjelaskan tahapan penelitian, mulai dari pengumpulan dan pemrosesan data, hingga penerapan metode ANN untuk menentukan proporsi bahan substitusi yang optimal guna mencapai kuat tekan beton yang diharapkan.

4.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu yang terkait dengan penelitian ini hanyalah jadwal pelaksanaan penelitian, mencakup periode tahap studi literatur, pengumpulan data, analisis data, dan pemodelan arsitektural jaringan yang dilakukan. Penelitian ini tidak melibatkan lokasi fisik atau pengujian langsung, melainkan berfokus pada optimasi proporsi bahan substitusi melalui pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN) menggunakan data yang tersedia dengan alat bantu program komputer.

4.3 Jenis dan Variabel Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proporsi bahan substitusi dalam campuran beton menggunakan metode non-konvensional, yaitu *Artificial Neural Network* (ANN). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi proporsi bahan substitusi yang meliputi *fly ash*, *superplasticizer*, dan blast furnace slag. *Fly ash* dan blast furnace slag digunakan sebagai pengganti sebagian semen, sementara *superplasticizer* digunakan sebagai substitusi sebagian air, dengan variasi persentase proporsi yang diujikan. Variabel terikat adalah kuat tekan beton, yang

diukur pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Target kuat tekan yang ditetapkan adalah 25 MPa.

4.4 Data dan Metode Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu data utama dan data pendukung. Data utama adalah data yang menjadi fokus utama penelitian dan bersumber dari *dataset* yang relevan dengan tujuan penelitian. Sementara itu, data pendukung adalah informasi tambahan yang mendukung analisis dan interpretasi hasil.

1. Data Utama

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *dataset open-source* yang tersedia di *UCI Machine Learning Repository* (1998). *Dataset* ini memuat informasi tentang komposisi bahan utama penyusun beton, termasuk bahan substitusi seperti *fly ash*, *superplasticizer*, dan *blast furnace slag*, serta umur pengujian dan kuat tekan beton. Data ini relevan karena mencakup berbagai variasi proporsi bahan yang digunakan dalam campuran beton yang nantinya akan digunakan sebagai input utama pada model ANN, sehingga dapat membantu dalam proses pelatihan model prediksi kuat tekan dan optimasi proporsi bahan substitusi. Untuk memberikan gambaran mengenai *dataset* yang digunakan, berikut ditampilkan contoh sampel data dari total 1.030 data yang tersedia, yang dapat dilihat dalam Tabel 4.1. Contoh data dipilih secara acak untuk merepresentasikan variasi yang ada dalam *dataset*. Untuk data yang lebih lengkap mengenai *dataset* dapat ditemukan pada Lampiran 1.

Tabel 4.1 Sampel Data Utama yang Digunakan

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Superplas- ticizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
1	108,3	162,4	0,0	203,5	0,0	938,2	849,0	3	2,33
2	122,6	183,9	0,0	203,5	0,0	958,2	800,1	3	3,32
3	230,0	0,0	118,3	195,5	4,6	1029,4	758,6	3	10,03
4	116,0	173,0	0,0	192,0	0,0	909,8	891,9	7	10,09

Lanjutan Tabel 4.1 Sampel Data Utama yang Digunakan

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Superplasticizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
5	181,9	272,8	0,0	185,7	0,0	1012,4	714,3	7	12,37
6	250,0	0,0	0,0	182,0	0,0	1100,0	820,0	7	12,73
7	168,0	42,1	163,8	121,8	5,7	1058,7	780,1	14	17,82
8	212,6	0,0	100,4	159,4	10,4	1003,8	903,8	14	25,37
9	165,0	128,5	132,1	175,1	8,1	1005,8	746,6	14	33,09
10	151,6	0,0	111,9	184,4	7,9	992,0	815,9	28	12,18
11	153,0	145,0	113,0	178,0	8,0	1002,0	689,0	28	25,56
12	325,0	0,0	0,0	184,0	0,0	1063,0	783,0	28	30,57
13	222,4	0,0	96,7	189,3	4,5	967,1	870,3	56	29,45
14	108,3	162,4	0,0	203,5	0,0	938,2	849,0	90	29,23
15	296,0	0,0	0,0	192,0	0,0	1085,0	765,0	90	29,39
16	168,0	42,1	163,8	121,8	5,7	1058,7	780,1	100	39,23
17	277,0	0,0	0,0	191,0	0,0	968,0	856,0	180	32,33
18	237,5	237,5	0,0	228,0	0,0	932,0	594,0	270	38,41
19	277,0	0,0	0,0	191,0	0,0	968,0	856,0	360	33,70
20	332,5	142,5	0,0	228,0	0,0	932,0	594,0	365	41,05

Yeh (1998) menyatakan bahwa dataset ini dikumpulkan dari beberapa sumber. Data campuran beton tersebut kemudian dievaluasi, dengan beberapa campuran dihapus dari dataset karena penggunaan agregat berukuran besar (memiliki ukuran di atas 20 mm), kondisi perawatan khusus, atau faktor lainnya. Studi-studi yang berbeda menggunakan spesimen dengan ukuran dan bentuk yang beragam. Semua jenis spesimen ini kemudian dikonversi menjadi silinder berdiameter 15 cm berdasarkan pedoman umum yang diterima. Namun, dalam basis data sering kali terdapat ketidakakuratan yang tidak terduga. Sebagai contoh, beberapa kelas *fly ash* dan jenis *superplasticizer* tidak dilaporkan secara lengkap.

2. Data Pendukung

Data pendukung dalam penelitian ini mencakup informasi tambahan seperti:

- Studi literatur yang relevan mengenai aplikasi *Artificial Neural Network*, khusus nya pada bidang ketekniksipilan.

- b. Data historis yang terkait dengan penggunaan bahan substitusi tertentu dalam campuran beton dan efeknya terhadap kuat tekan.
- c. *ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* sebagai panduan tata cara perencanaan beton.

4.5 Alat

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah program atau aplikasi komputer. Berikut adalah program-program yang diperlukan untuk penelitian ini.

1. Microsoft Excel, digunakan sebagai alat bantu pada proses *mix design* dan mengolah *dataset* sebelum digunakan diproses dalam model ANN.
2. R dan R Studio, digunakan untuk proses EDA (*Exploratory Data Analysis*)
3. Python dan Visual Studio Code, digunakan untuk membuat arsitektural dan model ANN guna memperoleh proporsi bahan substitusi yang optimum.

4.6 Pelaksanaan Penelitian

4.6.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan data tentang kekuatan beton berdasarkan parameter desain material campuran beton. Termasuk kajian mengenai pemahaman model ANN dan cara kerjanya, sehingga model dapat mencapai angka error yang paling kecil, yang ditunjukkan dengan nilai RMSE yang paling rendah dan angka R^2 paling mendekati 1.

4.6.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *dataset open-source* yang diperoleh dari *UCI Machine Learning Repository* (1998) seperti yang tertera pada sub bab 4.4. Dataset ini berisi informasi mengenai komposisi bahan utama penyusun beton, termasuk bahan substitusi seperti *fly ash*, *superplasticizer*, dan *blast furnace slag*, serta umur pengujian dan kuat tekan beton.

Data terdiri dari 1030 sampel yang mencakup variasi dalam proporsi bahan dan umur beton, yang diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif

mengenai pengaruh bahan substitusi terhadap kekuatan tekan beton. Setiap sampel dalam dataset ini mencakup variabel-variabel berikut:

1. Bahan utama, yakni proporsi semen, air, dan agregat kasar serta halus dalam satuan kg/m^3 .
2. Bahan substitusi, yakni proporsi *fly ash*, *superplasticizer*, dan *blast furnace slag* dalam satuan kg/m^3 .
3. Umur beton, yakni umur pengujian dalam satuan hari, dengan variasi pengujian mulai dari 1 hari hingga 365 hari.
4. Kuat tekan beton, yakni hasil pengujian kuat tekan beton dalam satuan MPa, dengan variasi kuat tekan mulai dari 2 MPa hingga 82 MPa.

Dataset ini kemudian diolah dan dianalisis menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) dengan bantuan R Studio dan Visual Studio Code, untuk mendapatkan model ANN guna memprediksi kuat tekan beton berdasarkan komposisi bahan dan umur beton. Kemudian dari model yang didapatkan, akan digunakan untuk proses optimasi proporsi dengan data *mix design*.

4.6.3 Penentuan Parameter Desain Campuran Beton dan Pembuatan *Mix Design*

Tahap awal dalam penelitian ini adalah menetapkan parameter desain campuran beton untuk proses optimasi, dengan fokus pada variasi proporsi bahan substitusi. Variasi yang diterapkan pada campuran beton meliputi proporsi bahan substitusi sebagai berikut.

1. *Fly ash*
Fly ash ditambahkan dalam rentang 0% hingga 50% dari total berat semen, dengan interval per 0,1%. Artinya, campuran didesain dengan proporsi *fly ash* mulai dari 0%, 0,1%, 0,2%, hingga 50%.
2. *Superplasticizer*
Superplasticizer ditambahkan dalam rentang 0% hingga 1% dari total berat semen, juga dengan interval per 0,1%. Proporsi *superplasticizer* yang digunakan mulai dari 0%, 0,1%, 0,2%, hingga 1%.

3. *Blast Furnace Slag*

Blast Furnace Slag ditambahkan dalam rentang 0% hingga 50% dari total berat semen, dengan interval per 0,1%. Campuran didesain dengan proporsi blast furnace slag mulai dari 0%, 0,1%, 0,2%, hingga 50%.

Dalam setiap variasi, proporsi agregat kasar, dan agregat halus dipertahankan konstan sesuai dengan desain campuran beton standar. *Fly ash* dan *blast furnace slag* digunakan sebagai pengganti sebagian semen, sementara *superplasticizer* digunakan sebagai substitusi sebagian air. Tujuan dari variasi ini adalah untuk memahami pengaruh perubahan proporsi bahan substitusi terhadap kuat tekan beton.

Setelah parameter design ditetapkan, dilanjutkan dengan proses pembuatan campuran beton (*mix design*). Pembuatan campuran beton mengacu pada pedoman yang ditetapkan dalam ACI 211.1. Rincian lebih lanjut mengenai perhitungan campuran beton dapat ditemukan dalam pembahasan di Bab V dengan landasan yang sudah dipaparkan pada sub bab 3.6.

4.6.4 Perancangan Permodelan ANN

Permodelan ANN dibuat menggunakan algoritma *bacpropagation* mengacu pada sub bab 3.8.5 dan konfigurasi permodelan yang sudah dipaparkan pada sub bab 3.8.6, secara umum dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Input Data Masukan dan Keluaran.

Pada tahap ini, data input dan output yang diperlukan untuk model *Artificial Neural Network* (ANN) harus dimasukkan. Data input meliputi variabel-variabel seperti proporsi bahan substitusi, umur pengujian, dan komposisi campuran beton, sedangkan data output mencakup kuat tekan beton yang dihasilkan. Proses ini penting untuk melatih model ANN agar dapat memprediksi kekuatan beton berdasarkan variasi bahan substitusi dan parameter lainnya. Untuk mempermudah penggambaran struktur input dan output pada permodelan ANN, detail komponen input dan output dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Struktur Permodelan ANN

Variabel	Komponen
A	<i>Input</i> parameter utama desain campuran beton yang terdiri dari: semen, air, agregat halus, agregat kasar.
B	<i>Input</i> kadar <i>fly ash</i>
C	<i>Input</i> kadar <i>superplasticizer</i>
D	<i>Input</i> kadar <i>blast furnace slag</i>
E	<i>Input</i> umur pengujian beton
F	<i>Output</i> hasil uji kuat tekan beton

Dapat dilihat pada Tabel 4.2, pada permodelan ini, prediksi kuat tekan beton (Variabel F) akan dihitung menggunakan seluruh komponen input (Variabel A hingga E) yang mencakup seluruh variasi proporsi bahan substitusi dan umur pengujian. Hasil permodelan ANN ini akan memberikan gambaran yang lebih menyeluruh tentang pengaruh kombinasi bahan substitusi terhadap kuat tekan beton, serta menentukan proporsi optimal dari setiap bahan substitusi.

2. Menentukan Persentase Data *Training*, *Testing* dan *Validation*.

Langkah berikutnya adalah menentukan persentase data yang akan dialokasikan untuk training, testing, dan validation. Porsi terbesar dialokasikan untuk data training, yang digunakan untuk melatih dan mendefinisikan parameter model. Data validation digunakan untuk menguji kemampuan model selama proses pembentukan, sedangkan data testing berfungsi memeriksa keakuratan model terhadap data yang tidak termasuk dalam sampel pelatihan. Dalam penelitian ini, data dibagi menjadi 70% untuk *training*, 15% untuk *testing*, dan 15% untuk *validation*.

3. Menetapkan *Hyperparameter* ANN

Pemilihan *hyperparameter* yang tepat, seperti jumlah lapis dan *neuron* pada *hidden layer*, menjadi hal utama dalam membangun model ANN. Kemampuan model jaringan pada ANN dipengaruhi oleh jumlah lapis dan *neuron* pada *hidden layer* yang digunakan. Algoritma *backpropagation*

berfokus pada peran *hidden layer*, yang memengaruhi kemampuan model ANN dalam menggeneralisasi fungsi atau pola tertentu. Selain itu, *hyperparameter* lain seperti metode optimisasi, ukuran *batch*, jumlah *epoch*, dan metode normalisasi juga diuji dalam berbagai kombinasi untuk mendapatkan kinerja model yang optimal. Dalam penelitian ini, digunakan beberapa variasi *hyperparameter* tersebut untuk menghasilkan model dengan nilai eror terkecil.

4. Pelatihan Model.

Berdasarkan persentase data untuk *training*, *validation*, dan *testing*, dilakukan pelatihan/*training* jaringan dengan berbagai variasi parameter *input*. Dari setiap kombinasi *training*, dipilih hasil yang menghasilkan nilai eror dari metrik R^2 , RMSE, dan MAPE yang terkecil. Hasil *training* dianggap memadai jika tampilan performa menunjukkan kurva *validation* dan *testing* memiliki bentuk yang hampir sama, tampilan regresi mendekati sudut 45° dengan nilai R^2 lebih besar dari 0.90, memiliki nilai MAPE di bawah 10%, serta nilai RMSE yang kecil.

4.6.5 Optimasi Proporsi Bahan substitusi Menggunakan Model ANN

Optimasi proporsi bahan substitusi dilakukan dengan memanfaatkan model ANN yang telah dibangun pada tahap sebelumnya (lihat sub bab 4.6.5). Proses optimasi ini melibatkan penerapan model ANN pada data *mix design* beton yang telah dibuat di sub bab 4.6.4, yang terdiri dari variasi campuran beton dengan berbagai kombinasi bahan substitusi.

Adapun pada tahap ini, prediksi kuat tekan campuran akan dibagi dalam beberapa kasus:

1. Kasus 1, yaitu campuran beton normal tanpa penggantian material ataupun penambahan apapun
2. Kasus 1, yaitu campuran beton dengan variasi *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen
3. Kasus 2, yaitu campuran beton dengan variasi *superplasticizer* sebagai substitusi sebagian air

4. Kasus 3, yaitu campuran beton dengan variasi *blast furnace slag* sebagai substitusi sebagian semen
5. Kasus 4, yaitu campuran beton dengan variasi *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen dan variasi dosis *superplasticizer*
6. Kasus 5, yaitu campuran beton dengan variasi *blast furnace slag* sebagai substitusi sebagian semen dan variasi dosis *superplasticizer*

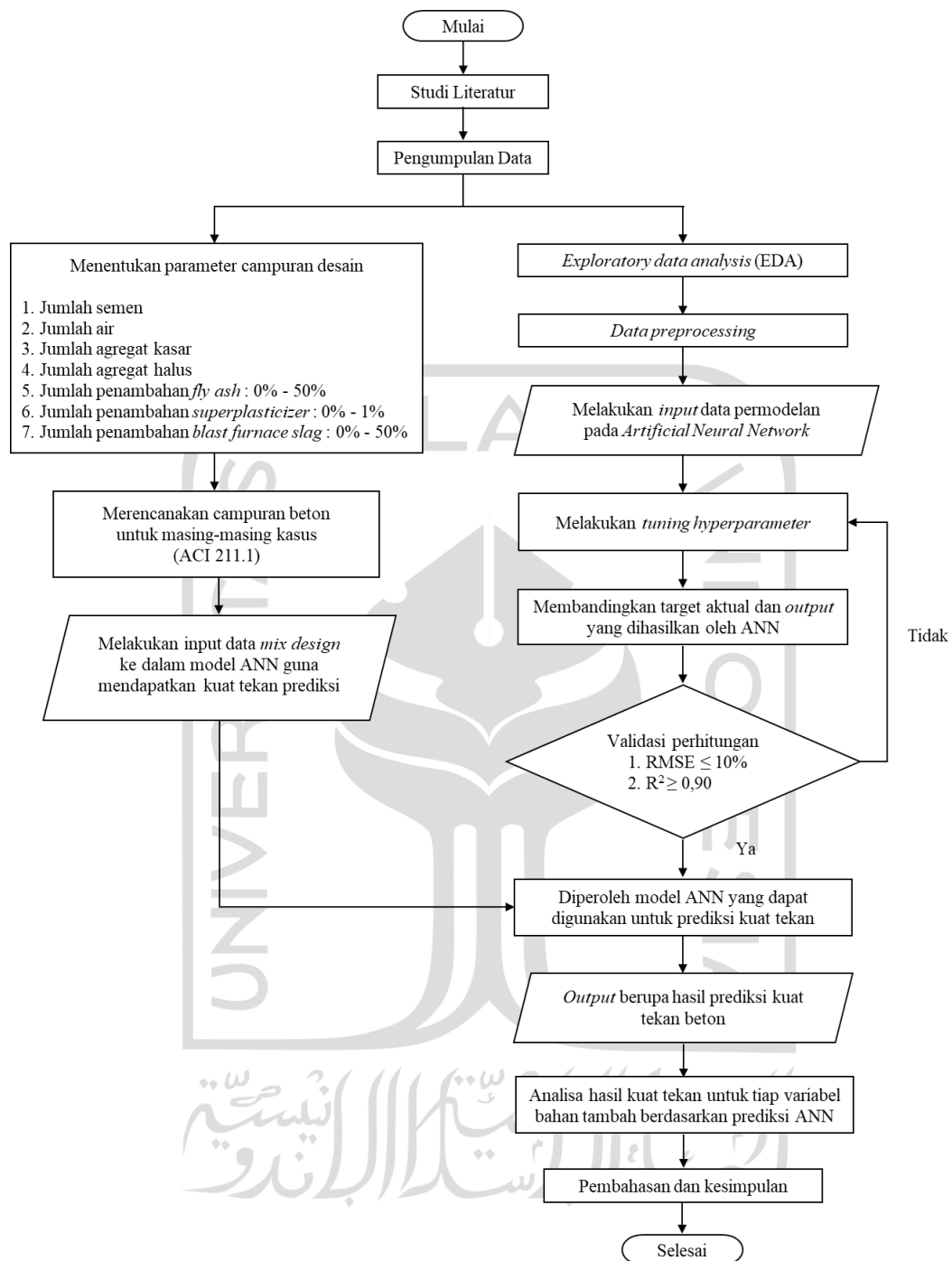
Model ANN digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton yang dihasilkan dari setiap variasi campuran. Hasil prediksi ini kemudian dianalisis untuk menilai pengaruh masing-masing bahan substitusi terhadap kuat tekan beton. Proporsi bahan substitusi yang menghasilkan kuat tekan optimal akan dipilih sebagai hasil optimasi.

4.6.6 Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir dari penelitian ini adalah mengumpulkan seluruh data yang telah dianalisis untuk disusun menjadi kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Selain itu, saran juga akan diberikan untuk penelitian selanjutnya, berdasarkan hasil yang telah dicapai dalam penelitian ini.

4.7 Bagan Alir

Prosedur lengkap dari tahapan pelaksanaan penelitian ini dimodelkan dalam bagan alir yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

BAB V PEMBAHASAN

5.1 Perencanaan Mix Design Beton

Perencanaan Mix Design bertujuan untuk menentukan komposisi yang tepat dari air, semen, agregat halus, agregat kasar, dan bahan substitusi yang digunakan.

5.1.1 Proporsi Campuran Beton Kasus 1

Pada Kasus 1, perencanaan campuran beton dilakukan tanpa adanya substitusi bahan apapun. Perencanaan *Mix Design* dilakukan menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*). Berikut adalah langkah-langkah perencanaan menurut metode ACI:

1. Informasi mengenai material penyusun campuran beton menggunakan referensi bahan yang serupa dengan yang digunakan oleh Yeh (1998) dalam penelitiannya. Material penyusun yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - a. Agregat kasar = Batu pecah alami dengan ukuran maksimum 20 mm
 - b. Agregat halus = Pasir sungai alami yang telah dicuci, dengan modulus halus 3.0
 - c. Jenis semen = Tipe 1
 - d. Air = Air biasa
 - e. *Fly ash* = Dihasilkan dari pembangkit listrik
 - f. *Superplasticizer* = Memenuhi ASTM C494 tipe G
 - g. *Blast Furnace slag* = Bubuk blast furnace yang diperoleh dari pabrik baja local
 - h. Benda Uji = Silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm
 - i. Mutu rencana ($f'c$) = 25 MPa

Selain itu, berat jenis dari setiap komponen utama dalam campuran beton digunakan sesuai dengan Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Berat Jenis Komponen Campuran Beton

Rincian Komponen	Berat Jenis
Semen	3,15
<i>Fly ash</i>	2,22
Blast Furnace Slag	2,85
Air	1,00
<i>Superplasticizer</i>	1,20
Agregat Kasar	2,645
Agregat Halus	2,66

2. Menentukan nilai deviasi standar (s)

Tabel 5.2 Nilai Standar Deviasi

Volume Pekerjaan (m ³)	Mutu Pekerjaan		
	Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil (< 1000)	$4,5 < sd \leq 5,5$	$5,5 < sd \leq 6,5$	$6,5 < sd \leq 8,5$
Sedang (1000 - 3000)	$3,5 < sd \leq 4,5$	$4,5 < sd \leq 4,5$	$5,5 < sd \leq 7,5$
Besar (> 3000)	$2,5 < sd \leq 3,5$	$3,5 < sd \leq 4,5$	$4,5 < sd \leq 6,5$

Volume pekerjaan yang dilakukan termasuk dalam kategori kecil (kurang dari 1000 m³ dengan mutu pekerjaan baik, sehingga berdasarkan Tabel 5.2 ditetapkan nilai standar deviasi nya sebesar 6 MPa

3. Menghitung nilai tambah kuat tekan rencana (M)

$$\begin{aligned}
 M &= 1,64 \times S_r \\
 &= 1,64 \times 6 \\
 &= 9,84 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr})

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= f'_c + M \\
 &= 28 + 9,84
 \end{aligned}$$

$$= 34,84 \text{ MPa}$$

5. Menentukan faktor air semen (FAS)
 - a. Beton yang dirancang merupakan tipe beton *air-entrained*
 - b. Menentukan nilai FAS

Tabel 5.3 Penentuan Faktor Air-Semen

Kuat Tekan Beton Rencana Umur 28 Hari (MPa)	Faktor Air Semen (FAS)	
	Beton Air-Entrained	Beton Non Air-Entrained
41,4	0,41	-
34,5	0,48	0,4
27,6	0,57	0,48
20,7	0,68	0,59
13,8	0,82	0,74

Nilai FAS didapatkan berdasarkan hasil interpolasi berikut

$$\begin{aligned}
 \text{FAS} &= \text{FAS1} + \left(\frac{\text{FAS2} - \text{FAS1}}{f'c2 - f'c1} \right) \times (f'c - f'c1) \\
 &= 0,41 + \left(\frac{0,48 - 0,41}{34,5 - 41,4} \right) \times (34,84 - 41,4) \\
 &= 0,477
 \end{aligned}$$

- c. Menetapkan faktor air semen maksimum

Tabel 5.4 Pedoman Penentuan Nilai FAS Maksimum

Lokasi / Jenis Pembetonan	Nilai Faktor Air Semen (FAS) Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:	
a. keadaan keliling non-korosif	0,60
b. keadaan keliling korosif yang disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:	
a. tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari secara langsung	0,60

Lanjutan Tabel 5.4 Pedoman Penentuan Nilai FAS Maksimum

Lokasi / Jenis Pembetonan	Nilai Faktor Air Semen (FAS) Maksimum
b. terlindungi dari hujan dan terik matahari secara langsung	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:	
a. mengalami keadaan basah dan kering yang berganti-ganti	0,55
b. mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	0,52
Beton yang kontinu berhubungan air	
a. air tawar	0,57
b. air laut	0,52

Faktor Air Semen (FAS) maksimum yang diizinkan untuk beton yang terlindungi dari hujan dan paparan sinar matahari langsung adalah 0,6.

- d. Nilai FAS pada poin b didapatkan sebesar 0,477 dan pada poin c sebesar 0,6. Digunakan nilai FAS terkecil yaitu 0,477.

6. Menentukan nilai slump

Tabel 5.5 Pedoman Penentuan Nilai Slump Berdasarkan Jenis Pekerjaan

Jenis Pekerjaan	Slump (mm)	
	Maks.	Min.
Dinding Penahan Tanah dan Pondasi	75	25
Pondasi Sederhana, Sumuran, dan Dinding Substruktur	75	25
Balok dan Dinding Beton	100	25
Kolom Struktural	100	25
Perkerasan dan Slab	75	25
Beton Massal	50	25

Berdasarkan Tabel 5.5, nilai slump untuk jenis struktur balok, kolom dan dinding beton berada dalam rentang 25 – 100 mm. Nilai slump tidak digunakan secara langsung dalam penelitian ini, sehingga diasumsikan nilai slump yang diambil sebesar 100 mm.

7. Menentukan nilai kadar air bebas

Tabel 5.6 Penentuan Kadar Air Bebas yang Akan Digunakan (liter/m³)

Slump (mm)	Ukuran Maksimum Agregat (mm)		
	10	20	40
25 – 50	206	182	167
75 – 100	226	203	177
150 – 175	240	212	188
Udara Terperangkap	3%	2%	1%

Berdasarkan Tabel 5.6, untuk nilai slump 75 – 100 mm dan besar butir agregat maksimum 10 mm didapatkan kebutuhan air sebesar 203 liter/m³ dan udara terperangkap yang diizinkan sebesar 2%.

8. Menetapkan jumlah semen yang akan digunakan

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{W}{f_{as}} \\
 &= \frac{203}{0,477} \\
 &= 425,98 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

9. Menentukan volume agregat kasar

Tabel 5.7 Penentuan Kebutuhan Agregat Kasar (m³)

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Modulus Halus Butir Pasir			
	2,4	2,6	2,8	3,0
10	0,46	0,44	0,42	0,40
20	0,66	0,64	0,62	0,60
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,80	0,78

Ukuran maksimum agregat yang digunakan adalah 20 mm, dan modulus halus butir pasir memenuhi nilai 3,0. Sebagai hasilnya, mengacu pada Tabel 5.7, didapatkan volume kebutuhan agregat kasar sebesar 0,6 m³, sehingga:

$$\text{Berat Agregat Kasar} = 0,6 \times 1600 = 960 \text{ kg}$$

10. Menentukan volume agregat halus

$$\begin{aligned} V_P &= 1 - (V_W + V_C + V_K + V_U) \\ &= 1 - \left(0,203 + \frac{425,98}{3,15 \times 1000} + \frac{960}{2,645 \times 1000} + 0,02\right) \\ &= 0,279 \text{ m}^3 \\ P &= 0,279 \times 2,660 \times 1000 \\ &= 741,661 \text{ kg} \end{aligned}$$

11. Proporsi campuran beton tanpa bahan substitusi adalah sebagai berikut.

- a. Air = 203 kg
- b. Semen = 425,98 kg
- c. Agregat Kasar = 960 kg
- d. Agregat Halus = 741,661 kg

5.1.2 Proporsi Campuran Beton Kasus 2

Sebagian proporsi campuran dari kasus 2 dapat dilihat pada Tabel 5.8. Untuk informasi dan data lebih lengkap dapat ditemukan pada Lampiran 2.

Tabel 5.8 Sampel Proporsi Campuran Beton Kasus 2

Kadar <i>Fly ash</i>	Semen (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)
0,00%	425,98	0,00	203,00	960,00	741,66
5,00%	404,68	21,30	203,00	960,00	741,66
10,00%	383,38	42,60	203,00	960,00	741,66
15,00%	362,08	63,90	203,00	960,00	741,66
20,00%	340,78	85,20	203,00	960,00	741,66
25,00%	319,48	106,49	203,00	960,00	741,66
30,00%	298,18	127,79	203,00	960,00	741,66
35,00%	276,89	149,09	203,00	960,00	741,66
40,00%	255,59	170,39	203,00	960,00	741,66
50,00%	212,99	212,99	203,00	960,00	741,66

5.1.3 Proporsi Campuran Beton Kasus 3

Proporsi campuran dari kasus 3 dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Sampel Proporsi Campuran Beton Kasus 3

Kadar <i>Superplasticizer</i>	Semen (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Super plasticizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)
0%	425,98	203,00	0,00	960,00	741,66
0,1%	425,98	202,57	0,43	960,00	741,66
0,2%	425,98	202,15	0,85	960,00	741,66
0,3%	425,98	201,72	1,28	960,00	741,66
0,4%	425,98	201,30	1,70	960,00	741,66
0,5%	425,98	200,87	2,13	960,00	741,66
0,6%	425,98	200,44	2,56	960,00	741,66
0,7%	425,98	200,02	2,98	960,00	741,66
0,8%	425,98	199,59	3,41	960,00	741,66
0,9%	425,98	199,17	3,83	960,00	741,66
1,0%	425,98	198,74	4,26	960,00	741,66

5.1.4 Proporsi Campuran Beton Kasus 4

Sebagian proporsi campuran dari kasus 4 dapat dilihat pada Tabel 5.10. Untuk informasi dan data lebih lengkap dapat ditemukan pada Lampiran 3.

Tabel 5.10 Sampel Proporsi Campuran Beton Kasus 4

Kadar Blast Furnace Slag	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)
0,00%	425,98	0,00	203,00	960,00	741,66
5,00%	404,68	21,30	203,00	960,00	741,66
10,00%	383,38	42,60	203,00	960,00	741,66
15,00%	362,08	63,90	203,00	960,00	741,66
20,00%	340,78	85,20	203,00	960,00	741,66
25,00%	319,48	106,49	203,00	960,00	741,66
30,00%	298,18	127,79	203,00	960,00	741,66
35,00%	276,89	149,09	203,00	960,00	741,66
40,00%	255,59	170,39	203,00	960,00	741,66
45,00%	234,29	191,69	203,00	960,00	741,66
50,00%	212,99	212,99	203,00	960,00	741,66

5.1.5 Proporsi Campuran Beton Kasus 5

Data pada kasus 5 merupakan variasi dari kasus 2, di mana setiap data pada kasus 1 masing-masing divariasikan dengan penambahan dosis *superplasticizer* dari 0% hingga 1%. Sebagian proporsi campuran dari kasus 5 dapat dilihat pada Tabel 5.11, yang merupakan variasi dari data kasus 1 yang tersedia di Lampiran 2.

Tabel 5.11 Sampel Proporsi Campuran Beton Kasus 5

Kadar <i>Fly ash</i>	Kadar <i>Superplasticizer</i>	Semen (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (kg/m ³)	<i>Superplasticizer</i> (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)
0,00%	0,00%	425,98	0,00	0,00	203,00	960,00	741,66
5,00%	0,00%	404,68	21,30	0,00	203,00	960,00	741,66
10,00%	0,00%	383,38	42,60	0,00	203,00	960,00	741,66
15,00%	0,00%	362,08	63,90	0,00	203,00	960,00	741,66
20,00%	0,00%	340,78	85,20	0,00	203,00	960,00	741,66
25,00%	0,00%	319,48	106,49	0,00	203,00	960,00	741,66
30,00%	0,00%	298,18	127,79	0,00	203,00	960,00	741,66
35,00%	0,00%	276,89	149,09	0,00	203,00	960,00	741,66
40,00%	0,00%	255,59	170,39	0,00	203,00	960,00	741,66
50,00%	0,00%	212,99	212,99	0,00	203,00	960,00	741,66
0,00%	0,50%	425,98	0,00	2,13	203,00	960,00	741,66
5,00%	0,50%	404,68	21,30	2,13	203,00	960,00	741,66
10,00%	0,50%	383,38	42,60	2,13	203,00	960,00	741,66
15,00%	0,50%	362,08	63,90	2,13	203,00	960,00	741,66
20,00%	0,50%	340,78	85,20	2,13	203,00	960,00	741,66
25,00%	0,50%	319,48	106,49	2,13	203,00	960,00	741,66
30,00%	0,50%	298,18	127,79	2,13	203,00	960,00	741,66
40,00%	0,50%	255,59	170,39	2,13	203,00	960,00	741,66
50,00%	0,50%	212,99	212,99	2,13	203,00	960,00	741,66
0,00%	1,00%	425,98	0,00	4,26	203,00	960,00	741,66
5,00%	1,00%	404,68	21,30	4,26	203,00	960,00	741,66
10,00%	1,00%	383,38	42,60	4,26	203,00	960,00	741,66
15,00%	1,00%	362,08	63,90	4,26	203,00	960,00	741,66
20,00%	1,00%	340,78	85,20	4,26	203,00	960,00	741,66
25,00%	1,00%	319,48	106,49	4,26	203,00	960,00	741,66
30,00%	1,00%	298,18	127,79	4,26	203,00	960,00	741,66
35,00%	1,00%	276,89	149,09	4,26	203,00	960,00	741,66
40,00%	1,00%	255,59	170,39	4,26	203,00	960,00	741,66
50,00%	1,00%	212,99	212,99	4,26	203,00	960,00	741,66

5.1.6 Proporsi Campuran Beton Kasus 6

Sebagian proporsi campuran dari kasus 6, yang merupakan variasi dari kasus 4 dengan superplasticizer berkisar antara 0% hingga 1%, dapat dilihat pada Tabel 5.12. Data lebih lengkap untuk kasus tanpa tambahan superplasticizer dapat ditemukan pada Lampiran 2.

Tabel 5.12 Sampel Proporsi Campuran Beton Kasus 6

Kadar Blast Furnace Slag	Kadar Superplasticizer	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Superplasticizer (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)
0,00%	0,00%	425,98	0,00	0,00	203,00	960,00	741,66
5,00%	0,00%	404,68	21,30	0,00	203,00	960,00	741,66
10,00%	0,00%	383,38	42,60	0,00	203,00	960,00	741,66
15,00%	0,00%	362,08	63,90	0,00	203,00	960,00	741,66
20,00%	0,00%	340,78	85,20	0,00	203,00	960,00	741,66
25,00%	0,00%	319,48	106,49	0,00	203,00	960,00	741,66
30,00%	0,00%	298,18	127,79	0,00	203,00	960,00	741,66
35,00%	0,00%	276,89	149,09	0,00	203,00	960,00	741,66
40,00%	0,00%	255,59	170,39	0,00	203,00	960,00	741,66
50,00%	0,00%	212,99	212,99	0,00	203,00	960,00	741,66
0,00%	0,40%	425,98	0,00	1,70	203,00	960,00	741,66
5,00%	0,40%	404,68	21,30	1,70	203,00	960,00	741,66
10,00%	0,40%	383,38	42,60	1,70	203,00	960,00	741,66
15,00%	0,40%	362,08	63,90	1,70	203,00	960,00	741,66
20,00%	0,40%	340,78	85,20	1,70	203,00	960,00	741,66
25,00%	0,40%	319,48	106,49	1,70	203,00	960,00	741,66
30,00%	0,40%	298,18	127,79	1,70	203,00	960,00	741,66
40,00%	0,40%	255,59	170,39	1,70	203,00	960,00	741,66
50,00%	0,40%	212,99	212,99	1,70	203,00	960,00	741,66
0,00%	1,00%	425,98	0,00	4,26	203,00	960,00	741,66
5,00%	1,00%	404,68	21,30	4,26	203,00	960,00	741,66
10,00%	1,00%	383,38	42,60	4,26	203,00	960,00	741,66
15,00%	1,00%	362,08	63,90	4,26	203,00	960,00	741,66
20,00%	1,00%	340,78	85,20	4,26	203,00	960,00	741,66
25,00%	1,00%	319,48	106,49	4,26	203,00	960,00	741,66
30,00%	1,00%	298,18	127,79	4,26	203,00	960,00	741,66
35,00%	1,00%	276,89	149,09	4,26	203,00	960,00	741,66
40,00%	1,00%	255,59	170,39	4,26	203,00	960,00	741,66
50,00%	1,00%	212,99	212,99	4,26	203,00	960,00	741,66

5.2 Pembuatan Model ANN

Pada sub bab ini, akan dijelaskan langkah-langkah dalam pembuatan model *Artificial Neural Network* (ANN) dengan proses seperti yang telah dijelaskan pada BAB IV. Model ini digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton berdasarkan dataset yang telah disediakan. Proses ini meliputi *loading data*, *exploratory data analysis* (EDA), pra pemrosesan data, serta pembuatan model dengan arsitektur ANN. Bentuk arsitektural menggunakan beberapa variasi tuning model untuk mendapatkan hasil eror yang terbaik, lalu model yang menunjukkan performa paling baik akan digunakan untuk memprediksi kuat tekan pada sub bab 5.3.

5.2.1 Exploratory Data Analysis (EDA)

Exploratory Data Analysis (EDA) adalah proses analisis data awal yang digunakan untuk memahami karakteristik utama dataset sebelum menerapkan model atau analisis lebih lanjut. Tahapan EDA dilakukan sebagai berikut.

1. Deskripsi Dataset

Analisis deskriptif dilakukan terhadap data komposisi campuran beton untuk memahami distribusi dari setiap variabel yang terlibat. Rincian statistik deskriptif dari beberapa komponen utama, termasuk semen, *blast furnace slag*, *fly ash*, air, *superplasticizer*, agregat kasar, agregat halus, umur, dan kuat tekan, disajikan dalam Tabel 5.13.

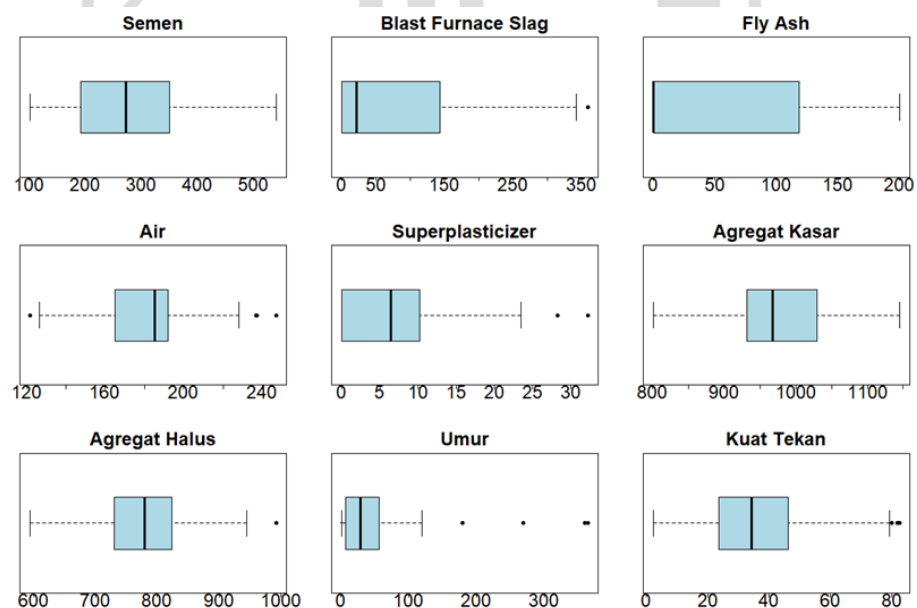
Tabel 5.13 Statistik Deskriptif Dataset

Variabel	Semen	Blast Furnace Slag	<i>Fly ash</i>	Air	<i>Superplasticizer</i>	Agregat Kasar	Agregat Halus	Umur	Kuat Tekan
Count	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030
Mean	281,2	73,9	54,2	181,6	6,2	972,9	773,6	45,7	35,8
Std	104,5	86,3	64	21,4	6	77,8	80,2	63,2	16,7
Min	102	0	0	121,8	0	801	594	1	2,3
25%	192,4	0	0	164,9	0	932	731	7	23,7
50%	272,9	22	0	185	6,4	968	779,5	28	34,4
75%	350	143	118,3	192	10,2	1029,4	824	56	46,1
Max	540	359,4	200,1	247	32,2	1145	992,6	365	82,6

Tabel 5.13 menunjukkan statistik deskriptif dari dataset yang mencakup 1.030 pengamatan. Rata-rata jumlah semen yang digunakan adalah 281,2 kg, dengan variasi yang cukup besar, ditunjukkan oleh deviasi standar sebesar 104,5 kg. *Blast furnace slag* dan *fly ash* masing-masing memiliki rata-rata 73,9 kg dan 54,2 kg, sedangkan agregat kasar dan halus rata-rata berada di angka 972,9 kg dan 773,6 kg. Umur beton bervariasi dari 1 hingga 365 hari, dengan rata-rata 45,7 hari dan kuat tekan maksimum mencapai 82,6 MPa. Penggunaan *superplasticizer*, yang rata-ratanya adalah 6,2 kg, juga berkontribusi pada kualitas campuran beton. Sebagai permodelan ANN, variabel kuat tekan akan menjadi variabel target. Sedangkan variabel lainnya akan menjadi variabel prediktor / fitur.

2. Sebaran Data dan Potensi *Outlier*

Salah satu analisis visual data komponen campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan dalam bentuk boxplot. Boxplot memberikan gambaran mengenai sebaran data dari setiap variabel yang dianalisis. Boxplot ini memberikan pandangan awal mengenai variasi data dan keberadaan data pencilon (*outliers*) dalam data campuran beton. Boxplot dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Boxplot Komponen Campuran Beton dan Kuat Tekan

Gambar diatas memperlihatkan persebaran data dari beberapa variabel input dan output dalam campuran beton. Pada boxplot, garis tengah di dalam kotak menunjukkan nilai median dari setiap variabel, sedangkan kotak tersebut menggambarkan *interkuartil range* (IQR), yaitu rentang antara kuartil pertama dan kuartil ketiga. Tanda-tanda titik di luar garis *whisker* menunjukkan adanya data pencilan (*outlier*).

Berikut ini merupakan deskripsi singkat dari masing-masing komponen yang divisualisasikan:

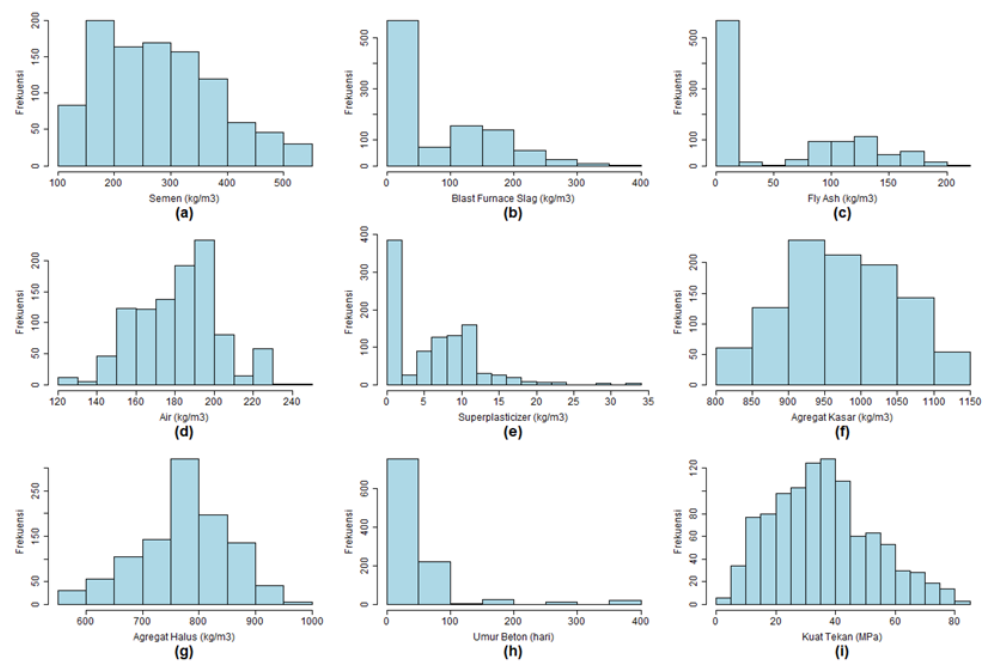
- a. Semen: Tidak ditemukan *outlier* signifikan, tetapi data memiliki rentang yang lebar, menunjukkan variasi yang cukup besar pada penggunaan semen.
- b. *Blast Furnace Slag*: Beberapa *outlier* terdeteksi di sekitar 350 kg/m³, menunjukkan bahwa sebagian kecil pengamatan memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dari mayoritas data, yang bisa mencerminkan variasi dalam campuran.
- c. *Fly ash*: Meskipun persebaran *fly ash* relatif merata, tidak ditemukan *outlier* yang mencolok.
- d. Air: Terdapat beberapa *outlier* di bawah 140 kg/m³, yang bisa menunjukkan pengukuran dengan volume air yang tidak umum dibandingkan mayoritas campuran.
- e. *Superplasticizer*: Beberapa *outlier* mencapai sekitar 30 kg/m³, yang menunjukkan variasi ekstrem dalam penggunaan bahan ini pada campuran tertentu.
- f. Agregat Kasar dan Agregat Halus: Kedua variabel ini memiliki distribusi yang cukup seragam tanpa *outlier* signifikan, menunjukkan konsistensi dalam komposisi agregat.
- g. Umur Beton: *Outlier* terdeteksi pada umur di atas 100 hari, yang mengindikasikan pengamatan tertentu dengan waktu pengujian yang lebih panjang dibandingkan mayoritas data.
- h. Kuat Tekan: Beberapa *outlier* ditemukan pada nilai kuat tekan yang lebih tinggi, yaitu di sekitar 80 MPa, yang bisa menunjukkan kondisi

campuran yang mampu mencapai kekuatan tekan yang jauh lebih tinggi dari mayoritas data.

Dari hasil analisis visual pada boxplot, dapat diidentifikasi beberapa potensi *outlier* pada beberapa variabel. *Outlier* dalam data asimetris bisa menyebabkan bobot neuron dioptimalkan ke arah data ekstrem tersebut, yang bisa mengacaukan performa jaringan pada data uji, sehingga dimungkinkan untuk menghapus data *outlier* atau normalisasi data untuk memitigasi efeknya. Namun, tindakan lebih lanjut terkait penanganan *outlier* ini akan ditunda hingga proses *tuning model* dilakukan. Hal ini karena dugaan adanya *outlier* belum tentu merupakan kesalahan data, melainkan bisa saja disebabkan oleh rentang data yang tidak seragam. Oleh karena itu, data yang tampak sebagai *outlier* pada tahap ini masih dianggap valid dan akan dipertimbangkan kembali pada tahap optimalisasi model.

3. Distribusi Komponen Campuran Beton

Distribusi komponen masing-masing variabel dalam campuran beton digambarkan dalam bentuk histogram. Histogram memberikan gambaran mengenai distribusi frekuensi dari setiap komponen yang dianalisis. Visualisasi ini membantu dalam memahami bagaimana nilai-nilai dari berbagai komponen campuran beton tersebar dalam dataset, termasuk melihat kecenderungan umum dari penggunaan bahan-bahan tersebut. Histogram ini juga memberikan indikasi awal mengenai apakah distribusi data cenderung normal atau tidak, yang dapat mempengaruhi pemodelan selanjutnya. Histogram distribusi komponen campuran beton dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Histogram Distribusi Komponen Campuran Beton

Dari Gambar 5.2, dapat dilihat bahwa distribusi data beberapa variabel menunjukkan kecenderungan yang berbeda. Misalnya, komponen seperti *blast furnace slag*, *fly ash*, dan *superplasticizer* memiliki distribusi yang tidak simetris. ANN bekerja dengan melakukan iterasi berulang-ulang untuk meminimalkan kesalahan (*error*) dalam memprediksi *output*. Model mungkin memerlukan lebih banyak waktu untuk mencapai hasil optimal pada data asimetris. Oleh karena itu dimungkinkan untuk melakukan transformasi lebih lanjut saat proses pemodelan pada 3 variabel bahan substitusi jika pada model terjadi *overfitting*. Sedangkan komponen lain, seperti Agregat Halus, Agregat Kasar, dan Kuat Tekan, memiliki distribusi yang lebih mendekati normal.

Selain itu, terdapat kecenderungan penggunaan komponen tertentu yang lebih umum, seperti pada variabel umur beton. Agar data dapat terlihat lebih jelas, frekuensi data umur pengujian beton dapat dilihat pada Tabel 5.14.

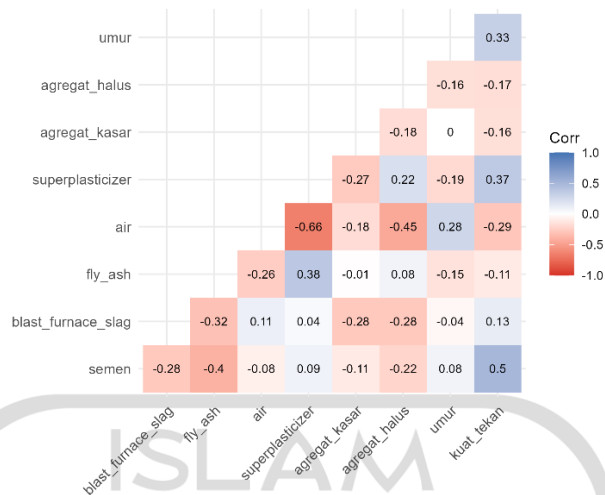
Tabel 5.14 Frekuensi Umur Beton

Umur Beton (Hari)	Frekuensi	Persentase (%)
1	2	0,19
3	134	13,01
7	126	12,23
14	62	6,02
28	425	41,26
56	91	8,83
90	54	5,24
91	22	2,14
100	52	5,05
120	3	0,29
180	26	2,52
270	13	1,26
360	6	0,58
365	14	1,36

Dari Tabel 5.14, frekuensi umur beton tertinggi terlihat pada beton dengan umur 28 hari. Dominasi umur beton tertentu, seperti 28 hari, dapat mempengaruhi prediksi pada ANN. Oleh karena itu, penerapan *stratified sampling* dapat dipertimbangkan, di mana data dibagi secara proporsional berdasarkan kategori umur, untuk memastikan distribusi yang seimbang dan dimungkinkan untuk meningkatkan akurasi model pada kategori umur lainnya.

4. Korelasi Antar Komponen Campuran Beton

Salah satu metode untuk memahami hubungan antar variabel dalam dataset adalah dengan menganalisis matriks korelasi yang divisualisasikan dengan *heatmap*. Korelasi menunjukkan sejauh mana perubahan satu variabel berhubungan dengan perubahan variabel lainnya. Matriks ini memberikan informasi penting mengenai hubungan antar fitur / variabel prediktor, seperti semen, *blast furnace slag*, *fly ash*, *superplasticizer*, air, agregat, dan variabel target yaitu kuat tekan beton. Matriks korelasi dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Matriks Korelasi Antar Komponen

Analisis Matriks Korelasi:

- Blast Furnace Slag* dan *fly ash* menunjukkan korelasi negatif dengan semen (-0,32 dan -0,26) serta dengan kuat tekan (-0,28 dan -0,11). Ini mengindikasikan bahwa dalam *dataset* yang digunakan, penambahan *slag* atau *fly ash* sejalan dengan berkurang nya jumlah semen yang digunakan, dan berpotensi menurunkan kuat tekan beton.
- Air memiliki korelasi negatif yang kuat dengan kuat tekan (-0,29), yang menunjukkan bahwa semakin banyak air dalam campuran, semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan.
- Superplasticizer* memiliki hubungan yang cukup kuat dengan air (-0,66), menunjukkan bahwa penambahan *superplasticizer* sejalan dengan berkurangnya penggunaan air dalam campuran dalam *dataset* yang digunakan.
- Variabel agregat kasar dan halus tidak menunjukkan korelasi yang signifikan dengan kuat tekan, yang menunjukkan bahwa komponen ini relatif tidak mempengaruhi kuat tekan secara langsung.

Matriks korelasi membantu dalam tahap awal analisis untuk memahami hubungan antar variabel secara linier, namun, ANN dapat memperhitungkan pola yang lebih kompleks yang tidak terdeteksi oleh matriks korelasi

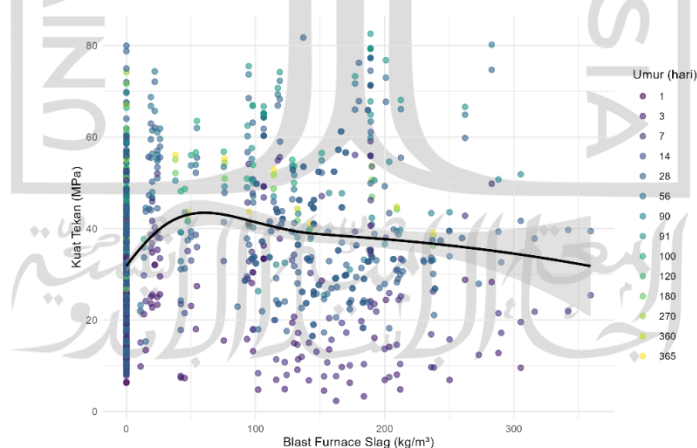
sederhana ini. Pada langkah selanjutnya, model ANN akan dilatih untuk memperhitungkan hubungan kompleks antar variabel.

5. Analisis Hubungan Bahan substitusi dengan Kuat Tekan

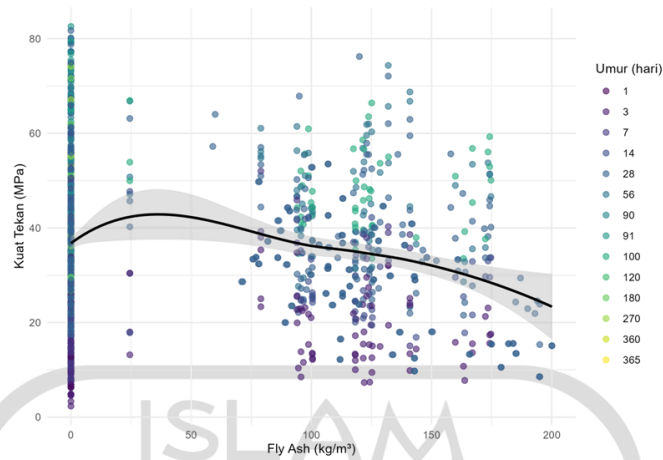
Matriks korelasi hanya menghitung nilai hubungan linear antara variabel-variabel, sehingga mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan hubungan sebenarnya di lapangan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis lebih mendalam menggunakan *scatter plot*, yang memungkinkan untuk mengamati hubungan non-linear yang mungkin terjadi antara bahan substitusi dan kuat tekan beton.

Untuk lebih mendalami hubungan non-linear ini, diterapkan metode LOESS (*Locally Estimated Scatterplot Smoothing*), yang memungkinkan untuk memperhalus data dan menangkap pola yang lebih kompleks dengan memberikan bobot lebih pada titik-titik data yang lebih dekat (Cleveland & Devlin, 1988). Metode ini menghasilkan garis tren yang lebih representatif untuk hubungan antar variabel.

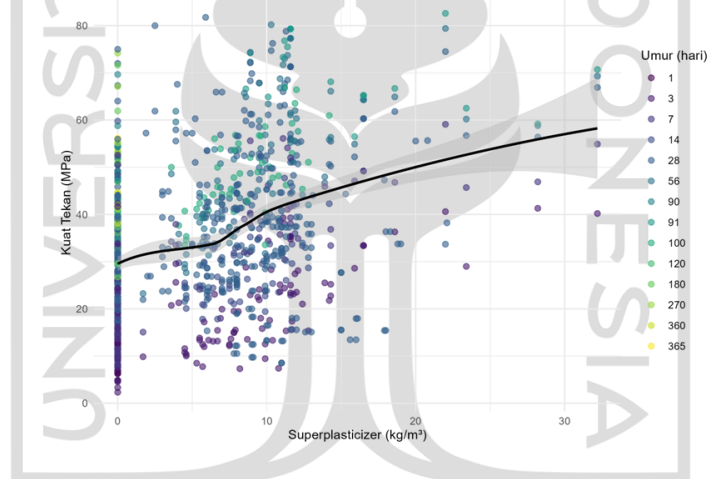
Scatter plot hubungan antara bahan substitusi dan kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 5.4 hingga Gambar 5.6.



Gambar 5.4 Scatter Plot Blast Furnace Slag vs Kuat Tekan



Gambar 5.5 Scatter Plot Fly Ash vs Kuat Tekan



Gambar 5.6 Scatter Plot Superplasticizer vs Kuat Tekan

Gambar scatter plot memperlihatkan hubungan antara berbagai bahan substitusi dan kuat tekan beton. Dari analisis ini, dapat disimpulkan:

a. *Fly ash dan Blast Furnace Slag*

Scatter plot menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* dan *blast furnace slag* tidak selalu meningkatkan kuat tekan beton. Pada proporsi rendah, kuat tekan cenderung lebih rendah, tetapi setelah proporsi tertentu, ada indikasi peningkatan meskipun setelah titik tertentu peningkatan proporsi justru menunjukkan penurunan kuat tekan.

b. *Superplasticizer*

Superplasticizer menunjukkan tren positif terhadap kuat tekan beton. Semakin tinggi proporsi *superplasticizer* yang digunakan, semakin tinggi nilai kuat tekan yang diperoleh.

Secara keseluruhan, hasil dari *scatter plot* menunjukkan bahwa pemilihan dan proporsi bahan substitusi sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Pemberian *fly ash* dan *blast furnace slag* perlu diperhatikan proporsinya untuk menghindari penurunan kuat tekan, sementara *superplasticizer* menunjukkan potensi untuk meningkatkan kuat tekan secara signifikan.

5.2.2 Data Preprocessing

Data preprocessing adalah langkah penting sebelum membangun model, bertujuan untuk meningkatkan kualitas data yang akan digunakan. Langkah-langkahnya meliputi:

1. Pemeriksaan Data yang Hilang (*Missing Value*)

Pemeriksaan data yang hilang akan dilakukan dengan menggunakan fungsi `isnull()` dari *library* *pandas*. Hasil dari pemeriksaan ditampilkan dalam Gambar 5.7 berikut.

```
semen                0
blast_furnace_slag  0
fly_ash              0
air                  0
superplasticizer     0
agregat_kasar        0
agregat_halus        0
umur                 0
kuat_tekan           0
dtype: int64
```

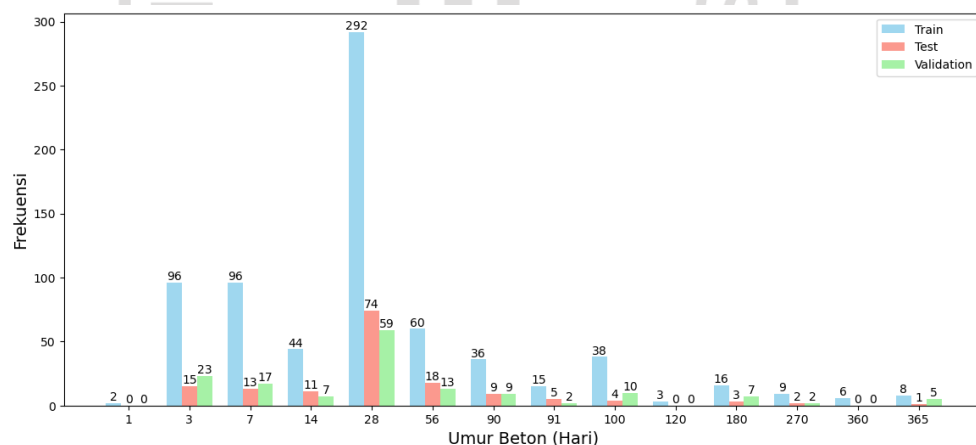
Gambar 5.7 Hasil Pemeriksaan Data yang Hilang (*Missing Value*)

Berdasarkan pemeriksaan yang dilakukan, tidak ditemukan adanya nilai yang hilang (*missing value*) dalam dataset ini. Oleh karena itu, penghapusan baris/kolom tidak diperlukan.

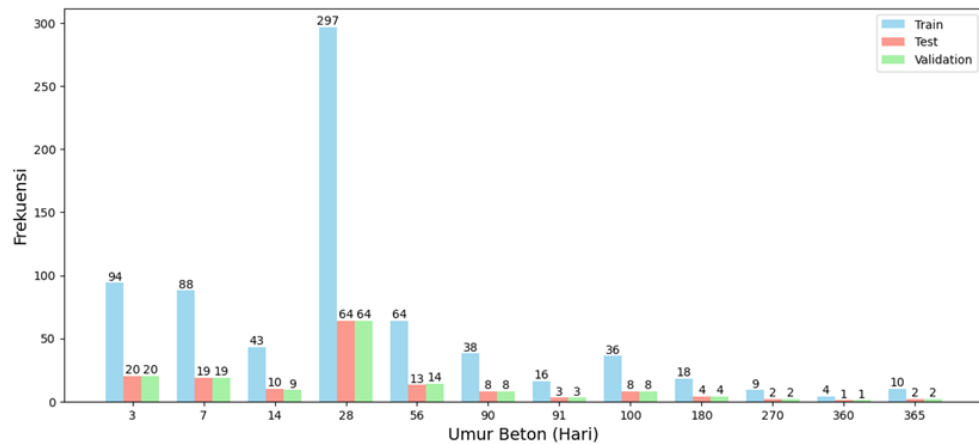
2. Pembagian Data

Pada tahap ini, data dibagi menjadi 70% untuk pelatihan (*train data*), 15% untuk validasi (*validation data*), dan 15% untuk pengujian (*test data*). Pembagian ini mempertimbangkan banyaknya data beton umur 28 hari yang paling dominan. Meski begitu, dominasi ini belum tentu mengganggu performa model karena variasi data lainnya juga berperan penting. Fitur lain dalam dataset mungkin bisa memberikan kontribusi besar dalam prediksi, sehingga dominasi umur beton tidak selalu berdampak negatif. Oleh karena itu, penting untuk mencoba berbagai metode pembagian data, seperti *stratified* dan *random splitting*.

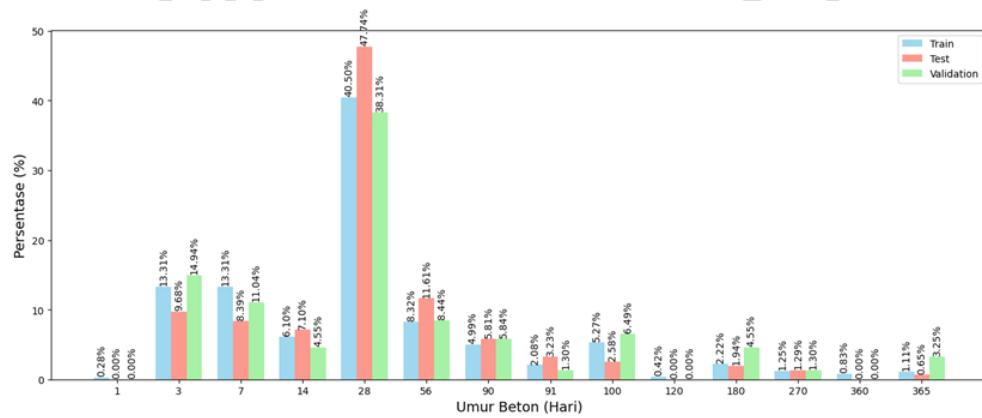
Percobaan pada dua metode *splitting* dapat membantu mengevaluasi stabilitas model sekaligus memahami pengaruh berbagai variabel terhadap performa keseluruhan model. Hasil dari metode pembagian ini bisa memberi gambaran lebih jelas tentang kemampuan model dalam beradaptasi dengan data baru dan bagaimana performanya saat dihadapkan pada kondisi nyata. Frekuensi dan persentase umur beton dalam pembagian data untuk pelatihan, validasi, dan pengujian digambarkan dalam Gambar 5.8 hingga Gambar 5.11.



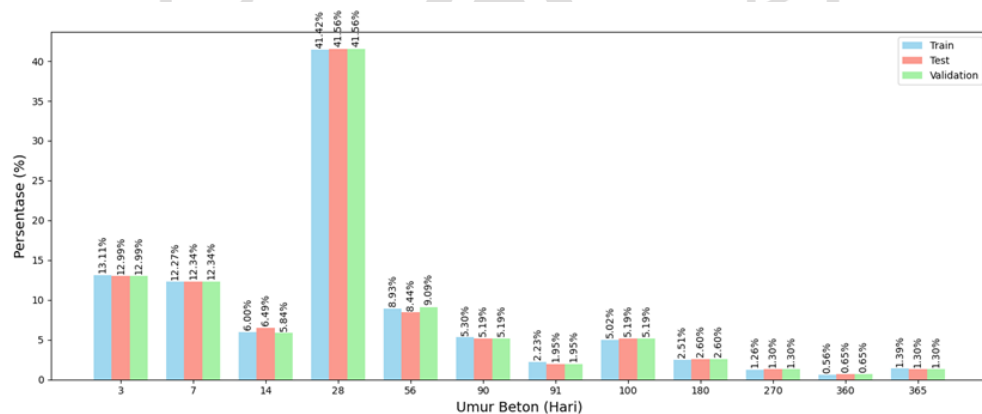
Gambar 5.8 Frekuensi Pembagian Umur Beton dalam *Random Splitting*



Gambar 5.9 Frekuensi Pembagian Umur Beton dalam *Stratified Splitting*



Gambar 5.10 Proporsi Pembagian Umur Beton dalam *Random Splitting*



Gambar 5.11 Frekuensi Pembagian Umur Beton dalam *Stratified Splitting*

3. Pemisahan Fitur Target dan Normalisasi Data

Sebelum melakukan normalisasi, dataset dipisahkan terlebih dahulu menjadi fitur atau prediktor (*input*) dan target (*output*). Fitur terdiri dari variabel-variabel seperti jumlah air, semen, agregat halus, agregat kasar, dan proporsi bahan substitusi, sementara target adalah kuat tekan beton.

Setelah pemisahan, dilakukan normalisasi untuk memastikan setiap fitur memiliki skala yang sama. Dua metode normalisasi yang digunakan adalah *min-max scaling* dan *z-score normalization*, dengan:

- Min-max scaling* mengubah nilai-nilai fitur ke dalam rentang 0 – 1.
- Z-score normalization* mengubah nilai fitur berdasarkan rata-rata dan standar deviasi dari fitur.

Hasil normalisasi untuk beberapa sampel data menggunakan kedua metode dapat dilihat pada Tabel 5.15 hingga 5.17.

Tabel 5.15 Data Sebelum Normalisasi

Fitur / Prediktor								Target
Semen	Blast Furnace Slag	Fly ash	Air	Super plasticizer	Agregat Kasar	Agregat Halus	Umur	Kuat Tekan
540	0	0	162	2,5	1040	676	28	79,99
540	0	0	162	2,5	1055	676	28	61,89
332,5	142,5	0	228	0	932	594	270	40,27
148,5	139,4	108,6	192,7	6,1	892,4	780	28	23,70
159,1	186,7	0	175,6	11,3	989,6	788,9	28	32,77
260,9	100,5	78,3	200,6	8,6	864,5	761,5	28	32,40

Tabel 5.16 Normalisasi Data dengan Min-Max Scaling

Fitur / Prediktor								Target
Semen	Blast Furnace Slag	Fly ash	Air	Super plasticizer	Agregat Kasar	Agregat Halus	Umur	Kuat Tekan
1,00	0,00	0,00	0,32	0,08	0,69	0,21	0,07	79,99
1,00	0,00	0,00	0,32	0,08	0,74	0,21	0,07	61,89
0,53	0,40	0,00	0,85	0,00	0,38	0,00	0,74	40,27
0,11	0,39	0,54	0,57	0,19	0,27	0,47	0,07	23,70
0,13	0,52	0,00	0,43	0,35	0,55	0,49	0,07	32,77
0,36	0,28	0,39	0,63	0,27	0,18	0,42	0,07	32,40

Tabel 5.17 Normalisasi Data dengan Z-Score Normalization

Fitur / Prediktor								Target
Semen	Blast Furnace Slag	Fly ash	Air	Super plasticizer	Agregat Kasar	Agregat Halus	Umur	Kuat Tekan
2,48	-0,86	-0,85	-0,92	-0,62	0,86	-1,22	-0,28	79,99
2,48	-0,86	-0,85	-0,92	-0,62	1,06	-1,22	-0,28	61,89
0,49	0,80	-0,85	2,18	-1,04	-0,53	-2,24	3,55	40,27
-1,27	0,76	0,85	0,52	-0,02	-1,04	0,08	-0,28	23,70
-1,17	1,31	-0,85	-0,28	0,85	0,21	0,19	-0,28	32,77
-0,19	0,31	0,38	0,89	0,40	-1,40	-0,15	-0,28	32,40

5.2.3 Pemilihan Arsitektural ANN

Pada sub bab ini, akan dibahas mengenai proses pemilihan dan pembuatan arsitektur model *Artificial Neural Network* (ANN) yang digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton. Beberapa percobaan dilakukan pada konfigurasi *hyperparameter* atau disebut juga dengan *tuning model*, seperti variasi *hidden layer*, metode normalisasi, fungsi aktivasi, ukuran *batch*, serta metode pembagian data. Selain itu, analisis pengaruh *outlier* dan kemungkinan penggunaan transformasi logaritma juga akan disajikan. Proses ini dilakukan untuk memperoleh arsitektur terbaik yang menghasilkan nilai eror terkecil. Berikut merupakan langkah-langkah pengerjaan yang dilakukan:

1. Variasi jumlah *layer* dan *neuron*

Penelitian ini diawali dengan mencoba berbagai kombinasi jumlah lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan *neuron* pada masing-masing *layer*. Setiap variasi *layer* diikuti dengan penetapan parameter lain yang disamakan dalam setiap percobaan, yaitu:

- Fungsi Aktivasi : ReLu
- Metode *scaling* : Min-Max
- Ukuran *batch* : 16
- Epochs* : 100
- Optimizer : adam
- Metode *splitting* : *stratified*

Sebanyak 210 percobaan dilakukan dengan variasi kombinasi jumlah *neuron* pada *hidden layer*, dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.18. Nilai metrik yang ditampilkan diambil dari hasil evaluasi model menggunakan data uji.

Tabel 5.18 Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Layer

Peringkat Skor Uji	Neuron Hidden Layer 1	Neuron Hidden Layer 2	Neuron Hidden Layer 3	MAPE	R2	RMSE
1	64	128	64	13,79%	0,87	5,98
2	64	128	16	13,76%	0,86	6,12
3	64	32	4	15,85%	0,86	6,16
4	64	64	32	15,91%	0,86	6,21
5	64	128	32	14,40%	0,86	6,21
6	64	32	32	15,43%	0,86	6,22
7	64	128	2	15,17%	0,86	6,25
8	32	8	8	16,96%	0,85	6,26
9	64	32	2	16,47%	0,85	6,28
10	64	16	16	16,09%	0,85	6,31
11	64	64	64	15,26%	0,85	6,32
12	64	128	8	15,95%	0,85	6,35
13	16	32	16	16,46%	0,85	6,36
14	64	64	16	17,46%	0,85	6,36
15	64	32	8	15,85%	0,85	6,38
16	16	32	2	17,51%	0,85	6,39
17	32	32	4	17,51%	0,85	6,39
18	64	32	16	14,96%	0,85	6,41
19	32	32	16	17,42%	0,85	6,43
20	16	64	16	16,68%	0,85	6,43
21	16	64	64	17,39%	0,85	6,44
22	64	64	4	16,70%	0,85	6,44
23	64	64	0	17,64%	0,85	6,45
24	32	64	0	17,10%	0,84	6,47
25	32	128	4	16,47%	0,84	6,47
26	32	8	2	17,66%	0,84	6,48
27	64	16	0	17,12%	0,84	6,51
28	16	8	8	18,32%	0,84	6,51
29	32	128	0	17,53%	0,84	6,51
30	64	32	0	17,47%	0,84	6,53

Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Layer

Peringkat Skor Uji	<i>Neuron Hidden Layer 1</i>	<i>Neuron Hidden Layer 2</i>	<i>Neuron Hidden Layer 3</i>	MAPE	R2	RMSE
31	64	16	8	16,56%	0,84	6,54
32	64	128	4	17,10%	0,84	6,54
33	16	128	16	17,34%	0,84	6,54
34	32	16	16	18,70%	0,84	6,54
35	8	128	8	16,52%	0,84	6,55
36	16	16	8	18,01%	0,84	6,57
37	64	64	8	15,74%	0,84	6,57
38	64	64	2	15,45%	0,84	6,58
39	32	32	8	17,83%	0,84	6,58
40	32	64	4	15,91%	0,84	6,58
41	32	128	8	16,02%	0,84	6,60
42	32	8	4	18,92%	0,84	6,61
43	32	128	16	15,57%	0,84	6,61
44	16	128	64	16,01%	0,84	6,62
45	16	128	0	19,25%	0,84	6,62
46	32	16	4	18,43%	0,84	6,62
47	32	64	16	17,02%	0,84	6,63
48	64	4	2	18,72%	0,84	6,63
49	32	128	2	16,29%	0,84	6,65
50	64	16	4	17,69%	0,84	6,66
51	4	16	16	18,20%	0,84	6,66
52	64	8	8	17,15%	0,83	6,67
53	32	16	8	16,83%	0,83	6,67
54	64	16	2	17,93%	0,83	6,67
55	16	128	32	15,59%	0,83	6,68
56	64	128	0	18,54%	0,83	6,68
57	16	128	8	18,29%	0,83	6,69
58	16	64	8	17,61%	0,83	6,70
59	64	4	0	19,44%	0,83	6,70
60	32	128	32	16,39%	0,83	6,70
61	16	64	32	17,58%	0,83	6,71
62	32	64	8	16,11%	0,83	6,71
63	32	32	32	15,85%	0,83	6,72
64	32	128	64	16,93%	0,83	6,73
65	4	64	16	18,70%	0,83	6,74
66	8	128	32	17,20%	0,83	6,74

Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Layer

Peringkat Skor Uji	<i>Neuron Hidden Layer 1</i>	<i>Neuron Hidden Layer 2</i>	<i>Neuron Hidden Layer 3</i>	MAPE	R2	RMSE
67	64	8	2	20,16%	0,83	6,75
68	32	64	2	17,81%	0,83	6,76
69	16	128	2	17,64%	0,83	6,77
70	16	32	32	18,19%	0,83	6,77
71	32	32	2	17,24%	0,83	6,79
72	16	128	4	17,22%	0,83	6,79
73	8	32	32	17,90%	0,83	6,80
74	32	64	64	17,88%	0,83	6,82
75	64	8	4	20,88%	0,83	6,86
76	32	32	0	20,59%	0,83	6,87
77	64	8	0	20,84%	0,82	6,88
78	64	4	4	20,21%	0,82	6,89
79	32	4	2	20,22%	0,82	6,91
80	32	64	32	16,09%	0,82	6,92
81	4	64	32	18,92%	0,82	6,93
82	16	64	4	20,19%	0,82	6,93
83	8	8	2	20,87%	0,82	6,95
84	4	128	16	18,67%	0,82	7,00
85	32	2	2	21,92%	0,82	7,03
86	32	2	0	22,26%	0,82	7,06
87	16	32	4	22,64%	0,81	7,14
88	4	64	64	20,98%	0,81	7,15
89	8	128	64	19,82%	0,81	7,18
90	64	2	2	22,79%	0,80	7,26
91	32	16	0	23,21%	0,80	7,29
92	4	128	32	20,96%	0,79	7,47
93	32	4	4	23,86%	0,79	7,48
94	16	16	16	24,62%	0,78	7,67
95	4	8	4	23,77%	0,78	7,70
96	64	2	0	25,04%	0,78	7,73
97	64	0	0	25,14%	0,78	7,78
98	8	64	64	23,47%	0,77	7,79
99	16	32	0	24,80%	0,77	7,81
100	8	64	16	23,14%	0,77	7,83
101	8	128	4	23,85%	0,77	7,84
102	4	128	8	23,82%	0,77	7,85

Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Layer

Peringkat Skor Uji	<i>Neuron Hidden Layer 1</i>	<i>Neuron Hidden Layer 2</i>	<i>Neuron Hidden Layer 3</i>	MAPE	R2	RMSE
103	8	128	16	24,73%	0,77	7,88
104	32	8	0	25,91%	0,77	7,91
105	8	64	32	24,98%	0,77	7,91
106	8	32	8	26,96%	0,75	8,16
107	4	4	2	26,00%	0,75	8,26
108	4	4	4	26,14%	0,74	8,31
109	4	64	8	26,12%	0,74	8,45
110	4	128	4	26,22%	0,73	8,46
111	4	8	0	27,31%	0,73	8,53
112	8	2	2	28,31%	0,72	8,68
113	4	32	8	28,34%	0,71	8,79
114	32	4	0	29,53%	0,71	8,88
115	4	32	32	27,98%	0,70	8,92
116	16	32	8	30,31%	0,70	8,93
117	8	64	8	28,28%	0,69	9,09
118	32	16	2	31,59%	0,69	9,16
119	8	64	4	31,07%	0,69	9,19
120	8	16	8	31,65%	0,68	9,22
121	16	16	0	29,58%	0,68	9,22
122	16	64	0	30,56%	0,68	9,23
123	2	32	16	29,76%	0,68	9,27
124	8	16	16	30,84%	0,68	9,27
125	8	128	0	30,36%	0,68	9,28
126	8	2	0	31,08%	0,68	9,29
127	2	128	8	30,76%	0,67	9,39
128	4	32	16	30,74%	0,67	9,39
129	32	0	0	31,80%	0,67	9,40
130	4	32	4	30,95%	0,67	9,40
131	4	64	4	30,95%	0,67	9,41
132	16	2	2	32,36%	0,67	9,42
133	4	128	2	31,28%	0,67	9,47
134	2	128	64	30,73%	0,67	9,49
135	4	16	8	32,02%	0,66	9,51
136	2	128	32	31,24%	0,66	9,54
137	2	64	32	31,59%	0,66	9,55
138	8	64	2	33,04%	0,66	9,56

Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Layer

Peringkat Skor Uji	<i>Neuron Hidden Layer 1</i>	<i>Neuron Hidden Layer 2</i>	<i>Neuron Hidden Layer 3</i>	MAPE	R2	RMSE
139	4	4	0	32,71%	0,66	9,56
140	4	32	2	32,11%	0,66	9,57
141	4	32	0	32,22%	0,66	9,57
142	4	64	2	32,07%	0,66	9,57
143	8	32	16	31,64%	0,66	9,57
144	16	2	0	33,14%	0,66	9,59
145	2	128	16	32,11%	0,66	9,59
146	8	32	2	32,42%	0,66	9,60
147	2	128	2	32,04%	0,66	9,60
148	16	8	0	32,80%	0,66	9,61
149	2	128	4	32,00%	0,66	9,61
150	16	8	4	32,08%	0,66	9,62
151	2	64	8	32,04%	0,66	9,62
152	8	128	2	32,62%	0,65	9,66
153	2	64	2	32,32%	0,65	9,66
154	2	32	8	32,58%	0,65	9,69
155	2	64	16	32,44%	0,65	9,70
156	4	128	0	32,82%	0,65	9,70
157	8	32	4	33,14%	0,65	9,72
158	4	64	0	32,79%	0,65	9,73
159	8	64	0	32,74%	0,65	9,73
160	8	16	0	33,29%	0,65	9,74
161	2	128	0	32,76%	0,65	9,75
162	2	64	4	32,84%	0,65	9,75
163	4	16	2	33,02%	0,65	9,78
164	8	8	8	33,15%	0,64	9,80
165	8	4	2	32,77%	0,64	9,81
166	8	32	0	33,52%	0,64	9,83
167	2	32	2	33,38%	0,64	9,86
168	16	16	2	33,82%	0,64	9,89
169	4	128	64	33,10%	0,64	9,91
170	2	64	64	33,76%	0,64	9,91
171	8	16	2	33,97%	0,64	9,91
172	16	4	4	33,92%	0,64	9,92
173	16	16	4	33,94%	0,64	9,92
174	8	16	4	33,96%	0,64	9,92

Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Layer

Peringkat Skor Uji	<i>Neuron Hidden Layer 1</i>	<i>Neuron Hidden Layer 2</i>	<i>Neuron Hidden Layer 3</i>	MAPE	R2	RMSE
175	16	4	2	33,95%	0,63	9,92
176	4	16	4	34,04%	0,63	9,93
177	2	8	2	35,37%	0,63	9,93
178	16	4	0	34,20%	0,63	9,93
179	2	32	32	34,11%	0,63	9,93
180	8	8	4	34,01%	0,63	9,94
181	16	8	2	34,27%	0,63	9,95
182	4	8	8	34,20%	0,63	9,95
183	4	16	0	34,21%	0,63	9,95
184	2	64	0	33,87%	0,63	9,96
185	8	4	4	34,19%	0,63	9,97
186	2	32	4	34,06%	0,63	9,99
187	2	16	8	34,51%	0,63	10,02
188	2	16	16	34,53%	0,63	10,03
189	2	16	2	34,47%	0,63	10,03
190	8	8	0	34,68%	0,62	10,06
191	2	16	4	34,45%	0,62	10,07
192	2	8	8	34,74%	0,62	10,08
193	4	2	2	34,88%	0,62	10,10
194	8	4	0	34,74%	0,62	10,11
195	2	32	0	34,93%	0,62	10,14
196	2	8	4	35,22%	0,62	10,18
197	2	4	2	35,29%	0,61	10,19
198	2	4	4	35,38%	0,61	10,20
199	2	16	0	35,56%	0,61	10,24
200	2	2	2	36,03%	0,61	10,29
201	4	2	0	36,67%	0,61	10,30
202	8	0	0	37,01%	0,60	10,33
203	16	0	0	37,67%	0,60	10,36
204	2	8	0	37,03%	0,60	10,41
205	2	2	0	37,66%	0,59	10,50
206	2	4	0	38,35%	0,59	10,57
207	4	0	0	44,61%	0,51	11,55
208	2	0	0	49,52%	0,41	12,63
209	4	8	2	82,94%	-3,59	35,18
210	16	64	2	82,94%	-3,59	35,18

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja model ANN dengan variasi jumlah *layer* dan *neuron* pada setiap *layer*, terlihat bahwa kombinasi arsitektur jaringan yang berbeda memberikan pengaruh signifikan terhadap metrik evaluasi. Dari 210 percobaan yang dilakukan, model dengan 64 *neuron* pada *Hidden Layer* 1, 128 *neuron* pada *Hidden Layer* 2, dan 64 *neuron* pada *Hidden Layer* 3 menunjukkan kinerja terbaik, dengan nilai MAPE, R^2 , dan RMSE yang paling optimal.

Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan jumlah *layer* dan *neuron* yang tepat sangat penting dalam mengoptimalkan kinerja model. Dengan mempertimbangkan hasil evaluasi ini, langkah selanjutnya akan fokus pada pengujian dan implementasi model lebih lanjut, termasuk penyesuaian parameter dan eksplorasi teknik lain untuk meningkatkan akurasi prediksi.

2. Variasi Metode Normalisasi dan Fungsi Aktivasi

Selain variasi pada *hidden layer*, metode normalisasi dan fungsi aktivasi juga divariasikan untuk melihat pengaruhnya terhadap performa model. Dua metode normalisasi yang digunakan adalah *Min-Max Scaling* dan *Z-Score Normalization*. Sedangkan fungsi aktivasi yang diuji adalah ReLU (*Rectified Linear Unit*) dan Tanh (*Hyperbolic Tangent*).

Kombinasi metode normalisasi dan fungsi aktivasi dicoba secara bersamaan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap hasil prediksi kuat tekan. Setiap variasi diikuti dengan penetapan parameter lain yang disamakan dalam setiap percobaan, yaitu:

- a. Kombinasi Layer : *Hidden Layer* 1 = 64 *neuron*,
Hidden Layer 2 = 128 *neuron*, dan
Hidden Layer 3 = 64 *neuron*.
- b. Ukuran *batch* : 16
- c. *Epochs* : 100
- d. Optimizer : adam
- e. Metode *splitting* : *stratified*

Hasil uji pada tiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Metode Normalisasi dan Fungsi Aktivasi

Peringkat Skor Uji	Fungsi Aktivasi Hidden Layer 1	Fungsi Aktivasi Hidden Layer 2	Fungsi Aktivasi Hidden Layer 3	Metode <i>Scaling</i>	MAPE	R ²	RMSE
1	ReLu	ReLu	ReLu	<i>Z-Score</i>	13,40%	0,89	5,49
2	Tanh	ReLu	ReLu	<i>Z-Score</i>	14,22%	0,89	5,54
3	Tanh	Tanh	ReLu	<i>Z-Score</i>	14,06%	0,88	5,66
4	Tanh	ReLu	Tanh	<i>Z-Score</i>	13,76%	0,88	5,79
5	Tanh	ReLu	Tanh	<i>Min-Max</i>	14,10%	0,87	5,87
6	ReLu	Tanh	ReLu	<i>Z-Score</i>	14,65%	0,87	5,89
7	ReLu	ReLu	Tanh	<i>Z-Score</i>	12,91%	0,87	5,92
8	ReLu	ReLu	ReLu	<i>Min-Max</i>	13,79%	0,87	5,98
9	Tanh	Tanh	Tanh	<i>Z-Score</i>	13,80%	0,87	5,98
10	ReLu	Tanh	Tanh	<i>Z-Score</i>	13,82%	0,87	6,03
11	ReLu	Tanh	Tanh	<i>Min-Max</i>	15,38%	0,86	6,06
12	Tanh	ReLu	ReLu	<i>Min-Max</i>	15,36%	0,86	6,10
13	Tanh	Tanh	Tanh	<i>Min-Max</i>	15,49%	0,86	6,19
14	ReLu	Tanh	ReLu	<i>Min-Max</i>	13,83%	0,86	6,20
15	ReLu	ReLu	Tanh	<i>Min-Max</i>	14,57%	0,85	6,28
16	Tanh	Tanh	ReLu	<i>Min-Max</i>	16,79%	0,84	6,64

Hasil evaluasi kinerja model ANN yang ditunjukkan dalam Tabel 5.14 menunjukkan bahwa variasi fungsi aktivasi dan metode normalisasi memengaruhi performa model. Dari 16 kombinasi yang diuji, model dengan konfigurasi fungsi aktivasi ReLu pada semua layer dan metode normalisasi *Z-Score* menunjukkan hasil terbaik, dengan nilai MAPE terendah sebesar 13,40%, R² tertinggi 0,89, dan RMSE terendah 5,49.

Kombinasi lain yang juga menunjukkan kinerja baik adalah penggunaan fungsi aktivasi Tanh pada *Hidden Layer* 1 dengan ReLu pada *Hidden Layer* 2 dan 3 dan menggunakan metode *scaling* / normalisasi *Z-Score*, dengan nilai MAPE 14,22% dan R² 0,89. Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan fungsi aktivasi dan metode normalisasi yang tepat dapat memengaruhi kinerja model ANN.

3. Variasi Ukuran *Batch*

Ukuran *batch* divariasikan untuk melihat pengaruhnya terhadap performa model. Pada eksperimen ini, jumlah *epoch* dinaikkan menjadi 5000 untuk memberikan model lebih banyak kesempatan dalam belajar dari data. Ini dilakukan untuk meningkatkan akurasi prediksi dan memastikan model dapat menangkap pola yang lebih kompleks.

Berikut adalah parameter yang digunakan dalam setiap percobaan:

- a. Kombinasi Layer : *Hidden Layer 1* = 64 neuron,
Hidden Layer 2 = 128 neuron, dan
Hidden Layer 3 = 64 neuron.
- b. Fungsi Aktivasi : ReLu
- c. Metode *scaling* : *Z-Score*
- d. *Epochs* : 5000
- e. Optimizer : adam
- f. Metode splitting : *stratified*

Hasil uji pada tiap variasi ukuran *batch* dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Ukuran *Batch*

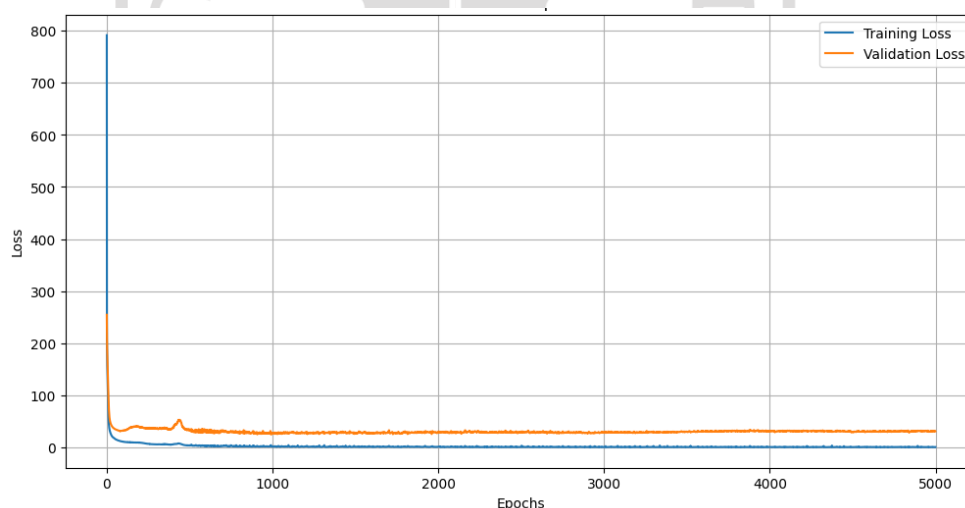
Peringkat Skor Uji	Ukuran Batch	MAPE	R ²	RMSE
1	8	11,12%	0,92	4,73
2	16	11,44%	0,91	4,93
3	32	12,14%	0,90	5,07
4	64	10,36%	0,90	5,13
5	4	11,00%	0,89	5,36
6	2	12,06%	0,89	5,38

Dari hasil evaluasi, ukuran *batch* 8 menghasilkan nilai MAPE sebesar 11,12%, yang lebih baik dibandingkan dengan ukuran *batch* 16 dan 32. Walaupun ukuran *batch* 64 punya nilai MAPE terendah, yaitu 10,36%, ukuran *batch* 8 menunjukkan kinerja yang lebih seimbang dalam metrik lainnya, seperti R² dan RMSE. Ukuran batch yang lebih kecil, seperti 2 dan

4, menghasilkan nilai MAPE yang lebih tinggi, yang menunjukkan kinerja model kurang baik, kemungkinan disebabkan oleh ketidakstabilan dalam pembaruan bobot selama proses pelatihan.

Dengan demikian, meskipun ukuran *batch* 64 memberikan nilai MAPE terendah, ukuran *batch* 8 dipilih menjadi model yang dipakai karena kinerjanya yang lebih baik ditinjau dari keseluruhan metrik evaluasi. Ini menunjukkan bahwa pemilihan ukuran *batch* yang optimal sangat penting untuk meningkatkan kinerja model secara keseluruhan.

Grafik loss per *epoch* ditampilkan pada Gambar 5.12 untuk mengevaluasi kemungkinan terjadinya *overfitting* akibat penggunaan jumlah *epoch* yang tinggi (5000).



Gambar 5.12 Loss per Epoch Kombinasi Ukuran Batch 8

Grafik ini menunjukkan perubahan nilai loss selama pelatihan model dengan 5000 *epoch*. Dari grafik ini, terlihat bahwa model tidak mengalami *overfitting*, karena loss pada data pelatihan dan validasi menunjukkan tren penurunan yang sejalan. Dapat disimpulkan bahwa model mampu menangkap pola yang relevan dalam data dan model dapat dipakai.

4. Variasi Pembagian Data (*Data Splitting*)

Pada tahap ini, variasi pembagian data diuji untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap performa model. Mengingat adanya dominasi umur

beton tertentu, seperti 28 hari dalam dataset, *stratified sampling* diterapkan pada tahap 1 hingga tahap 3 untuk memastikan representasi yang lebih baik dari setiap kategori umur. Namun, hasil dari *stratified sampling* tidak selalu optimal. Oleh karena itu, dilakukan pengujian dengan mengimplementasikan delapan mode pembagian data, terdiri dari *stratified sampling* dengan empat variasi (A, B, C, dan D) dan *random sampling* dengan empat variasi (A, B, C, dan D), yang ditentukan berdasarkan pengaturan *random state* pada *library keras*.

Pada setiap percobaan ditetapkan beberapa parameter berikut:

- a. Kombinasi Layer : *Hidden Layer 1* = 64 neuron,
Hidden Layer 2 = 128 neuron 128, dan
Hidden Layer 3 = 64 neuron.
- b. Fungsi Aktivasi : ReLu
- c. Metode *scaling* : Z-Score
- d. *Epochs* : 5000
- e. Optimizer : adam
- f. Ukuran *batch* : 8

Hasil uji pada tiap variasi pembagian data dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Kombinasi Metode Pembagian Data

Peringkat Skor Uji	Metode Pembagian Data	<i>Random State</i>	MAPE	R2	RMSE
1	<i>Random C</i>	200	8,53%	0,94	3,98
2	<i>Random B</i>	100	9,97%	0,93	5,10
3	<i>Random D</i>	300	11,48%	0,92	4,61
4	<i>Stratified A</i>	42	12,04%	0,91	4,98
5	<i>Random A</i>	42	11,77%	0,89	5,23
6	<i>Stratified B</i>	100	12,15%	0,88	5,91
7	<i>Stratified D</i>	300	11,54%	0,88	5,69
8	<i>Stratified C</i>	200	12,14%	0,86	5,97

Dari hasil evaluasi pada variasi metode pembagian data, terlihat bahwa *random sampling* dengan pengaturan *random state* tertentu memberikan

kinerja yang lebih baik dibandingkan *stratified sampling*. Metode Random C menunjukkan nilai MAPE terendah sebesar 8,53%, diikuti oleh Random B dengan nilai MAPE 9,97%. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan *random sampling* dapat lebih efektif dalam menghasilkan model yang akurat pada kasus yang sedang diteliti.

5. Pengaruh Penghapusan Outlier dan Transformasi

Sebagaimana yang sudah dipaparkan dalam proses EDA pada sub bab 5.2.2, beberapa komponen dalam dataset menunjukkan adanya potensi outlier. Disisi lain, berdasarkan Gambar 5.10, kurva *training loss* dan *validation loss* menunjukkan kestabilan setelah beberapa iterasi, dengan perbedaan yang kecil di antara keduanya. Hal ini mengindikasikan bahwa model tidak mengalami *overfitting*, sehingga transformasi data tambahan untuk variabel *blast furnace slag*, *fly ash*, dan *superplasticizer* tidak diperlukan. Selanjutnya akan dilakukan analisis untuk melihat pengaruh penghapusan outlier terhadap hasil prediksi.

Berikut adalah parameter yang digunakan dalam analisis:

- a. Kombinasi Layer : *Hidden Layer 1* = 64 neuron,
Hidden Layer 2 = 128 neuron 128, dan
Hidden Layer 3 = 64 neuron.
- b. Fungsi Aktivasi : ReLu
- c. Metode *scaling* : Z-Score
- d. *Epochs* : 5000
- e. Optimizer : adam
- f. Ukuran batch : 8
- g. Metode *splitting* : Random

Hasil evaluasi kinerja model ANN dengan dan tanpa penghapusan *outlier* dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Hasil Evaluasi Kinerja Model ANN Berdasarkan Penghapusan Outlier

Peringkat Skor Uji	Metode Uji	MAPE	R ²	RMSE
1	Tanpa penghapusan <i>outlier</i>	8,53%	0,94	3,98
2	Dengan penghapusan <i>outlier</i>	13,09%	0,89	5,14

Hasil evaluasi kinerja model ANN menunjukkan perbedaan antara kondisi dengan dan tanpa penghapusan *outlier*. Berdasarkan Tabel 5.17, model tanpa penghapusan *outlier* memiliki MAPE yang lebih rendah (8,53%) dan nilai R² yang lebih tinggi (0,94) dibandingkan dengan model yang telah dilakukan penghapusan *outlier*, yang menunjukkan MAPE sebesar 13,09% dan R² 0,89. Hal ini menunjukkan bahwa penghapusan *outlier* tidak memberikan dampak positif terhadap performa model yang telah dibuat.

6. Model Akhir (*Final Model*)

Berdasarkan hasil terbaik dari proses yang telah dilakukan pada tahapan 1 hingga 5, model akhir dipilih dengan parameter sebagai berikut:

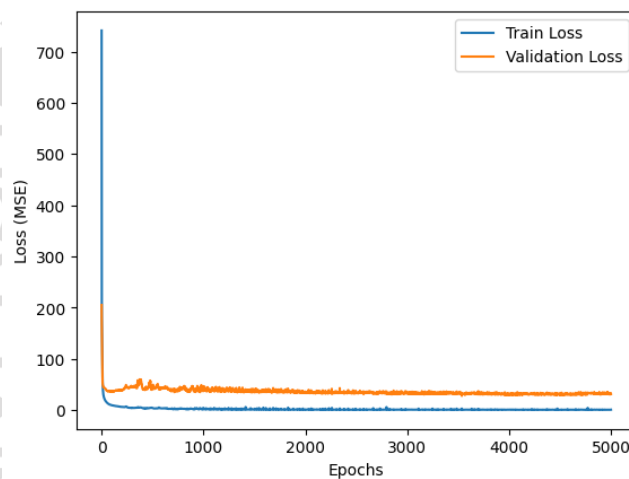
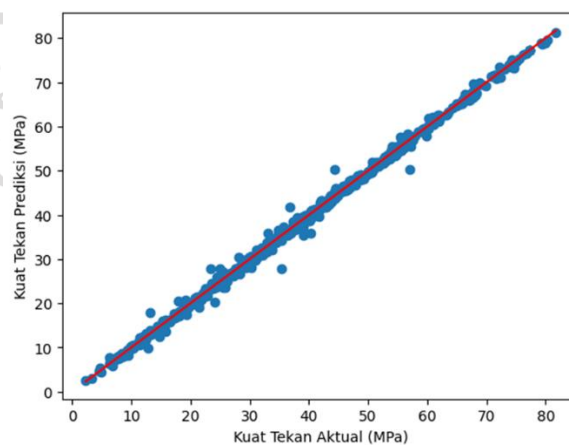
- a. Kombinasi Layer : *Hidden Layer* 1 = 64 neuron,
Hidden Layer 2 = 128 neuron 128, dan
Hidden Layer 3 = 64 neuron.
- b. Fungsi Aktivasi : ReLu
- c. Metode *scaling* : Z-Score
- d. *Epochs* : 5000
- e. Optimizer : adam
- f. Ukuran batch : 8
- g. Metode *splitting* : *Random splitting* dan tanpa penghapusan *outlier*

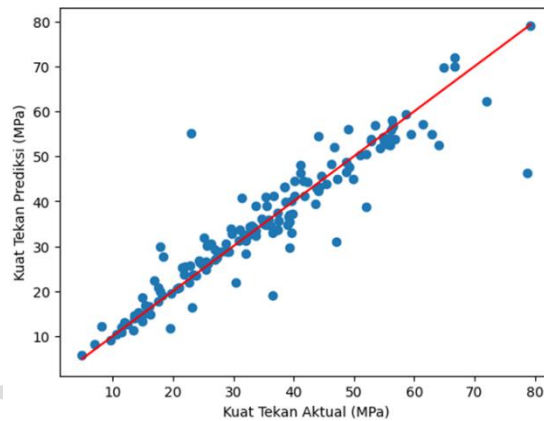
Performa model dievaluasi melalui metrik-metrik statistik, seperti *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan koefisien determinasi (R²). Metrik ini dihitung untuk masing-masing subset data, yaitu *train*, *validation*, dan *test*, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.23.

Tabel 5.23 Performa Model pada Data *Train*, *Validation*, dan *Test*

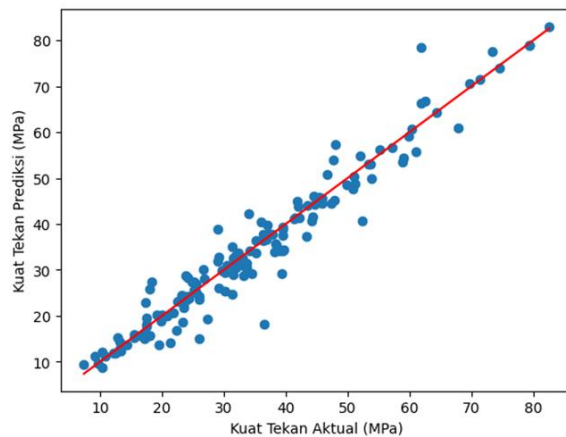
Data	MAPE	R2	RMSE
<i>Train</i>	1,91%	0,997	0,89
<i>Validation</i>	10,18%	0,87	5,61
<i>Test</i>	8,53%	0,94	3,98

Hasil evaluasi akan ditampilkan melalui visualisasi seperti plot *loss* dan plot R^2 , yang dapat dilihat pada Gambar 5.13 hingga Gambar 5.16, untuk mengilustrasikan performa model.

**Gambar 5.13 Kurva Loss pada Proses *Training* dan *Validation*****Gambar 5.14 Kurva Koefisien Determinasi (R^2) *Train***



Gambar 5.15 Kurva Koefisien Determinasi (R^2) Validation



Gambar 5.16 Kurva Koefisien Determinasi (R^2) Test

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model memiliki performa yang baik pada data *train* dengan R^2 sebesar 0,997 dan MAPE sebesar 1,91%. Pada data *validation*, performa menurun dengan R^2 sebesar 0,87 dan MAPE 10,18%, sementara pada data *test*, model memiliki R^2 0,94 dengan MAPE sebesar 8,53%. Meskipun terdapat penurunan performa pada data *validation* dan *test*, model tetap menunjukkan performa yang cukup kuat dalam memprediksi kuat tekan beton. Hal ini terlihat dari nilai R^2 yang menunjukkan hubungan linier yang kuat, dengan nilai di atas 0,7 (Moore dkk., 2013). Nilai MAPE juga memberikan indikasi akurasi peramalan, di mana nilai MAPE kurang dari 10% menunjukkan peramalan yang sangat akurat (Lewis, 1982 dalam Afifuddin dkk., 2021). Meskipun nilai MAPE pada data *validation* dan

test berada di rentang yang lebih tinggi, keduanya masih berada di bawah 20%, yang berarti peramalan tersebut masih tergolong baik. Visualisasi kurva loss serta plot R^2 untuk masing-masing subset data juga memperlihatkan kesesuaian prediksi terhadap hasil aktual, terutama pada data *training* dan *test*, yang semakin memperkuat kesimpulan tentang kekuatan performa model ini.

Perbedaan akurasi antara data *training* dengan data *validation* dan *testing* yang tidak signifikan menunjukkan bahwa model tidak mengalami *overfitting*. *Overfitting* adalah kondisi di mana model terlalu cocok dengan data pada tahap pelatihan, sehingga ketika diuji dengan data baru, performanya menurun. Salah satu tanda *overfitting* adalah parameter model yang hanya memberikan hasil baik selama proses *training*, namun tidak saat proses *validation* dan *testing* (Ridlo dkk., 2023). Evaluasi ini memberikan indikasi bahwa model cukup baik untuk memprediksi kuat tekan beton

Pada Tabel 5.19 dibawah ini ditunjukkan besarnya nilai eror antara kuat tekan aktual (nilai yang ditargetkan) dan kuat tekan prediksi (*output ANN*) pada data *test*.

Tabel 5.24 Hasil Prediksi Kuat Tekan *Final Model*

No	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Prediksi (MPa)	Absolut Eror (MPa)	Persentase Eror (%)
1	23,22	24,56	1,34	5,76
2	35,23	36,39	1,16	3,29
3	25,18	27,46	2,28	9,05
4	69,66	70,56	0,90	1,29
5	10,34	12,12	1,78	17,17
6	23,74	24,36	0,62	2,61
7	22,32	16,86	5,46	24,45
8	29,59	29,91	0,32	1,09
9	53,9	49,84	4,06	7,54
10	29,07	31,86	2,79	9,59
11	12,84	15,18	2,34	18,23
12	64,3	64,19	0,11	0,17
13	10,35	8,72	1,63	15,78

Lanjutan Tabel 5.24 Hasil Prediksi Kuat Tekan Final Model

No	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Prediksi (MPa)	Absolut Eror (MPa)	Persentase Eror (%)
14	26,85	28,06	1,21	4,51
15	14,31	13,65	0,66	4,64
16	51,26	48,74	2,52	4,92
17	36,94	39,72	2,78	7,52
18	13,33	12,39	0,94	7,04
19	61,89	78,52	16,63	26,87
20	62,5	66,82	4,32	6,91
21	36,35	36,36	0,01	0,02
22	15,42	15,16	0,26	1,70
23	51,02	50,37	0,65	1,27
24	59,89	59,10	0,79	1,31
25	34,57	29,14	5,43	15,72
26	52,04	54,89	2,85	5,48
27	44,61	44,24	0,37	0,83
28	39,59	34,23	5,36	13,53
29	45,84	44,56	1,28	2,78
30	39,58	37,60	1,98	4,99
31	19,77	18,87	0,90	4,55
32	44,52	46,13	1,61	3,62
33	50,77	47,69	3,08	6,06
34	23,89	28,66	4,77	19,98
35	38,33	35,83	2,50	6,53
36	43,39	37,37	6,02	13,88
37	31,54	29,03	2,51	7,95
38	21,29	14,09	7,20	33,80
39	12,18	11,96	0,22	1,82
40	26,06	14,92	11,14	42,75
41	26,74	30,02	3,28	12,26
42	25,22	25,08	0,14	0,57
43	25,46	27,03	1,57	6,16
44	67,87	60,90	6,97	10,27
45	24,07	23,56	0,51	2,11
46	37,91	37,65	0,26	0,68
47	39,05	34,17	4,88	12,50
48	17,24	16,30	0,94	5,47
49	27,42	19,39	8,03	29,27
50	12,46	11,91	0,55	4,45

Lanjutan Tabel 5.24 Hasil Prediksi Kuat Tekan Final Model

No	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Prediksi (MPa)	Absolut Eror (MPa)	Persentase Eror (%)
51	23,69	23,35	0,34	1,45
52	33,21	28,72	4,49	13,53
53	9,74	9,57	0,17	1,72
54	35,17	33,79	1,38	3,91
55	19,99	20,24	0,25	1,23
56	19,2	20,28	1,08	5,63
57	58,78	53,51	5,27	8,96
58	32,4	33,81	1,41	4,35
59	30,23	29,43	0,80	2,66
60	31,72	30,42	1,30	4,10
61	29	38,85	9,85	33,96
62	31,45	32,53	1,08	3,44
63	36,44	18,16	18,28	50,16
64	24,28	23,87	0,41	1,70
65	53,69	53,15	0,54	1,01
66	25,56	25,05	0,51	2,00
67	39,44	39,31	0,13	0,32
68	31,65	32,51	0,86	2,72
69	45,85	45,67	0,18	0,40
70	60,29	60,65	0,36	0,60
71	73,3	77,58	4,28	5,84
72	7,4	9,32	1,92	25,90
73	42,03	43,87	1,84	4,37
74	43,57	44,11	0,54	1,25
75	31,9	31,07	0,83	2,60
76	17,96	25,80	7,84	43,64
77	53,3	53,00	0,30	0,55
78	47,78	45,07	2,71	5,66
79	23,4	18,61	4,79	20,49
80	19,42	13,68	5,74	29,58
81	13,2	12,85	0,35	2,66
82	34,2	34,08	0,12	0,34
83	26,06	23,52	2,54	9,74
84	23,52	23,41	0,11	0,45
85	79,3	78,98	0,32	0,41
86	49,77	48,46	1,31	2,63
87	57,21	56,67	0,54	0,95

Lanjutan Tabel 5.24 Hasil Prediksi Kuat Tekan Final Model

No	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Prediksi (MPa)	Absolut Eror (MPa)	Persentase Eror (%)
88	30,57	30,89	0,32	1,06
89	47,97	57,42	9,45	19,71
90	37,23	37,98	0,75	2,01
91	71,3	71,54	0,24	0,34
92	35,96	40,54	4,58	12,74
93	15,52	15,87	0,35	2,27
94	41,89	44,92	3,03	7,23
95	33,94	42,17	8,23	24,26
96	21,91	20,74	1,17	5,36
97	47,4	44,43	2,97	6,27
98	24,9	27,47	2,57	10,31
99	31,81	33,10	1,29	4,04
100	17,28	22,93	5,65	32,68
101	41,41	41,22	0,19	0,47
102	47,71	53,88	6,17	12,94
103	25,97	24,23	1,74	6,72
104	44,39	41,68	2,71	6,12
105	55,2	56,22	1,02	1,84
106	46,64	50,72	4,08	8,74
107	33,69	31,54	2,15	6,39
108	10,79	11,28	0,49	4,59
109	59	54,48	4,52	7,65
110	38,22	33,86	4,36	11,42
111	32,33	31,55	0,78	2,40
112	36,8	36,68	0,12	0,33
113	20,87	20,00	0,87	4,16
114	17,95	15,74	2,21	12,33
115	17,57	19,57	2,00	11,37
116	24,1	28,21	4,11	17,04
117	42,13	41,29	0,84	1,98
118	52,3	40,72	11,58	22,15
119	61,86	66,22	4,36	7,05
120	13,22	14,26	1,04	7,87
121	44,21	40,70	3,51	7,95
122	9,13	11,11	1,98	21,65
123	74,5	73,89	0,61	0,82
124	79,3	78,98	0,32	0,41

Lanjutan Tabel 5.24 Hasil Prediksi Kuat Tekan Final Model

No	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Kuat Tekan Prediksi (MPa)	Absolut Eror (MPa)	Persentase Eror (%)
125	39,66	34,29	5,37	13,54
126	25,1	25,63	0,53	2,11
127	18,29	27,29	9,00	49,22
128	23,52	21,86	1,66	7,05
129	45,3	45,77	0,47	1,04
130	39,4	29,15	10,25	26,01
131	31,35	24,75	6,60	21,04
132	31,27	34,96	3,69	11,80
133	61,07	55,84	5,23	8,56
134	29,16	26,04	3,12	10,69
135	30,14	25,36	4,78	15,86
136	22,44	23,16	0,72	3,19
137	24,24	24,36	0,12	0,49
138	36,3	37,68	1,38	3,81
139	16,5	15,64	0,86	5,24
140	29,87	29,90	0,03	0,11
141	17,17	15,09	2,08	12,10
142	13,46	13,60	0,14	1,05
143	23,51	22,54	0,97	4,11
144	17,54	18,07	0,53	3,00
145	17,96	15,78	2,18	12,15
146	29,23	32,78	3,55	12,14
147	33,09	32,64	0,45	1,35
148	31,97	30,50	1,47	4,59
149	33,61	30,60	3,01	8,95
150	82,6	82,97	0,37	0,45
151	38,56	35,19	3,37	8,73
152	33,27	30,79	2,48	7,45
153	39,46	38,92	0,54	1,36
154	41,54	41,32	0,22	0,53
155	17,54	17,67	0,13	0,76
Rata-Rata			2,60	8,53

Dari data hasil prediksi kuat tekan *final model* menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) di atas, berikut adalah beberapa poin utama:

a. Rata-rata Absolut Error

Nilai absolut error rata-rata antara kuat tekan aktual dan prediksi ANN adalah 2,60 MPa. Ini menunjukkan bahwa secara umum, prediksi model ANN cukup dekat dengan kuat tekan aktual, namun ada beberapa kasus yang memiliki selisih cukup besar.

b. Rata-rata Persentase Error

Rata-rata persentase eror adalah 8,53%, yang mencerminkan bahwa dalam beberapa kasus, kesalahan prediksi bisa lebih besar, mencapai hingga 50% atau lebih (misalnya, data No. 63 dan 127). Sementara itu, terdapat juga beberapa prediksi yang sangat akurat dengan kesalahan prediksi di bawah 1%.

c. Kasus Error Tinggi

Beberapa data memiliki nilai kesalahan prediksi yang cukup signifikan, seperti pada No. 63 (eror 50,16%), No. 127 (eror 49,22%), No. 61 (eror 33,96%), dan No. 40 (eror 42,75%). Kasus-kasus ini menunjukkan bahwa model mengalami kesulitan untuk memprediksi dengan akurasi tinggi pada data-data tersebut. Hal ini mungkin terjadi karena adanya pola non-linear yang tidak tercover sepenuhnya oleh model, atau variasi yang tidak sesuai dalam data yang digunakan untuk pelatihan model.

d. Kasus Error Rendah

Sebaliknya, beberapa data menunjukkan hasil prediksi yang sangat akurat dengan kesalahan sangat kecil, seperti pada No. 42 (eror 0,57%), No. 12 (eror 0,17%), No. 74 (eror 1,25%), dan No. 70 (eror 0,60%). Hal ini menunjukkan bahwa model ANN mampu memprediksi dengan sangat baik pada beberapa titik data.

Model ANN yang digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton menunjukkan performa yang cukup baik dengan rata-rata absolut eror 2,60 MPa dan rata-rata persentase eror 8,53%. Meskipun demikian, terdapat beberapa kasus dengan kesalahan prediksi yang cukup besar, terutama pada

data dengan pola yang lebih kompleks atau data dengan nilai prediksi yang berada di luar distribusi umum. Hal ini mengindikasikan bahwa mungkin ada ruang untuk peningkatan model. Secara keseluruhan, model ANN ini masih dapat digunakan untuk memberikan prediksi yang cukup mendekati nilai actual.

5.3 Aplikasi Model ANN untuk Optimasi Bahan Substitusi

Pada tahap ini, model Artificial Neural Network (ANN) yang telah dikembangkan sebelumnya digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton berdasarkan berbagai variasi proporsi bahan substitusi. Proses optimasi dilakukan dengan memasukkan hasil *mix design* yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya. Model ANN akan menghitung prediksi kuat tekan untuk setiap variasi proporsi bahan substitusi, dan nilai kuat tekan yang paling optimal akan dipilih sebagai proporsi bahan substitusi yang direkomendasikan.

5.3.1 Kasus 1

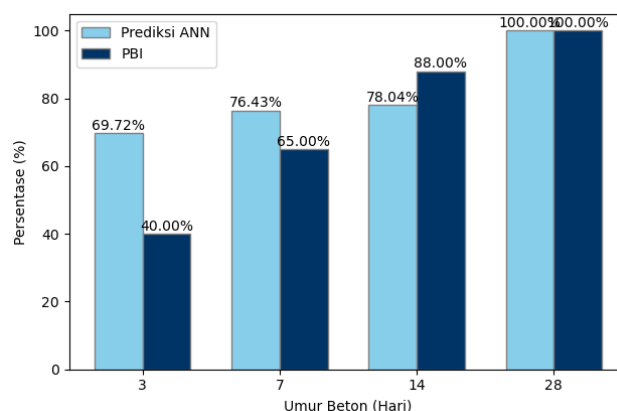
Pada tahap ini, analisis difokuskan pada beton normal tanpa bahan substitusi. Prediksi kuat tekan untuk campuran beton ini akan disajikan untuk berbagai umur, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.25.

Tabel 5.25 Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 1

Umur Beton (Hari)	Kuat Tekan (MPa)	Persentase Kuat Tekan Terhadap Beton 28 hari
3	23,40	69,72%
7	25,65	76,43%
14	26,19	78,04%
28	33,56	100%

Mengacu pada Tabel 5.25, pada campuran beton normal tanpa substitusi, prediksi kuat tekan pada umur 28 hari adalah sebesar 33,56 MPa. Nilai ini telah memenuhi kuat tekan rencana, yaitu 25 MPa, tetapi masih di bawah target kuat tekan sebesar 34,84 MPa. Kuat tekan tanpa bahan substitusi pada umur 3, 7, dan 14 hari masing-masing adalah 23,40 MPa, 25,65 MPa, dan 26,19 MPa. Jika

dibandingkan dengan kuat tekan pada umur 28 hari dalam satuan persen, hasilnya berturut-turut adalah 69,9%, 76,5%, dan 78,1%. Pada umur beton 3 dan 7 hari, nilai ini lebih tinggi dibandingkan angka konversi kuat tekan berdasarkan umur beton yang diberikan PBI, sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 3.9, di mana konversi kuat tekan untuk umur 3 dan 7 hari adalah sebesar 40% dan 65%. Namun, pada umur 14 hari, nilai kuat tekan hasil prediksi ANN justru lebih kecil dari angka konversi PBI yang mencapai 88%. Perbandingan persentase kuat tekan terhadap beton umur 28 hari antara hasil prediksi dengan standar PBI dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Perbandingan Persentase Kuat Tekan Terhadap Beton Umur 28 Hari Antara Prediksi ANN dengan PBI

Perbedaan antara prediksi kuat tekan beton berdasarkan ANN dan konversi kuat tekan PBI dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, model ANN mungkin tidak memiliki data pelatihan yang cukup untuk umur beton yang lebih muda, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih tinggi atau lebih rendah. Sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.4, *dataset* memiliki kecenderungan data uji untuk umur 28 hari, yakni sebesar 41,26% dari keseluruhan data, sementara data untuk umur beton 3, 7, dan 14 hari hanya sebesar 13,01%, 12,23%, dan 6,02%. Struktur dan parameter model ANN juga dapat berkontribusi pada akurasi prediksi yang rendah, terutama untuk umur yang lebih muda. Selain itu, variasi dalam kualitas bahan, proses pencampuran, teknik pemadatan, dan metode perawatan beton dapat memengaruhi kuat tekan. Penelitian Ginting (2011) menunjukkan

bahwa pada umur 3, 7, dan 14 hari, kuat tekan beton masing-masing sebesar 31,90%, 71,43%, dan 84,95% jika dibandingkan dengan kuat tekan pada umur 28 hari, hal ini mengindikasikan adanya perbedaan antara kuat tekan pada umur yang lebih muda dengan nilai konversi PBI, dan menunjukkan bahwa variasi dalam data pengujian dapat terjadi, yang mungkin menjadi penyebab perbedaan antara prediksi kuat tekan berdasarkan ANN dan konversi PBI. Oleh karena itu, analisis lebih lanjut dan pengujian tambahan diperlukan untuk memahami penyebab perbedaan ini secara lebih mendalam.

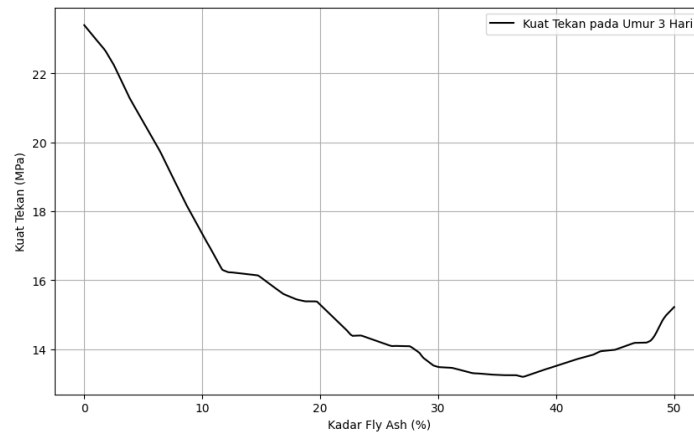
5.3.2 Kasus 2

Pada kasus kedua, *fly ash* digunakan dengan berbagai variasi proporsi dalam campuran beton sebagai substitusi sebagian semen sebagaimana yang sudah dipaparkan pada sub bab 5.1. Beberapa variasi hasil prediksi kuat tekan dapat dilihat dalam Tabel 5.26. Untuk hasil prediksi yang lebih lengkap dapat ditemukan pada Lampiran 2.

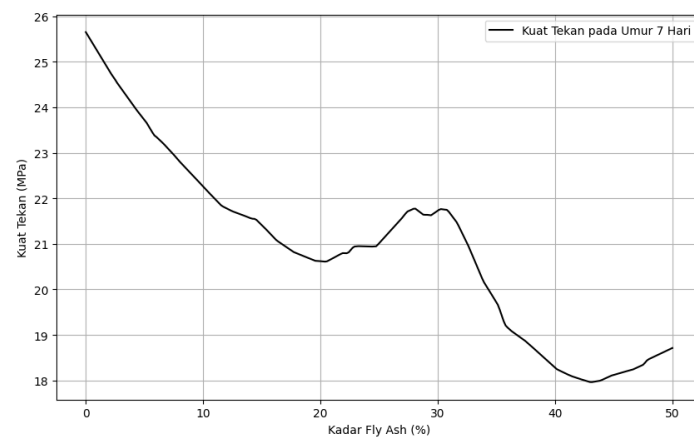
Tabel 5.26 Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 2

Kadar <i>Fly ash</i> (%)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
0	23,40	25,65	26,19	33,56
5	20,59	23,72	24,70	33,53
10	17,34	22,26	26,20	36,34
15	16,07	21,41	27,36	37,54
18,9	15,39	20,70	29,17	37,76
20	15,29	20,62	29,67	37,62
21,6	14,76	20,76	30,19	37,04
25	14,21	21,01	29,17	36,33
30	13,48	21,73	26,84	34,72
35	13,26	19,72	23,53	31,11
37,2	13,20	18,92	22,13	29,11
40	13,52	18,28	20,42	28,20
43,1	13,84	17,96	19,55	27,57
45	13,98	18,12	19,88	26,46
50	15,22	18,71	21,53	24,75

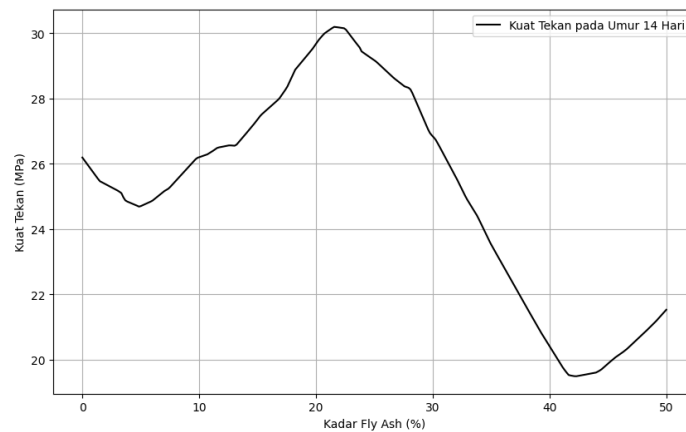
Untuk memudahkan pemahaman, Gambar 5.18 sampai dengan Gambar 5.22 menggambarkan hubungan antara proporsi *fly ash* dan kuat tekan beton berdasarkan hasil prediksi. Dengan visualisasi ini, tren pengaruh *fly ash* terhadap perkembangan kekuatan tekan pada berbagai umur beton dapat dilihat dengan lebih jelas.



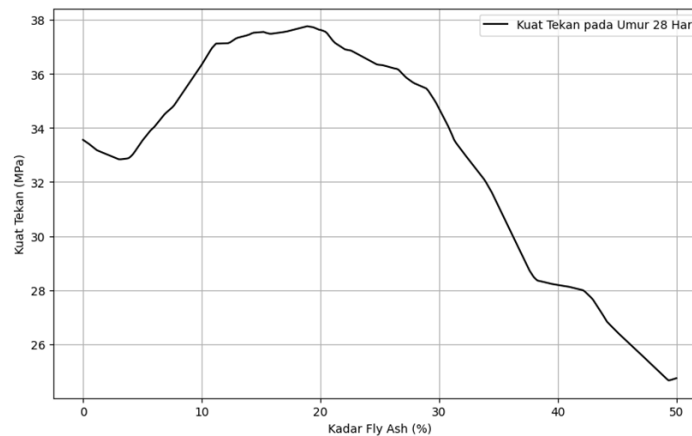
Gambar 5.18 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* pada Umur 3 Hari



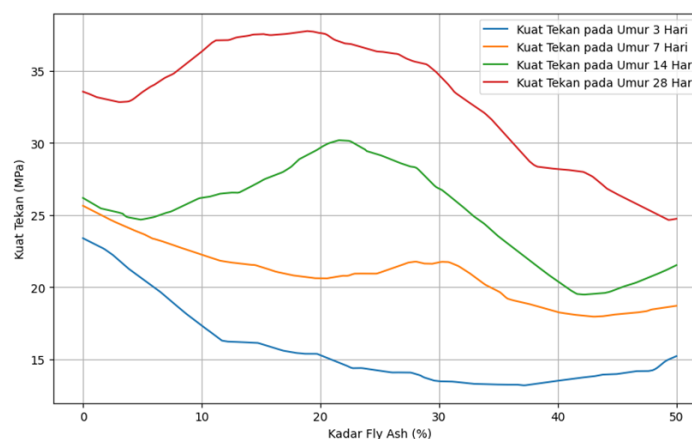
Gambar 5.19 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* pada Umur 7 Hari



Gambar 5.20 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* pada Umur 14 Hari



Gambar 5.21 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* pada Umur 28 Hari



Gambar 5.22 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* pada Berbagai Umur (3, 7, 14, dan 28 Hari)

Dari Tabel 5.26 dan Gambar 5.18 hingga Gambar 5.22, diketahui bahwa dengan memvariasikan proporsi *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton dapat memberikan pengaruh yang beragam terhadap kuat tekan beton, tergantung pada umur beton dan proporsi *fly ash* yang digunakan. Berdasarkan prediksi kuat tekan dan grafik yang telah disajikan, didapatkan hasil analisa sebagai berikut:

1. Pengaruh *Fly ash* pada Umur 3 Hari

Penggunaan *fly ash* pada umur 3 hari secara signifikan menurunkan kuat tekan beton. Penurunan kuat tekan terbesar terjadi pada proporsi substitusi semen sebesar 37,2%, di mana kuat tekan beton turun sebesar 43,60%, dari 23,40 MPa (campuran tanpa *fly ash*) menjadi 13,20 MPa. Pada penggantian semen sebanyak 50% dengan *fly ash*, diperoleh kuat tekan sebesar 15,22 MPa, yang masih jauh di bawah kuat tekan beton tanpa *fly ash*. Hal ini menunjukkan bahwa pada umur muda, *fly ash* dapat menghambat perkembangan kekuatan beton. Meskipun hasil prediksi ANN menunjukkan penurunan kuat tekan, model ANN tidak mempertimbangkan aspek kimiawi dari bahan tersebut. Reaksi hidrasi *fly ash* yang lebih lambat dibandingkan dengan semen diduga menjadi penyebab utama penghambatan perkembangan kekuatan beton pada umur muda. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi penggunaan *fly ash* pada performa beton umur muda.

2. Pengaruh *Fly ash* pada Umur 7 Hari

Pada umur 7 hari, penurunan kuat tekan masih terjadi, tetapi lebih kecil dibandingkan umur 3 hari. Kuat tekan menurun sebesar 29,97%, dari 25,65 MPa menjadi 17,96 MPa pada penggunaan proporsi *fly ash* sebanyak 43,1%. Namun, analisis grafik menunjukkan setelah kuat tekan turun secara signifikan, kuat tekan sempat mengalami sedikit peningkatan pada proporsi *fly ash* 20% hingga 28%, dimana kuat tekan mencapai puncak di 21,78 MPa sebelum kembali menurun pada proporsi yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada umur ini, *fly ash* mulai berperan dalam memperkuat beton, tetapi belum maksimal.

3. Pengaruh *Fly ash* pada Umur 14 Hari

Pada umur 14 hari, *fly ash* memberikan efek yang lebih positif. Kuat tekan sempat mencapai puncak pada proporsi *fly ash* 21,6%, dengan kuat tekan sebesar 30,19 MPa, lebih tinggi dibandingkan tanpa *fly ash* yang menunjukkan nilai kuat tekan sebesar 26,19 MPa. Peningkatan ini menandakan bahwa pada umur menengah, *fly ash* mulai berkontribusi secara signifikan dalam memperkuat beton, dengan kenaikan sebesar 15,28% dibandingkan beton tanpa *fly ash*. Namun, setelah melewati proporsi optimal ini, kuat tekan kembali turun.

4. Pengaruh *Fly ash* pada Umur 28 Hari

Sebagaimana halnya pada beton umur 14 hari, penggunaan *fly ash* menunjukkan kontribusi terhadap peningkatan kuat tekan pada umur beton 28 hari. Kuat tekan tertinggi yang tercatat adalah 37,76 MPa, pada proporsi *fly ash* 18,9%, yang merupakan peningkatan sebesar 12,52% dibandingkan kuat tekan beton tanpa *fly ash* (33,56 MPa). Setelah melewati nilai kuat tekan optimal ini, penambahan *fly ash* lebih lanjut mengakibatkan penurunan kekuatan. Kuat tekan terus mengalami penurunan, dan pada proporsi *fly ash* 30% kuat tekan mencapai 33,53 MPa, yang menyamai nilai kuat tekan beton tanpa *fly ash*. Hal menunjukkan bahwa ada batasan optimal dalam penggunaan *fly ash* untuk kekuatan tekan beton.

Dari beberapa poin penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil prediksi ANN, proporsi *fly ash* antara 10-30% adalah proporsi yang optimal dalam campuran beton, terutama pada kuat tekan umur 14 dan 28 hari. Pada proporsi ini, *fly ash* tidak hanya mempertahankan nilai kuat tekan yang setara dengan beton normal, tetapi juga dapat meningkatkan kekuatan tekan, terutama pada umur 28 hari. Namun, pada umur muda, seperti 3 dan 7 hari, penggunaan *fly ash* justru menyebabkan penurunan kuat tekan secara signifikan.

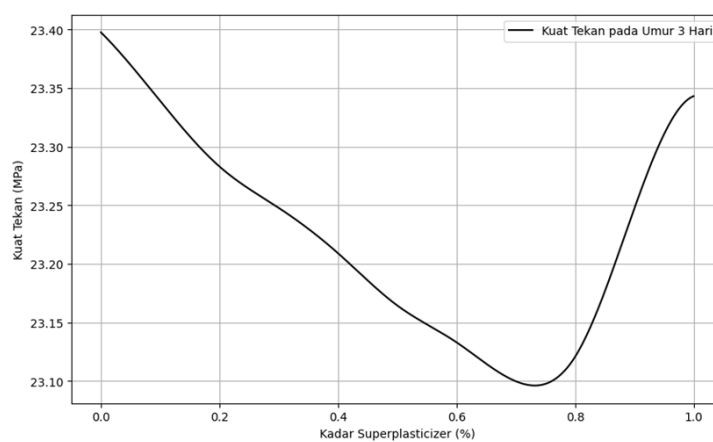
5.3.3 Kasus 3

Superplasticizer ditambahkan ke dalam campuran beton sebagai substitusi sebagian semen dengan berbagai variasi proporsi sesuai *mix design* yang telah dibuat. Model ANN digunakan untuk memprediksi kuat tekan dari setiap variasi yang diujikan. Hasil prediksi kuat tekan dapat dilihat dalam Tabel 5.27.

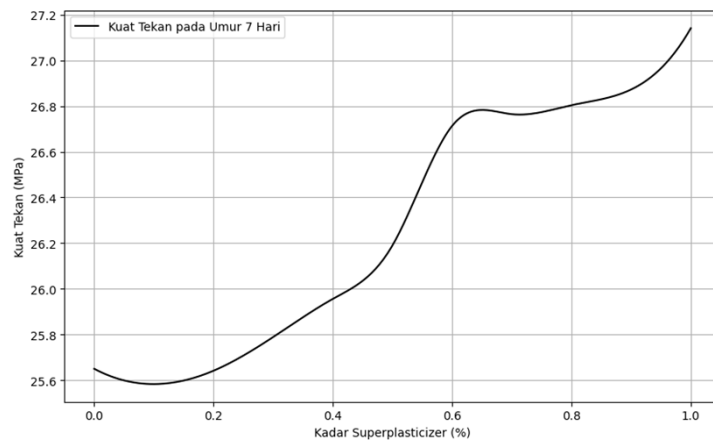
Tabel 5.27 Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 2

Kadar Superplasticizer (%)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
0	741,66	23,40	25,65	26,19	33,56
0,1	741,66	23,34	25,58	26,60	33,96
0,2	741,66	23,28	25,64	26,96	34,58
0,3	741,66	23,25	25,79	27,30	35,20
0,4	741,66	23,21	25,96	28,25	35,97
0,5	741,66	23,16	26,19	29,74	36,91
0,6	741,66	23,13	26,71	31,43	37,74
0,7	741,66	23,10	26,76	32,91	38,41
0,8	741,66	23,12	26,80	33,70	38,85
0,9	741,66	23,25	26,87	34,41	39,43
1	741,66	23,34	27,14	35,55	39,94

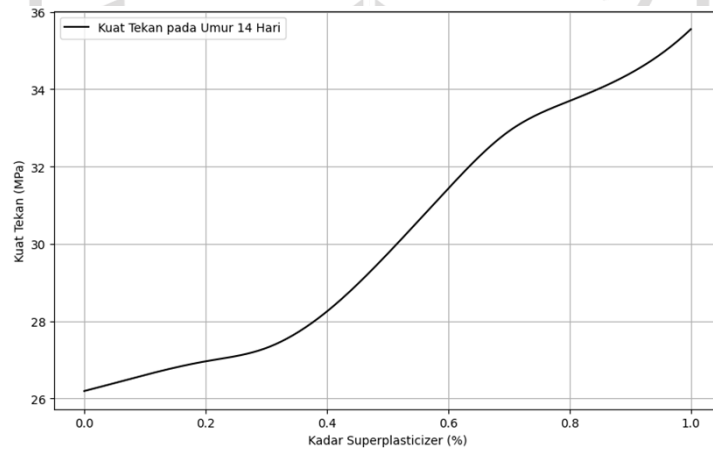
Untuk memudahkan pemahaman, Gambar 5.23 sampai dengan Gambar 5.27 menggambarkan hubungan antara proporsi *superplasticizer* dan kuat tekan beton berdasarkan hasil prediksi. Dengan visualisasi ini, tren pengaruh *superplasticizer* terhadap perkembangan kekuatan tekan pada berbagai umur beton dapat dilihat dengan lebih jelas.



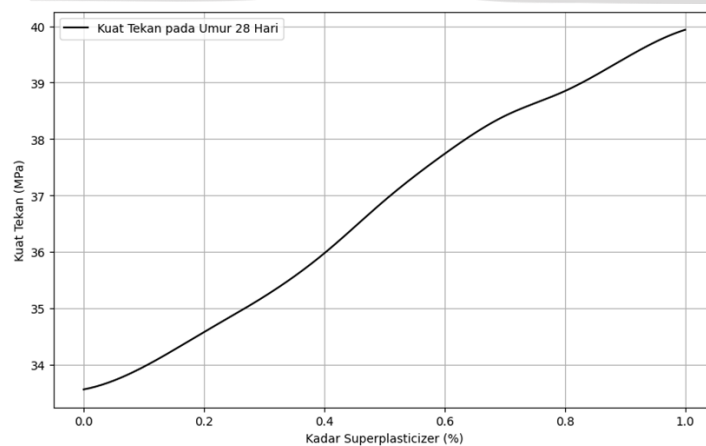
Gambar 5.23 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Superplasticizer* pada Umur 3 Hari



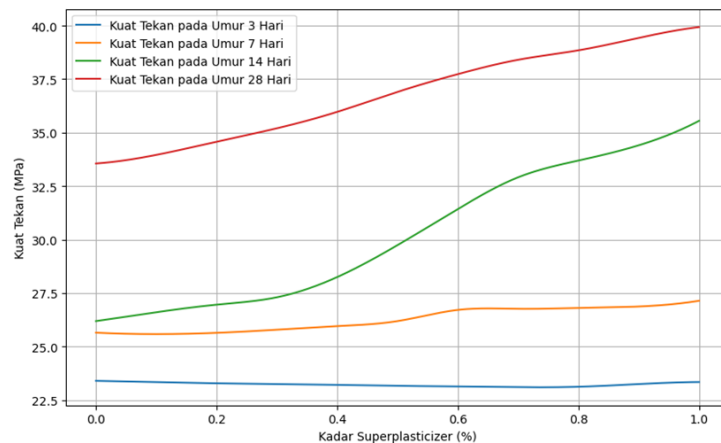
Gambar 5.24 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Superplasticizer* pada Umur 7 Hari



Gambar 5.25 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Superplasticizer* pada Umur 14 Hari



Gambar 5.26 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Superplasticizer* pada Umur 28 Hari



Gambar 5.27 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Superplasticizer* pada Berbagai Umur (3, 7, 14, dan 28 Hari)

Berdasarkan data yang didapatkan dari ANN, berikut ini adalah analisis dari prediksi kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari, serta bagaimana variasi proporsi *superplasticizer* mempengaruhi kuat tekan beton pada setiap umur:

1. Pengaruh *Superplasticizer* pada Umur 3 Hari

Pada umur 3 hari, penambahan *superplasticizer* memiliki dampak yang minimal terhadap kuat tekan beton. Kuat tekan berkisar antara 23,10 MPa hingga 23,40 MPa. Penurunan kuat tekan terbesar terjadi pada kadar 0,7%, di mana kuat tekan berada di 23,10 MPa, sedangkan campuran tanpa *superplasticizer* menunjukkan kuat tekan sebesar 23,40 MPa. Perbedaan ini sangat kecil (1,27%), menandakan bahwa pada umur muda, efek *superplasticizer* terhadap kuat tekan belum signifikan.

2. Pengaruh *Superplasticizer* pada Umur 7 Hari

Pada umur 7 hari, penggunaan *superplasticizer* mulai menunjukkan sedikit peningkatan dalam kuat tekan. Kuat tekan meningkat dari 25,65 MPa (tanpa *superplasticizer*) menjadi 27,14 MPa pada penggunaan *superplasticizer* 1,0%, yang merupakan peningkatan sebesar 5,81%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pada umur sedang, *superplasticizer* mulai membantu meningkatkan kekuatan beton, namun efeknya masih terbatas.

3. Pengaruh *Superplasticizer* pada Umur 14 Hari

Pada umur 14 hari, efek *superplasticizer* lebih terlihat. Kuat tekan maksimum tercapai pada kadar *superplasticizer* 1,0%, dengan kuat tekan 35,55 MPa, yang merupakan peningkatan sebesar 35,71% dibandingkan dengan beton tanpa *superplasticizer* (26,19 MPa). Peningkatan kuat tekan ini menunjukkan bahwa pada umur menengah, *superplasticizer* memberikan kontribusi signifikan dalam memperkuat beton.

4. Pengaruh *Superplasticizer* pada Umur 28 Hari

Pada umur 28 hari, *superplasticizer* tetap memberikan peningkatan kuat tekan yang signifikan. Kuat tekan tertinggi tercapai pada kadar *superplasticizer* 1,0%, dengan kuat tekan sebesar 39,94 MPa, yang merupakan peningkatan sebesar 19,06% dibandingkan dengan beton tanpa *superplasticizer* (33,56 MPa). Walaupun peningkatan kuat tekan terbesar terjadi pada umur 14 hari, di mana peningkatan mencapai 35,71%, *superplasticizer* memberikan efek jangka panjang yang positif dengan peningkatan kekuatan yang berkelanjutan hingga umur 28 hari.

Dengan demikian, penggunaan *superplasticizer* efektif dalam meningkatkan kekuatan beton pada jangka waktu yang lebih panjang (14 dan 28 hari), tetapi penggunaannya pada umur muda tidak memberikan efek signifikan. Proporsi optimal *superplasticizer* untuk mendapatkan hasil kuat tekan terbaik dalam kasus ini adalah 1,0%. Dimungkinkan dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemakaian *superplasticizer* di atas 1% melalui uji eksperimental, dengan memperhatikan faktor-faktor lain yang mempengaruhi sifat beton, seperti workability, nilai slump, dan rasio air-semen.

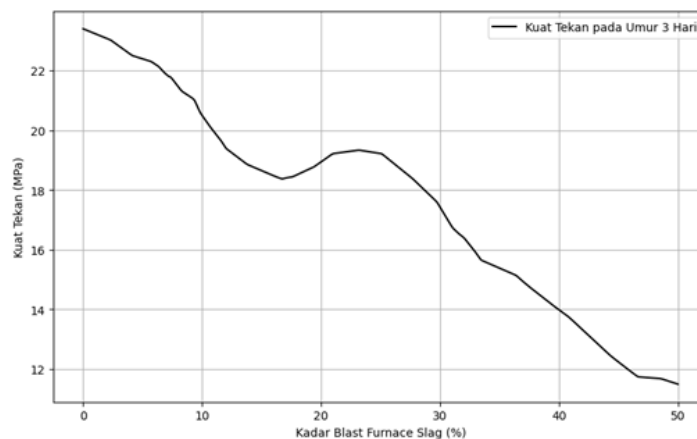
5.3.4 Kasus 4

Blast furnace slag sebagai substitusi sebagian semen diuji dalam campuran beton dengan beberapa variasi proporsi seperti yang dipaparkan sebelumnya. Tabel 5.28 menampilkan hasil prediksi kuat tekan pada beberapa sampel variasi yang diujikan. Untuk hasil prediksi yang lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.

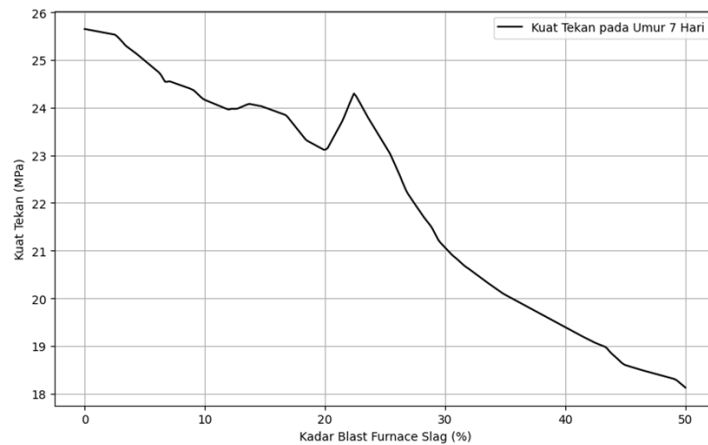
Tabel 5.28 Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 3

Kadar <i>Blast Furnace Slag</i> (%)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
0	23,40	25,65	26,19	33,56
5	22,39	24,99	28,32	35,74
10	20,49	24,16	31,76	38,88
15	18,65	24,00	33,28	41,29
20	18,94	23,12	35,02	43,08
22,8	19,31	24,15	36,03	43,29
25	19,22	23,21	36,18	43,03
25,6	19,05	22,93	36,37	42,94
30	17,42	21,06	35,24	39,81
35	15,38	20,07	33,39	37,91
40	13,98	19,39	29,33	37,27
45	12,23	18,60	28,42	36,25
50	11,49	18,13	28,08	35,49

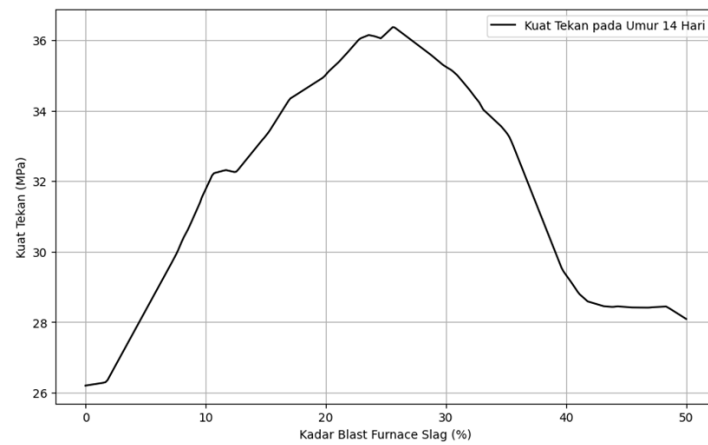
Hubungan antara proporsi *blast furnace slag* dan kuat tekan beton berdasarkan hasil prediksi divisualisasikan pada Gambar 5.28 hingga Gambar 5.32 agar dapat lebih jelas untuk melihat tren pengaruh *blast furnace slag* terhadap perkembangan kekuatan tekan pada berbagai umur beton.



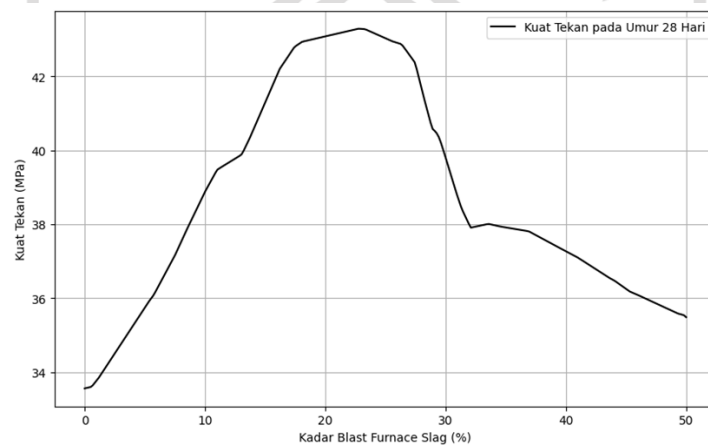
Gambar 5.28 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* pada Umur 3 Hari



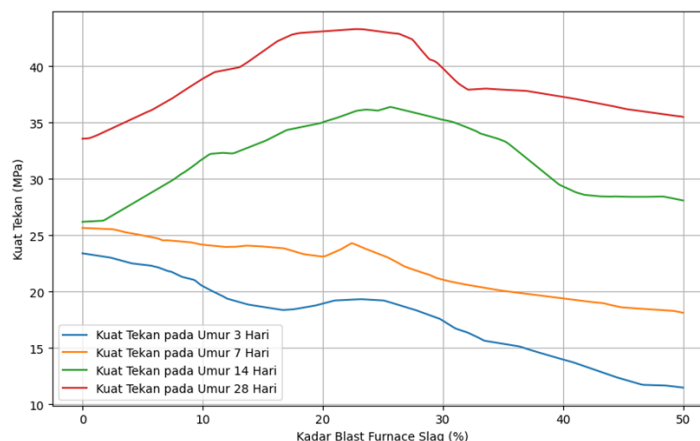
Gambar 5.29 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* pada Umur 7 Hari



Gambar 5.30 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* pada Umur 14 Hari



Gambar 5.31 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* pada Umur 28 Hari



Gambar 5.32 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* pada Berbagai Umur (3, 7, 14, dan 28 Hari)

Berdasarkan analisis Tabel 5.28 dan Gambar 5.28 hingga Gambar 5.32, terlihat bahwa variasi proporsi *blast furnace slag* sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap kuat tekan beton. Pengaruh ini tergantung pada umur beton serta proporsi *Blast Furnace Slag* yang diterapkan. Berdasarkan prediksi kuat tekan dan grafik yang disajikan, hasil analisis dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Pengaruh *Blast Furnace Slag* pada Umur 3 Hari

Sebagaimana penggunaan *fly ash* pada campuran beton, penggunaan *blast furnace slag* pada umur 3 hari secara umum menurunkan kuat tekan beton. Penurunan kuat tekan terbesar terjadi pada proporsi substitusi semen sebesar 50%, di mana kuat tekan beton turun sebesar 50,89%, dari 23,40 MPa (campuran tanpa *blast furnace slag*) menjadi 11,49 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pada umur muda, *blast furnace slag* dapat menghambat perkembangan kekuatan beton. Reaksi hidrasi *blast furnace slag* yang lebih lambat dibandingkan dengan semen diduga menjadi penyebab utama penghambatan perkembangan kekuatan beton pada umur muda.

2. Pengaruh *Blast Furnace Slag* pada Umur 7 Hari

Pada umur 7 hari, beton juga mengalami penurunan kuat tekan walaupun tidak signifikan pada beton umur 3 hari. Hal ini ditunjukkan dengan didapatkannya kuat tekan pada proporsi *blast furnace slag* 50% sebesar 18,13

MPa, menurun sebanyak 29,33% dari kuat tekan beton normal (25,65 MPa). Secara umum, semakin bertambah nya proporsi *blast furnace slag* semakin berkurang juga nilai kuat tekannya ketika diuji pada umur 7 hari.

3. Pengaruh *Blast Furnace Slag* pada Umur 14 Hari

Pada umur 14 hari, *blast furnace slag* memberikan efek yang cukup signifikan dalam meningkatkan kuat tekan beton. Kuat tekan mencapai puncaknya pada proporsi *blast furnace slag* 25,6%, dengan kuat tekan sebesar 36,37 MPa, lebih tinggi dibandingkan tanpa *blast furnace slag* yang menunjukkan nilai kuat tekan sebesar 26,19 MPa. Peningkatan ini menandakan bahwa pada umur menengah, *blast furnace slag* mulai berkontribusi secara signifikan dalam memperkuat beton. Namun, setelah melewati proporsi optimal ini, kuat tekan kembali turun seiring dengan peningkatan proporsi *blast furnace slag*.

4. Pengaruh *Blast Furnace Slag* pada Umur 28 Hari

Pada umur 28 hari, kuat tekan beton terus meningkat seiring dengan penambahan *blast furnace slag* hingga mencapai proporsi optimal 22,8%, di mana kuat tekan tertinggi tercatat 43,29 MPa, meningkat sebanyak 28,99% dari beton normal tanpa substitusi semen. Setelah melewati proporsi ini, meskipun kuat tekan mulai menurun, akan tetapi bahkan pada proporsi 50% kuat tekan masih mencapai 35,49 MPa, yang tetap lebih tinggi dibandingkan beton tanpa *blast furnace slag* (33,56 MPa). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada penurunan setelah proporsi optimal, penggunaan *blast furnace slag* hingga batas tertentu tetap memberikan kontribusi positif terhadap kekuatan tekan beton.

Dari beberapa poin penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil prediksi ANN pada kasus ini, penggunaan *blast furnace slag* dapat digunakan hingga proporsi 50%. Pada proporsi ini, *blast furnace slag* tidak hanya mempertahankan nilai kuat tekan yang setara dengan beton normal, tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kekuatan tekan. Meskipun demikian, pada umur muda, seperti 3 dan 7 hari, penggunaan *blast furnace slag* cenderung menurunkan kuat tekan.

5.3.5 Kasus 5

Pada kasus ini, dilakukan kombinasi penggunaan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen dengan variasi kadar 0% hingga 50% dan *superplasticizer* dengan variasi kadar 0% hingga 1% dalam campuran beton. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari untuk mengamati pengaruh gabungan *fly ash* dan *superplasticizer* terhadap peningkatan atau penurunan kuat tekan.

Tabel 5.29 memperlihatkan sebagian hasil prediksi kuat tekan berdasarkan variasi kadar *fly ash* dan *superplasticizer* yang digunakan. Data ini dihitung menggunakan model *Artificial Neural Network* (ANN) yang sudah dikembangkan sebelumnya. Adapun rincian data yang lebih lengkap mengenai prediksi kuat tekan kasus 5 dapat dilihat pada Lampiran 4.

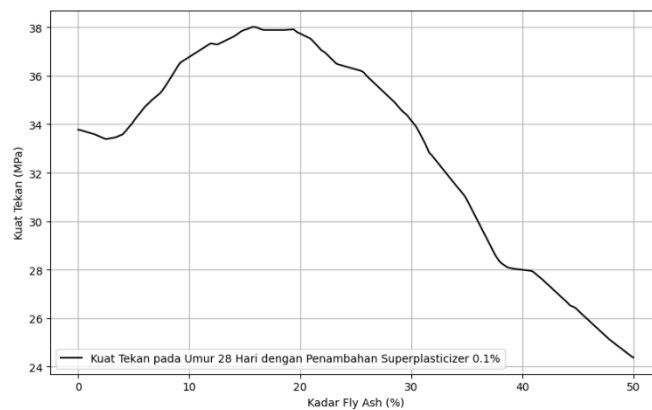
Tabel 5.29 Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 5

Kadar <i>Fly ash</i> (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
0	33,56	33,77	34,19	34,69	35,26	35,99	36,98	37,62	38,20	38,55	37,43
5	33,53	34,13	34,81	35,65	36,24	36,69	37,26	37,24	37,26	37,27	37,06
10	36,34	36,77	36,85	36,93	37,11	37,41	37,63	37,71	38,03	38,42	39,10
15	37,54	37,89	38,13	38,42	38,72	39,01	38,81	38,76	38,99	39,69	39,88
15,7	38,02	38,30	38,61	38,91	39,19	39,21	39,11	39,38	39,77	39,85	38,02
16,2	37,50	37,97	38,43	38,74	39,05	39,32	39,39	39,36	39,65	39,90	39,93
16,8	37,54	37,89	38,41	38,90	39,21	39,47	39,55	39,66	39,98	40,05	40,08
18,9	37,76	37,90	38,30	38,76	39,16	39,57	39,73	39,94	39,97	39,83	39,92
17,2	37,57	37,89	38,38	38,87	39,30	39,51	39,59	39,83	40,12	40,15	40,12
17,4	37,59	37,89	38,37	38,85	39,32	39,53	39,61	39,86	40,17	40,12	40,07
18,1	37,67	37,89	38,35	38,80	39,25	39,61	39,70	40,05	40,12	40,02	39,88
18,3	37,69	37,89	38,34	38,78	39,23	39,63	39,73	40,04	40,11	40,00	39,88
20	37,62	37,74	38,21	38,67	39,34	39,50	39,67	39,67	39,50	39,55	40,06
20,9	37,31	37,54	37,87	38,46	39,39	39,61	39,75	39,49	39,28	39,62	40,15
21	37,25	37,50	37,83	38,42	39,39	39,61	39,76	39,47	39,28	39,63	40,16
24,1	36,50	36,38	36,57	37,02	37,25	37,19	37,30	37,90	38,51	39,29	40,89
25	36,33	36,26	36,40	36,52	36,57	36,35	36,40	37,08	37,89	38,48	39,76
30	34,72	34,15	33,67	33,22	32,84	32,80	33,07	33,54	34,10	34,60	35,68
35	31,11	30,89	30,53	30,30	30,29	30,53	30,86	31,31	31,67	31,99	32,73
40	28,20	28,00	27,65	27,38	27,56	27,79	27,91	28,20	28,77	29,31	30,06
50	24,75	24,38	24,71	25,21	25,77	25,70	25,74	25,61	25,78	26,12	26,13

Untuk mempermudah pemahaman mengenai pengaruh kombinasi *fly ash* dan *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton, Gambar 5.33 sampai dengan Gambar 5.44 menunjukkan tren kuat tekan beton pada umur 28 hari.



Gambar 5.33 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0%



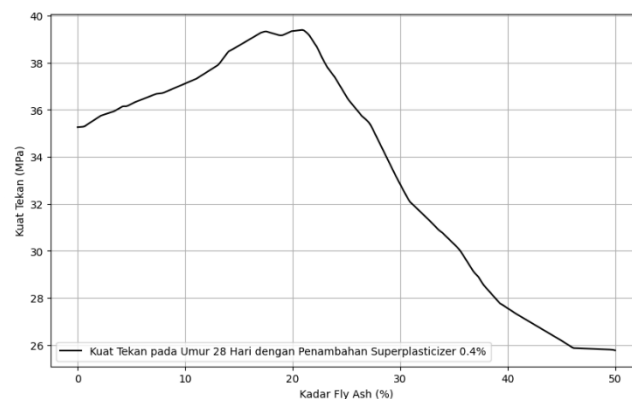
Gambar 5.34 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,1%



Gambar 5.35 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,2%



Gambar 5.36 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,3%



Gambar 5.37 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,4%



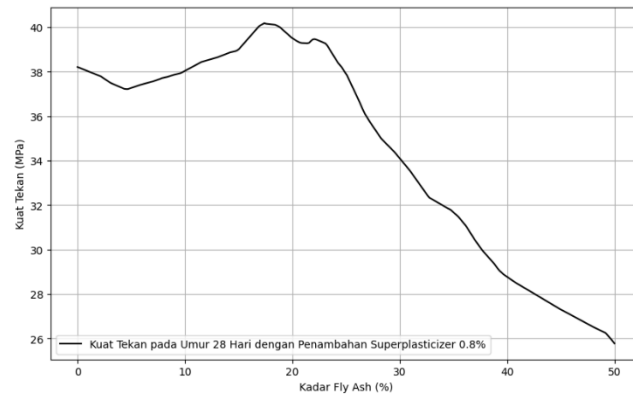
Gambar 5.38 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,5%



Gambar 5.39 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,6%



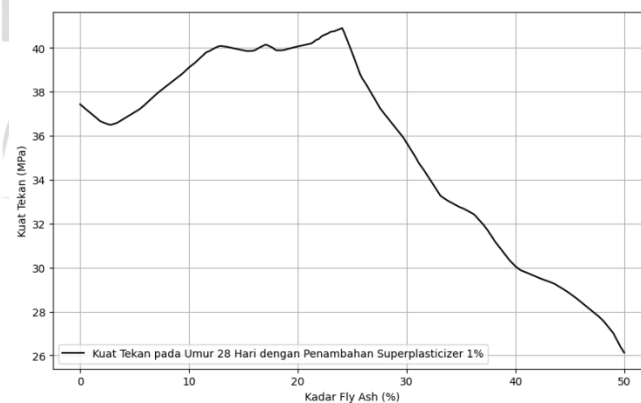
Gambar 5.40 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,7%



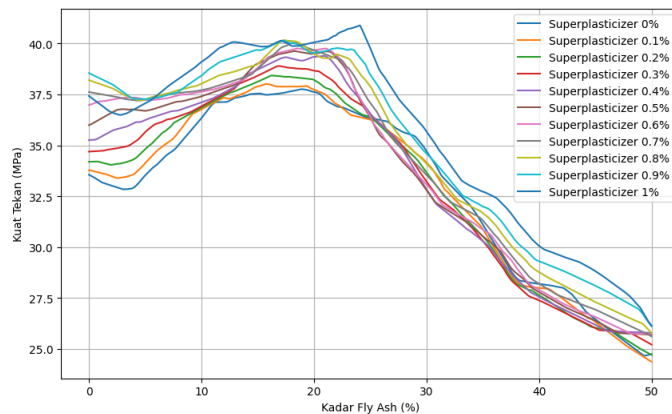
Gambar 5.41 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,8%



Gambar 5.42 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,9%



Gambar 5.43 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 1%



Gambar 5.44 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Fly ash* pada Berbagai Penambahan Kadar *Superplasticizer*

Dari data yang disediakan pada Tabel 5.29 dan Gambar 5.33 hingga Gambar 5.44, terlihat bahwa penambahan *fly ash* dan *superplasticizer* secara umum meningkatkan kuat tekan beton hingga batas optimal. Kombinasi optimal terjadi pada proporsi *fly ash* sebesar 15% hingga 25%. Pada rentang ini, kuat tekan beton mencapai nilai maksimum dan berada di atas beton tanpa substitusi. Sebaliknya, proporsi *fly ash* yang lebih tinggi dari 25% menunjukkan penurunan kuat tekan.

Untuk memudahkan penggambaran terkait kenaikan kuat tekan dibandingkan dengan beton normal tanpa substitusi apapun akan ditampilkan Tabel 5.30.

Tabel 5.30 Kuat Tekan Maksimum Beton pada Berbagai Dosis *Superplasticizer* dan Proporsi *Fly ash* Terhadap Beton Normal

Kadar <i>Superplasticizer</i> (%)	Kadar <i>Fly ash</i> (%)	Kuat Tekan Maksimum (MPa)	Kenaikan Kuat Tekan (MPa)	Persentase Kenaikan
0	18,9	37,76	4,20	12,52%
0,1	15,7	38,02	4,46	13,28%
0,2	16,2	38,43	4,87	14,51%
0,3	16,8	38,90	5,35	15,93%
0,4	20,9	39,39	5,83	17,38%
0,5	18,3	39,63	6,07	18,08%
0,6	21	39,76	6,20	18,48%
0,7	18,1	40,05	6,49	19,35%
0,8	17,4	40,17	6,62	19,72%
0,9	17,2	40,15	6,60	19,65%
1	24,1	40,89	7,33	21,83%

Dari data pada Tabel 5.30, terlihat bahwa pada dosis superplasticizer 0,8%, kuat tekan beton mencapai 40,17 MPa dengan fly ash 17,4%. Namun, pada dosis 0,9%, kuat tekan sedikit menurun menjadi 40,15 MPa, penurunan kecil ini dimungkinkan oleh variasi dalam pengujian beton, keterbatasan akurasi, atau perubahan *workability*. Menariknya, pada dosis 1%, kuat tekan kembali meningkat menjadi 40,89 MPa, menunjukkan bahwa dosis superplasticizer yang lebih tinggi tetap dapat memberikan efek positif pada kekuatan beton.

Namun secara umum, kuat tekan maksimum konsisten meningkat seiring dengan peningkatan dosis *superplasticizer*, dari 12,52% pada 0% *superplasticizer* hingga 21,83% pada 1% *superplasticizer*. Ini menunjukkan bahwa penambahan *superplasticizer* memberikan dampak positif pada kuat tekan beton secara keseluruhan, dengan peningkatan persentase yang semakin tinggi pada dosis *superplasticizer* yang lebih besar.

Dosis *superplasticizer* 0,7% hingga 1% menunjukkan peningkatan yang signifikan pada kuat tekan, dengan persentase kenaikan lebih dari 19%. Ini menunjukkan bahwa dosis *superplasticizer* pada kisaran ini memiliki pengaruh yang kuat dalam memperkuat beton, dengan hasil terbaik pada *superplasticizer* 1% dengan kuat tekan maksimum mencapai 40,89 MPa, dimana terjadi peningkatan kuat tekan hingga 21,83% dibandingkan beton normal dengan kuat tekan sebesar 33,56 MPa.

Proporsi *fly ash* yang menghasilkan kuat tekan maksimum bervariasi, namun secara umum berkisar antara 15% hingga 24%. Pada dosis *superplasticizer* 1%, proporsi *fly ash* tertinggi yaitu 24,1%, menunjukkan bahwa pada dosis *superplasticizer* yang tinggi, penambahan *fly ash* yang lebih banyak masih memberikan dampak positif pada peningkatan kuat tekan.

Sebagai penutup, meskipun peningkatan *superplasticizer* pada umumnya berdampak positif, penting untuk melakukan penyesuaian yang tepat dalam proporsi untuk memaksimalkan kekuatan beton dan mencegah efek negatif yang mungkin timbul. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami interaksi kompleks antara *superplasticizer* dan *fly ash* dalam campuran beton.

5.3.6 Kasus 6

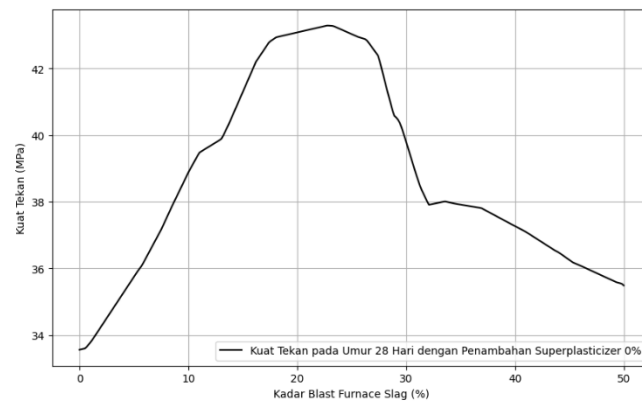
Kombinasi penggunaan *blast furnace slag* sebagai substitusi sebagian semen dengan variasi kadar 0% hingga 50%, serta *superplasticizer* dengan variasi kadar 0% hingga 1% dalam campuran beton dilakukan pada kasus 6. Prediksi kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari untuk mengamati pengaruh gabungan *blast furnace slag* dan *superplasticizer* terhadap peningkatan atau penurunan kuat tekan. Beberapa sampel hasil prediksi kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.31. Adapun rincian data lebih lengkap mengenai prediksi kuat tekan dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 5.31 Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 6

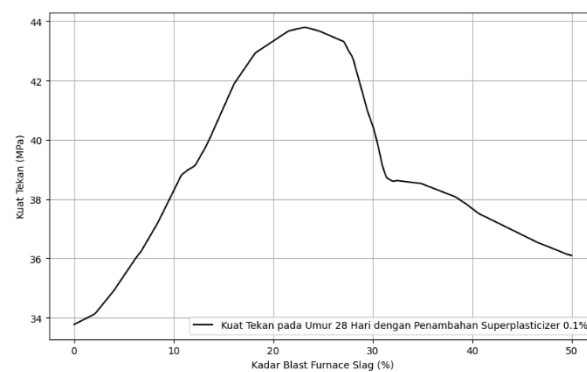
Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
0	33,56	33,77	34,19	34,69	35,26	35,99	36,98	37,62	38,20	38,55	37,43
5	35,74	35,41	35,11	35,47	36,01	36,85	38,05	39,33	40,26	40,78	39,39
10	38,88	38,28	37,72	37,29	37,19	38,09	39,27	40,26	41,15	41,50	39,94
15	41,29	41,08	40,80	40,23	39,66	39,25	39,05	39,97	40,72	41,38	40,62
20	43,08	43,33	43,25	42,67	42,13	41,41	41,18	41,01	40,89	41,52	41,48
22,8	43,29	43,77	43,92	43,89	43,37	42,30	41,97	41,99	41,84	41,95	42,03
23,2	43,28	43,80	44,01	43,99	43,47	42,42	42,08	42,09	41,94	41,96	42,11
23,9	43,19	43,74	44,06	44,06	43,56	42,58	42,28	42,25	42,10	42,07	42,10
24,2	43,15	43,71	44,07	44,03	43,59	42,63	42,36	42,33	42,17	42,12	42,09
25	43,03	43,62	44,12	43,93	43,46	42,77	42,47	42,52	42,36	42,26	42,06
25,7	42,93	43,52	44,04	43,84	43,34	42,89	42,56	42,61	42,53	42,38	41,97
26,4	42,84	43,42	43,83	43,75	43,23	42,81	42,65	42,68	42,70	42,50	41,99
26,9	42,62	43,35	43,67	43,67	43,14	42,62	42,50	42,73	42,80	42,57	42,03
27,8	41,94	42,89	43,36	43,52	42,68	42,15	42,05	42,60	42,95	42,71	42,11
28,4	41,18	42,30	43,10	43,30	42,35	41,84	41,99	42,55	42,94	42,80	42,18
29,1	40,52	41,45	42,43	42,94	42,05	41,80	41,97	42,50	42,91	42,76	42,26
30	39,81	40,49	41,49	41,70	42,05	41,89	41,94	42,41	42,80	42,66	42,16
35	37,91	38,51	39,48	40,61	41,18	41,19	41,16	40,96	41,18	41,17	40,97
40	37,27	37,69	39,08	40,47	40,85	40,73	40,40	39,83	39,27	38,98	38,87
50	35,49	36,10	36,60	37,63	37,98	38,05	38,06	37,92	37,64	37,08	36,11

Tabel 5.32 di atas memberikan informasi mengenai hasil prediksi kuat tekan pada berbagai proporsi *blast furnace slag* dan *superplasticizer*. Untuk memberikan

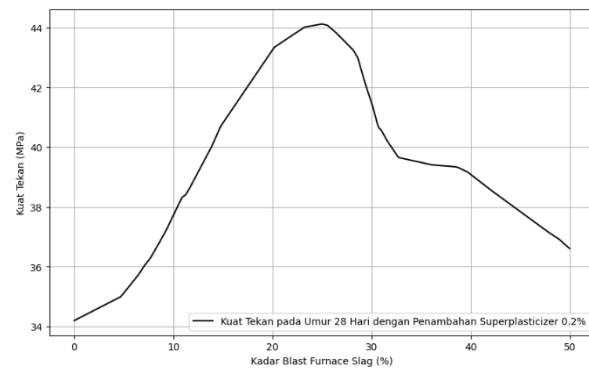
gambaran yang lebih jelas tentang pengaruh kombinasi *blast furnace slag* dan *superplasticizer*, Gambar 5.45 hingga Gambar 5.56 memperlihatkan grafik tren kuat tekan beton pada umur 28 hari berdasarkan kadar *blast furnace slag* dan dosis *superplasticizer* yang digunakan.



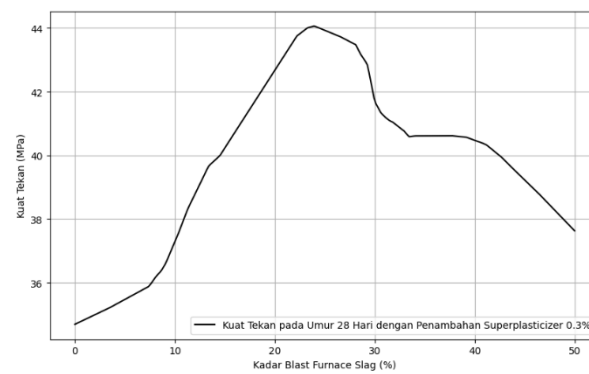
Gambar 5.45 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0%



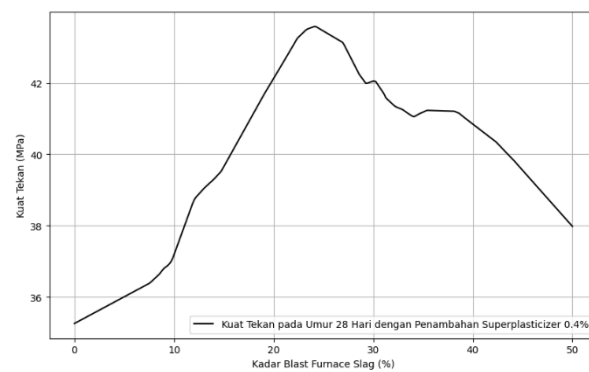
Gambar 5.46 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,1%



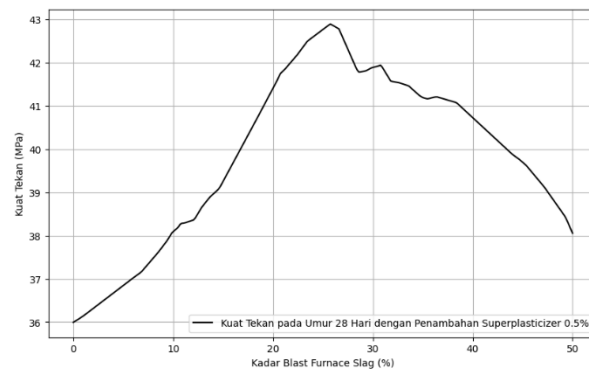
Gambar 5.47 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,2%



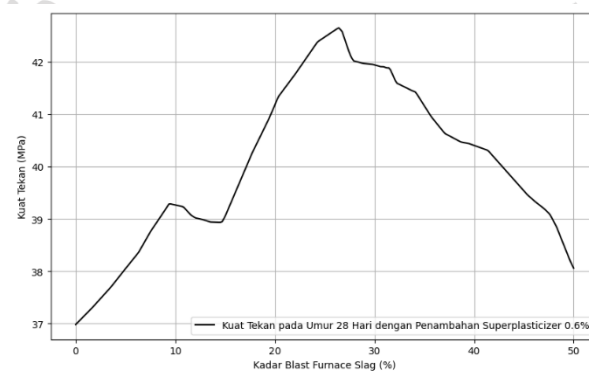
Gambar 5.48 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,3%



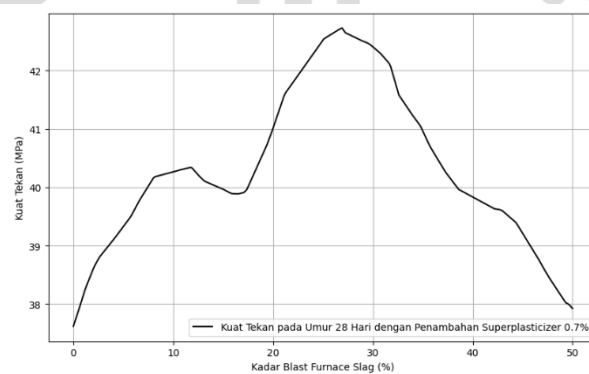
Gambar 5.49 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,4%



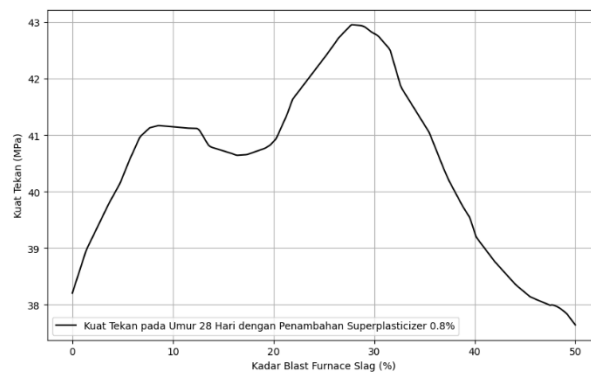
Gambar 5.50 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,5%



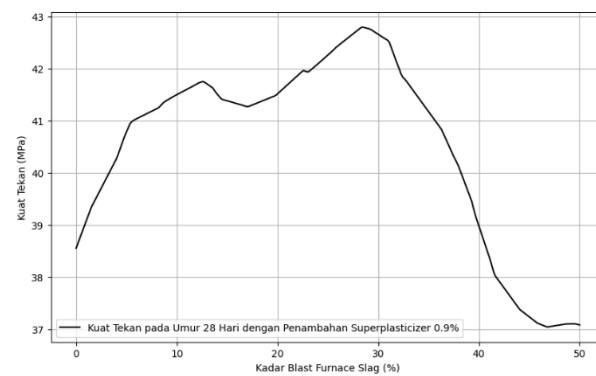
Gambar 5.51 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,6%



Gambar 5.52 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,7%



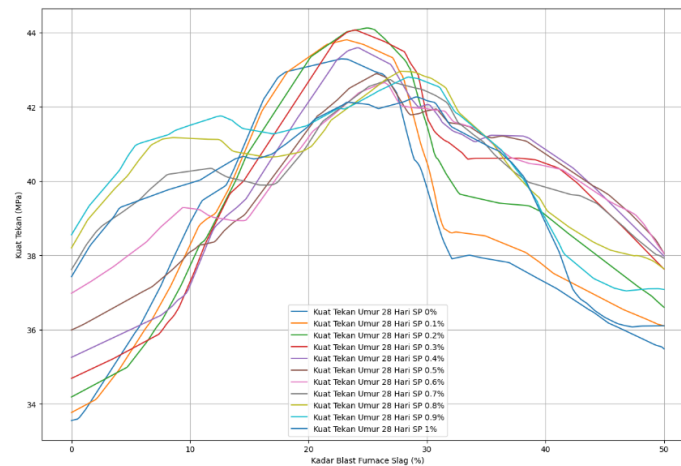
Gambar 5.53 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,8%



Gambar 5.54 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 0,9%



Gambar 5.55 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi *Blast Furnace Slag* dengan Penambahan Kadar *Superplasticizer* 1%



Gambar 5.56 Grafik Kuat Tekan Beton Berdasarkan Proporsi Blast Furnace Slag pada Berbagai Penambahan Kadar Superplasticizer

Tabel 5.31 dan Gambar 5.56 menginformasikan bahwa penambahan *blast furnace slag* dan *superplasticizer* secara umum memberikan peningkatan kuat tekan beton hingga batas optimal. Kuat tekan maksimum tercapai pada proporsi blast furnace slag sebesar 25% dengan dosis *superplasticizer* 0,2%, menghasilkan nilai maksimum sebesar 44,12 MPa. Mengacu pada data yang tersedia, akan diberikan Tabel 5.32 yang menampilkan kuat tekan maksimum beton pada berbagai dosis *superplasticizer* dan proporsi *blast furnace slag*.

Tabel 5.32 Kuat Tekan Maksimum Beton pada Berbagai Dosis Superplasticizer dan Proporsi Blast Furnace Slag Terhadap Beton Normal

Kadar Superplasticizer (%)	Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan Maksimum (MPa)	Kenaikan Kuat Tekan (MPa)	Persentase Kenaikan
0	22,8	43,29	9,73	28,99%
0,1	23,2	43,80	10,24	30,52%
0,2	25	44,12	10,56	31,47%
0,3	23,9	44,06	10,50	31,29%
0,4	24,2	43,59	10,03	29,89%
0,5	25,7	42,89	9,33	27,80%
0,6	26,4	42,65	9,09	27,09%
0,7	26,9	42,73	9,17	27,32%
0,8	27,8	42,95	9,40	28,00%
0,9	28,4	42,80	9,24	27,53%
1	29,1	42,26	8,71	25,94%

Berdasarkan Tabel 5.32, dengan dosis *superplasticizer* 0% dengan proporsi *blast furnace slag* 22,8%, kuat tekan maksimum tercatat sebesar 43,29 MPa. Seiring dengan peningkatan kadar *superplasticizer*, kuat tekan maksimum juga mengalami peningkatan, dengan puncaknya pada dosis 0,2% dengan proporsi *blast furnace slag* 25%. Namun, pada dosis *superplasticizer* 1%, meskipun masih menunjukkan peningkatan, kuat tekan maksimum menurun menjadi 42,26 MPa, menunjukkan bahwa setelah mencapai titik tertentu, penambahan *superplasticizer* dapat berdampak negatif pada kuat tekan. Penurunan ini mungkin menunjukkan adanya batas optimal dalam penambahan *superplasticizer* yang perlu diperhatikan untuk menjaga *workability* dan distribusi material dalam campuran beton.

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa penambahan *blast furnace slag* dan *superplasticizer* memberikan dampak positif pada kuat tekan beton secara keseluruhan, dengan persentase kenaikan yang signifikan, mencapai puncaknya pada proporsi tertentu. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami interaksi kompleks antara *superplasticizer* dan *blast furnace slag* dalam campuran beton guna mencapai kekuatan maksimum yang diinginkan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dimulai dari tahap studi literatur, pengumpulan data, perencanaan mix design, pembuatan model ANN, penggunaan model pada beberapa kasus hingga analisis data dan grafik, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Kemampuan Prediksi Model *Artificial Neural Network* (ANN)

Model ANN yang dikembangkan dalam penelitian ini telah menunjukkan kemampuan prediksi yang baik. Hal ini dibuktikan dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 8,53%, yang menunjukkan rata-rata persentase kesalahan antara nilai yang diprediksi dan nilai aktual. *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 3,98 MPa memberikan gambaran seberapa jauh prediksi model dari nilai aktual dalam satuan yang sama. Selain itu, koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,94 pada data uji menunjukkan bahwa model ini dapat menjelaskan 94% variabilitas dalam data, menandakan bahwa model ANN dapat mempelajari pola yang kompleks antara variabel-variabel input dan kuat tekan beton dengan cukup akurat.

Meskipun demikian, terdapat beberapa kasus di mana model mengalami kesulitan dalam memprediksi kuat tekan beton dengan akurasi yang tinggi. Hal ini terlihat dari nilai persentase eror yang cukup besar pada beberapa data uji, yang mengindikasikan adanya beberapa data yang sulit diprediksi oleh model.

2. Pengaruh Variasi Proporsi Bahan Substitusi

Berdasarkan model *Artificial Neural Network* (ANN) yang dilatih menggunakan *dataset* dari Yeh (1998) dan diterapkan untuk memprediksi kuat tekan hasil *mix design* metode ACI, pengaruh variasi proporsi bahan substitusi terhadap kuat tekan beton dapat dirangkum sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Proporsi *Fly Ash*

Pada umur 3 hari, penambahan *fly ash* selalu menurunkan kuat tekan beton, dengan penurunan terbesar terjadi pada proporsi 37,2%, yaitu sebesar 43,6% dari 23,4 MPa menjadi 13,2 MPa. Pada umur 7 hari, penambahan *fly ash* juga menurunkan kuat tekan beton, meskipun penurunannya lebih kecil dibandingkan pada umur 3 hari. Namun, pada umur 14 dan 28 hari, proporsi *fly ash* hingga 21,6% dan 18,9% dapat meningkatkan kuat tekan beton masing-masing sebesar 15,28% (dari 26,19 MPa menjadi 30,19 MPa) dan 12,52% (dari 33,56 MPa menjadi 37,76 MPa) dibandingkan beton tanpa *fly ash*. Meskipun proporsi *fly ash* yang lebih besar dari 21,6% (umur 14 hari) dan 18,9% (umur 28 hari) akan menurunkan kuat tekan, pada proporsi hingga 30% kuat tekan beton masih setara dengan beton normal tanpa *fly ash*, sehingga menunjukkan bahwa pada rentang ini, *fly ash* dapat mempertahankan kekuatan tekan yang diinginkan. Selain itu, penambahan *superplasticizer* pada campuran beton dengan *fly ash* memberikan dampak positif, dengan peningkatan maksimum sebesar 21,83% (dari 33,56 MPa pada beton normal, menjadi 40,89 MPa) pada dosis *superplasticizer* 1% dan proporsi *fly ash* 24,1%.

b. Pengaruh Variasi Proporsi *Superplasticizer*

Penambahan *superplasticizer* menunjukkan sedikit penurunan kuat tekan pada umur 3 hari, di mana nilai kuat tekan berkisar antara 23,10 MPa hingga 23,40 MPa, dengan penurunan maksimum mencapai 1,27% pada kadar 0,7%. Namun, secara umum, *superplasticizer* dapat meningkatkan kuat tekan beton. Peningkatan yang paling signifikan terjadi pada umur 14 hari, dengan peningkatan sebesar 35,71% dari 26,19 MPa menjadi 35,55 MPa pada proporsi *superplasticizer* 1%. Pada umur 28 hari, kuat tekan juga meningkat sebesar 19,06% dari 33,56 MPa menjadi 39,94 MPa, dengan proporsi yang sama.

c. Pengaruh Variasi Proporsi *Blast Furnace Slag*

Penggunaan *blast furnace slag* sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton menunjukkan dampak yang bervariasi terhadap kuat tekan. Pada umur 3 hari, penambahan *blast furnace slag* menurunkan kuat tekan secara signifikan, dengan penurunan terbesar mencapai 50,89% pada proporsi 50%. Penurunan ini masih terjadi pada umur 7 hari, namun mulai menunjukkan efek positif pada umur 14 hari, dengan kuat tekan maksimum tercapai pada proporsi 25,6%, yaitu sebesar 36,37 MPa. Pada umur 28 hari, proporsi optimal 22,8% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 43,29 MPa. Setelah proporsi ini, terjadi penurunan kuat tekan, tetapi penggunaan *blast furnace slag* hingga 50% tetap dapat mempertahankan kekuatan tekan yang lebih baik dibandingkan beton tanpa *blast furnace slag*. Selain itu, penambahan *superplasticizer* pada campuran beton dengan *blast furnace slag* memberikan hasil yang baik, dengan kuat tekan maksimum mencapai 44,12 MPa pada proporsi slag 25% dan dosis *superplasticizer* 0,2%.

3. Proporsi Optimal Bahan Substitusi

Berdasarkan hasil prediksi yang dilakukan menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN), proporsi bahan substitusi yang diusulkan untuk mencapai kuat tekan optimal adalah:

- a. Proporsi *fly ash* antara 10-30% dalam campuran beton masih memberikan nilai positif pada kuat tekan beton, dengan proporsi optimal nya 18,9% pada umur beton 28 hari. Adapun bila menambahkan *superplasticizer*, proporsi yang diusulkan adalah pada dosis *superplasticizer* 1% dan proporsi *fly ash* 24,1%.
- b. Proporsi optimal *superplasticizer* yang memberikan kekuatan tekan beton maksimal berdasarkan hasil prediksi ANN adalah 1%. Adapun penggunaan *superplasticizer* lebih dari 1% dapat dieksplorasi untuk meningkatkan kuat tekan beton, namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi efeknya terhadap sifat beton lainnya, seperti *workability* dan rasio air-semen.

- c. Proporsi *blast furnace slag* hingga 50% dalam campuran beton masih dapat digunakan karena nilai kuat tekan yang diprediksi tetap lebih tinggi dibandingkan beton tanpa *blast furnace slag*. Untuk mencapai kuat tekan maksimum, proporsi *blast furnace slag* yang diusulkan adalah 22,8% dari berat semen. Jika ditambahkan *superplasticizer*, proporsi yang dianjurkan adalah 0,2% dengan *blast furnace slag* sebanyak 25%.

6.2 Saran

Beberapa saran akan disampaikan yang diharapkan dapat menjadi pertimbangan bagi penelitian selanjutnya. Saran-saran ini didasarkan pada temuan yang diperoleh selama penelitian dan bertujuan untuk meningkatkan kualitas serta efektivitas hasil penelitian di masa mendatang. Saran-saran tersebut diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan uji eksperimental di lapangan untuk memvalidasi hasil prediksi model ANN. Model ANN yang dikembangkan dalam penelitian ini didasarkan pada data yang diperoleh dari literatur. Uji eksperimental di lapangan dapat memberikan data aktual yang lebih akurat dan representatif.
2. Penelitian ini menggunakan model *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi kuat tekan beton. Penelitian lanjutan dapat mencoba model *machine learning* lainnya, seperti *Support Vector Machine* (SVM), *Random Forest*, atau *Extreme Gradient Boosting* (XGR), untuk membandingkan kinerja prediksi dan menemukan model yang paling optimal.
3. Model ANN yang dikembangkan dalam penelitian ini hanya mempertimbangkan campuran dan jenis bahan substitusi secara umum. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mempengaruhi kuat tekan beton, seperti jenis semen, jenis agregat, karakteristik bahan substitusi yang digunakan (fisik, nilai pH, serta kandungan kimia), dan kondisi lingkungan.
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi pengaruh bahan substitusi terhadap parameter beton lainnya, seperti *workability*, *setting time*,

dan *bleeding*. Penelitian ini hanya menganalisis pengaruh *fly ash*, *superplasticizer*, dan *blast furnace slag* terhadap kuat tekan beton. Parameter-parameter lain juga penting untuk diperhatikan dalam perencanaan campuran beton.



DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 116. 1985. *Cement and Concrete Terminology*. ACI publication SP-19. American Concrete Institute. Farmington Hills, MI.
- American Concrete Institute (ACI). 1991. *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* (ACI 211.1-91). American Concrete Institute. Detroit.
- Adhi, A.B. 2009. Implementasi Permodelan Artificial Neural Network (ANN) dalam Prediksi Data Time Series Penjualan Studi Kasus PT. Varia Usaha Beton. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Afifuddin, M., Nafira, D, dan Fachrurrazi. 2021. Prediksi Kuat Tekan Beton Kinerja Tinggi dengan Pemodelan Metode *Artificial Neural Network* (ANN). *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.10, No. 2: 1-15
- Ahmad, I. 2011. Analisis Perbedaan Kuat Tekan Beton Tambahan Abu Terbang Dengan Beton Normal Yang Direndam Dalam Asam Sulfat Untuk Beton Mutu Rendah. *Jurnal Konstruksi*. Vol. 2, No. 2, Juli: 23-30.
- Anonim. 2008. *Buku Ajar Teknologi Bahan Konstruksi*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Anonim. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Jakarta.
- Arief, H. 2006. *Jaringan Saraf Tiruan Teori dan Aplikasi*. Andi. Yogyakarta.
- ASTM C-494. 1995. *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. American Society for Testing and Material. USA.
- Babbar, T. 2023. *Beyond the Norm: How Outlier Detection Transforms Data Analysis*. <https://medium.com/alliedoffsets/beyond-the-norm-how-outlier-detection-transforms-data-analysis-c345e1559e02>. Diakses 14 Oktober 2024.
- Cleveland, W. S., & Devlin, S. J. 1988. Locally weighted regression: An approach to regression analysis by local fitting. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 83, No. 403: 596-610.
- Dachi, J.M.A.S. 2023. Analisis Perbandingan Algoritma XGBoost dan Algoritma Random Forest Ensemble Learning pada Klasifikasi Keputusan Kredit. *Jurnal Riset Rumpun Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (JURRIMIPA)*. Vol. 2 No. 2:87-103.
- Direktorat Statistik Industri. 2024. *Indikator Konstruksi, Triwulan I-2024*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.

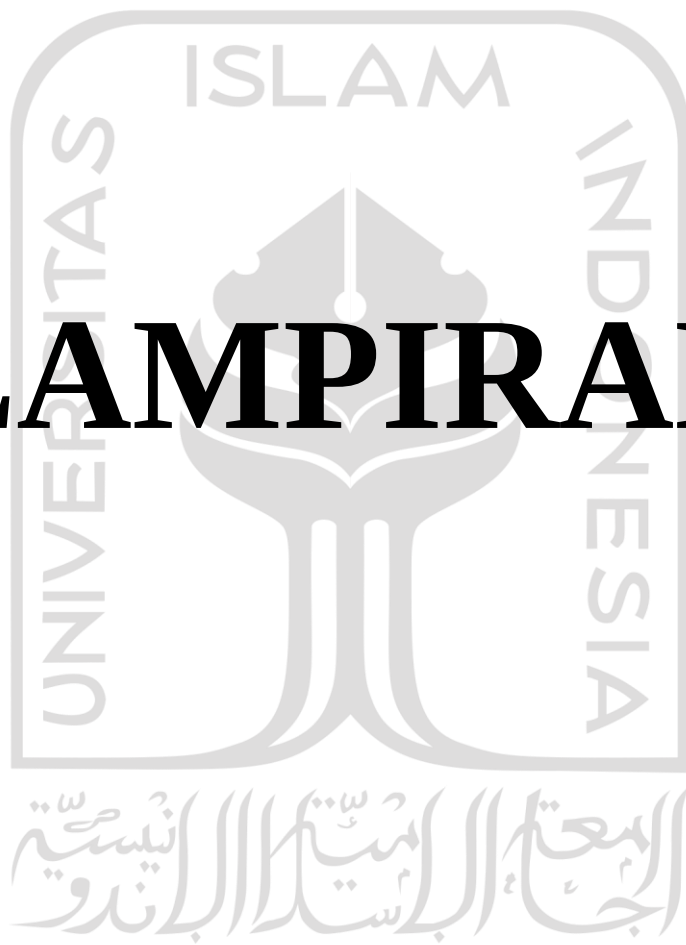
- Faqihuddin, A., Hermansyah, dan Kurniati, E. 2021. Tinjauan Campuran Beton Normal dengan Penggunaan Superplasticizer sebagai Bahan Pengganti Air Sebesar 0%; 0,3%; 0,5% dan 0,7% Berdasarkan Berat Semen. *Journal of Civil Engineering and Planning*. Vol. 2, No. 1.
- Fausett, L. 1994. *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications*. Prentice-Hall.
- Hamdi, F. dkk. 2022. *Teknologi Bangunan*. CV. Tohar Media. Makassar.
- Hagan, M., Demuth, H., dan Beale, M. 2002. *Neural Network Design*. Campus Pub Service. University of Colorado Bookstore.
- Hastono, S.P. 2006. *Analisis Data*. Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia. Jakarta.
- Hawkins, D. 1980. *Identification of Outliers*. Chapman and Hall. London.
- Haykin, S. 2009. *Neural Networks and Learning Machines*. Pearson. United States of America.
- Hidayat, I., Tolago, A.I., Dako, R.D.R., dan Ilham, J. 2023. Analisis Data Eksploratif Capaian Indikator Kinerja Utama 3 Fakultas Teknik. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*. Vol. 5 No. 2:105-118.
- Husin, A.A., dan Setiaji, R. 2008. Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap Kualitas Bata Beton. *Jurnal Pemukiman*. Vol. 3, No. 3, September: 45-58.
- Kusumadewi, S. 2012. *Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB dan Excel Link*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Kuma'at, E.J. 2022. *Bahan Ajar Teknologi Bahan Konstruksi*. Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil.
- Japa, L., Serqueira, M., Mendonça, I., Aritsugi, M., Bezerra, E., dan González, P.H. 2023. A Population-Based Hybrid Approach for Hyperparameter Optimization of Neural Networks. *IEEE Access*.
- Latjemma, S. 2022. Analisis Penambahan Serat Sabut Kelapa pada Campuran Beton. *Jurnal Multidisiplin Madani (MUDIMA)*. Vol. 2, No. 4: 1681-1698. Medan.
- Levia, D., dan Mhubaligh. 2024. Analisis Proses Produksi CPO Untuk Mengidentifikasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Mutu CPO. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*. Vol. 2, No. 2: 82-89.
- Maji'aturrohman, dan Widodo. 2024. Optimalisasi Beton Prategang PCI Girder Pada Jembatan Perring Kloji, Mojokerto Menggunakan Metode Artificial Neural Network. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*. Vol. 4, No. 1, Juli: 342-351.

- Mayasari, R., Nugraha, B., Juwita, A.R., dan Heryana, N. 2023. Analisis Produktivitas Padi di Pulau Sumatera Menggunakan Exploratory Data Analysis (EDA). *Jurnal Elektronik Sistem Informasi Unsika*. Vol. 1 No. 1.
- Merdiansah, R., Siska, dan Ridha, A.A. 2024. Analisis Sentimen Pengguna X Indonesia Terkait Kendaraan Listrik Menggunakan IndoBERT. *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi (JIKOMSI)*. Vol. 7 No. 1:221-228.
- Pyne, C. *What is the use of Histograms in Data Analysis?*. <https://www.mokkup.ai/blogs/importance-of-histogram>. Diakses 14 Oktober 2024.
- Mohamad, R.M., Rachman, A., dan Mointi, R. 2020. Kuat Tekan Beton Untuk Mutu Tinggi 45 MPA Dengan Fly ash Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*. Vol. 8, No. 1: 25-33.
- Moore, D.S., Notz, W.I., dan Finger, M.A. 2013. *The Basic Practice of Statistics*, 6th ed. W.H. Freeman and Company. New York, NY.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta.
- Nasution, D.A., Khotimah, H.H., dan Chamidah, N. 2019. Perbandingan Normalisasi Data untuk Klasifikasi Wine Menggunakan Algoritma K-NN. *CESS (Journal of Computer Engineering System and Science)*. Vol. 4 No. 1.
- Ngodingdata. 2024. Seaborn Matrix Plot. <https://ngodingdata.com/seaborn-matrix-plot/>. Diakses 14 Oktober 2024.
- Nugrana, B. H. dan Hardawati, A. 2024. Pemanfaatan Limbah Batu Bata Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Semen Pada Beton Normal. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*. Vol. 4, No. 1, Juli: 301-307.
- Nugraha, P. dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Özbay, E., Erdemir, M., & Durmuş, H.İ. 2016. Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties—A review. *Construction and Building Materials*. 105: 423-434.
- Pradhipta, R., Rahmayanti, N., Jamal, A. U., dan Hardawati, A. 2022. Pengaruh Penggunaan Abu Batu sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus terhadap Karakteristik Beton pada Mutu 30 MPa. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*. Vol. 2, No. 1, Juli: 51-62.
- Prasetiawan, J. 2019. Optimasi Dimensi Balok Struktur Portal Beton 3D Bangunan Kantor Tiga Lantai Dengan Metode Artificial Neural Network. *Jurnal Avesina*. Universitas Islam Al-Azhar. Vol. 13, No. 1, Juni: 23-35.
- Rada, Y.H.M., dan Aji, P. 2019. Prediksi Kekuatan Beton Berdasarkan Parameter Design, Hammer Test dan Test UPV Dengan Menggunakan Artificial Neural Network (ANN). *Journal of Civil Engineering*. Vol. 34, No. 1, Mei: 45-60.

- Rahmayanti, N. 2018. Pengaruh Penggunaan Limbah Abu Sekam Padi dan Viscocrete 1003 Terhadap Kualitas Beton Normal Dengan UPV Test. *Teras Jurnal*. Vol. 8, No. 2, September.
- Ridlo, M. R., Hardawati, A., Jamal, A. U., dan Suharyatma. 2023. Penggunaan Artificial Neural Network (ANN) untuk Memprediksi Nilai Demand Capacity Ratio (DCR) pada Struktur Atas Jembatan Rangka Bina Marga Kelas A Bentang 45 Meter. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*. Vol. 3, No. 1, Juli: 31.
- Sari, S.N., Pratama, B.G., dan Prastowo, R. 2024. *Artificial Neural Network: Identifikasi Bangunan Daerah Rawan Longsor*. Penerbit Adab. Jakarta.
- Sembiring, M.A. 2024. Analisis Faktor Prediksi Diagnosa Tingkat Serangan Jantung Menggunakan Metode Regression. *Jurnal Teknisi (Jurnal Teknologi Komputer dan Sistem Informasi)*. Vol. 4 No. 1:16-22.
- Siang, J.J. 2004. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya menggunakan MATLAB*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Sihombing, P.R., Suryadiningrat, D.A., Sunarjo, Y., dan Yuda, Y.P.A.C. 2022. Identifikasi Data Outlier (Pencilan) dan Kenormalan Data Pada Data Univariat serta Alternatif Penyelesaiannya. *Jurnal Ekonomi dan Statistik Indonesia*. Vol. 2 No. 3:307-316.
- SNI 03-1974. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2834. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-6861.1. 2002. *Spesifikasi Bahan Bangunan - Bagian A: Bahan Bangunan Bukan Logam*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-2049. 2004. *Semen portland*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Jilid 1 untuk SMK*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Suprijadi, Y., dan Zulhanif. 2009. Perbandingan Mekanisme Data Hilang pada Model Normal. *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika FMIPA UNY*.
- Thomas, M.D.A. 2007. *Optimizing the Use of Fly ash in Concrete*. Portland Cement Association. Skokie, IL, USA.

- Thohari, P.P. 2024. Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Gypsum Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo. 2007. *Teknologi Beton*. Biro penerbit. Yogyakarta.
- Vercellis, C. 2009. *Business Intelligence: Data Mining and Optimization for Decision Making*. John Wiley & Sons.
- Václavík, V., Dirner, V., Dvorský, T., & Daxner, J. 2012. The Use of Blast Furnace Slag. *Metalurgija*. Vol. 51, No.4: 461-464.
- Whendasmoro, R.G., dan Joseph. 2022. Analisis Penerapan Normalisasi Data dengan Menggunakan Z-Score pada Kinerja Algoritma K-NN. *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*. Vol. 9, No. 4:872-876.
- Wicaksono, W.W.M. 2023. Pengaruh Penggantian Agregat Halus Dengan Debu Batu dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Kemudahan Kerja, Serapan, dan Kuat Tekan Beton. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Yeh, I. 1998. *Concrete Compressive Strength [Dataset]*. UCI Machine Learning Repository.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Dataset yang digunakan dalam penelitian

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
1	540.0	0.0	0.0	162.0	2.5	1040.0	676.0	28	79.99
2	540.0	0.0	0.0	162.0	2.5	1055.0	676.0	28	61.89
3	332.5	142.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	270	40.27
4	332.5	142.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	365	41.05
5	198.6	132.4	0.0	192.0	0.0	978.4	825.5	360	44.30
6	266.0	114.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	90	47.03
7	380.0	95.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	365	43.70
8	380.0	95.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	28	36.45
9	266.0	114.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	28	45.85
10	475.0	0.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	28	39.29
11	198.6	132.4	0.0	192.0	0.0	978.4	825.5	90	38.07
12	198.6	132.4	0.0	192.0	0.0	978.4	825.5	28	28.02
13	427.5	47.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	270	43.01
14	190.0	190.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	90	42.33
15	304.0	76.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	28	47.81
16	380.0	0.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	90	52.91
17	139.6	209.4	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.9	90	39.36
18	342.0	38.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	365	56.14
19	380.0	95.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	90	40.56
20	475.0	0.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	180	42.62
21	427.5	47.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	180	41.84
22	139.6	209.4	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.9	28	28.24
23	139.6	209.4	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.9	3	8.06
24	139.6	209.4	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.9	180	44.21
25	380.0	0.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	365	52.52
26	380.0	0.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	270	53.30
27	380.0	95.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	270	41.15
28	342.0	38.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	180	52.12
29	427.5	47.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	28	37.43
30	475.0	0.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	7	38.60
31	304.0	76.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	365	55.26
32	266.0	114.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	365	52.91
33	198.6	132.4	0.0	192.0	0.0	978.4	825.5	180	41.72
34	475.0	0.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	270	42.13
35	190.0	190.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	365	53.69
36	237.5	237.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	270	38.41

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
37	237.5	237.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	28	30.08
38	332.5	142.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	90	37.72
39	475.0	0.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	90	42.23
40	237.5	237.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	180	36.25
41	342.0	38.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	90	50.46
42	427.5	47.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	365	43.70
43	237.5	237.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	365	39.00
44	380.0	0.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	180	53.10
45	427.5	47.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	90	41.54
46	427.5	47.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	7	35.08
47	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.9	3	15.05
48	380.0	95.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	180	40.76
49	237.5	237.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	7	26.26
50	380.0	95.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	7	32.82
51	332.5	142.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	180	39.78
52	190.0	190.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	180	46.93
53	237.5	237.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	90	33.12
54	304.0	76.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	90	49.19
55	139.6	209.4	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.9	7	14.59
56	198.6	132.4	0.0	192.0	0.0	978.4	825.5	7	14.64
57	475.0	0.0	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	365	41.93
58	198.6	132.4	0.0	192.0	0.0	978.4	825.5	3	9.13
59	304.0	76.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	180	50.95
60	332.5	142.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	28	33.02
61	304.0	76.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	270	54.38
62	266.0	114.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	270	51.73
63	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	971.0	850.6	3	9.87
64	190.0	190.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	270	50.66
65	266.0	114.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	180	48.70
66	342.0	38.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	270	55.06
67	139.6	209.4	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.9	360	44.70
68	332.5	142.5	0.0	228.0	0.0	932.0	594.0	7	30.28
69	190.0	190.0	0.0	228.0	0.0	932.0	670.0	28	40.86
70	485.0	0.0	0.0	146.0	0.0	1120.0	800.0	28	71.99
71	374.0	189.2	0.0	170.1	10.1	926.1	756.7	3	34.40
72	313.3	262.2	0.0	175.5	8.6	1046.9	611.8	3	28.80
73	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	3	33.40
74	425.0	106.3	0.0	151.4	18.6	936.0	803.7	3	36.30

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
75	375.0	93.8	0.0	126.6	23.4	852.1	992.6	3	29.00
76	475.0	118.8	0.0	181.1	8.9	852.1	781.5	3	37.80
77	469.0	117.2	0.0	137.8	32.2	852.1	840.5	3	40.20
78	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	3	33.40
79	388.6	97.1	0.0	157.9	12.1	852.1	925.7	3	28.10
80	531.3	0.0	0.0	141.8	28.2	852.1	893.7	3	41.30
81	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	3	33.40
82	318.8	212.5	0.0	155.7	14.3	852.1	880.4	3	25.20
83	401.8	94.7	0.0	147.4	11.4	946.8	852.1	3	41.10
84	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	3	35.30
85	323.7	282.8	0.0	183.8	10.3	942.7	659.9	3	28.30
86	379.5	151.2	0.0	153.9	15.9	1134.3	605.0	3	28.60
87	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	3	35.30
88	286.3	200.9	0.0	144.7	11.2	1004.6	803.7	3	24.40
89	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	3	35.30
90	439.0	177.0	0.0	186.0	11.1	884.9	707.9	3	39.30
91	389.9	189.0	0.0	145.9	22.0	944.7	755.8	3	40.60
92	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	3	35.30
93	337.9	189.0	0.0	174.9	9.5	944.7	755.8	3	24.10
94	374.0	189.2	0.0	170.1	10.1	926.1	756.7	7	46.20
95	313.3	262.2	0.0	175.5	8.6	1046.9	611.8	7	42.80
96	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	7	49.20
97	425.0	106.3	0.0	151.4	18.6	936.0	803.7	7	46.80
98	375.0	93.8	0.0	126.6	23.4	852.1	992.6	7	45.70
99	475.0	118.8	0.0	181.1	8.9	852.1	781.5	7	55.60
100	469.0	117.2	0.0	137.8	32.2	852.1	840.5	7	54.90
101	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	7	49.20
102	388.6	97.1	0.0	157.9	12.1	852.1	925.7	7	34.90
103	531.3	0.0	0.0	141.8	28.2	852.1	893.7	7	46.90
104	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	7	49.20
105	318.8	212.5	0.0	155.7	14.3	852.1	880.4	7	33.40
106	401.8	94.7	0.0	147.4	11.4	946.8	852.1	7	54.10
107	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	7	55.90
108	323.7	282.8	0.0	183.8	10.3	942.7	659.9	7	49.80
109	379.5	151.2	0.0	153.9	15.9	1134.3	605.0	7	47.10
110	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	7	55.90
111	286.3	200.9	0.0	144.7	11.2	1004.6	803.7	7	38.00
112	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	7	55.90

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
113	439.0	177.0	0.0	186.0	11.1	884.9	707.9	7	56.10
114	389.9	189.0	0.0	145.9	22.0	944.7	755.8	7	59.09
115	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	7	22.90
116	337.9	189.0	0.0	174.9	9.5	944.7	755.8	7	35.10
117	374.0	189.2	0.0	170.1	10.1	926.1	756.7	28	61.09
118	313.3	262.2	0.0	175.5	8.6	1046.9	611.8	28	59.80
119	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	28	60.29
120	425.0	106.3	0.0	151.4	18.6	936.0	803.7	28	61.80
121	375.0	93.8	0.0	126.6	23.4	852.1	992.6	28	56.70
122	475.0	118.8	0.0	181.1	8.9	852.1	781.5	28	68.30
123	469.0	117.2	0.0	137.8	32.2	852.1	840.5	28	66.90
124	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	28	60.29
125	388.6	97.1	0.0	157.9	12.1	852.1	925.7	28	50.70
126	531.3	0.0	0.0	141.8	28.2	852.1	893.7	28	56.40
127	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	28	60.29
128	318.8	212.5	0.0	155.7	14.3	852.1	880.4	28	55.50
129	401.8	94.7	0.0	147.4	11.4	946.8	852.1	28	68.50
130	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	28	71.30
131	323.7	282.8	0.0	183.8	10.3	942.7	659.9	28	74.70
132	379.5	151.2	0.0	153.9	15.9	1134.3	605.0	28	52.20
133	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	28	71.30
134	286.3	200.9	0.0	144.7	11.2	1004.6	803.7	28	67.70
135	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	28	71.30
136	439.0	177.0	0.0	186.0	11.1	884.9	707.9	28	66.00
137	389.9	189.0	0.0	145.9	22.0	944.7	755.8	28	74.50
138	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	28	71.30
139	337.9	189.0	0.0	174.9	9.5	944.7	755.8	28	49.90
140	374.0	189.2	0.0	170.1	10.1	926.1	756.7	56	63.40
141	313.3	262.2	0.0	175.5	8.6	1046.9	611.8	56	64.90
142	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	56	64.30
143	425.0	106.3	0.0	151.4	18.6	936.0	803.7	56	64.90
144	375.0	93.8	0.0	126.6	23.4	852.1	992.6	56	60.20
145	475.0	118.8	0.0	181.1	8.9	852.1	781.5	56	72.30
146	469.0	117.2	0.0	137.8	32.2	852.1	840.5	56	69.30
147	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	56	64.30
148	388.6	97.1	0.0	157.9	12.1	852.1	925.7	56	55.20
149	531.3	0.0	0.0	141.8	28.2	852.1	893.7	56	58.80
150	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	56	64.30

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
151	318.8	212.5	0.0	155.7	14.3	852.1	880.4	56	66.10
152	401.8	94.7	0.0	147.4	11.4	946.8	852.1	56	73.70
153	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	56	77.30
154	323.7	282.8	0.0	183.8	10.3	942.7	659.9	56	80.20
155	379.5	151.2	0.0	153.9	15.9	1134.3	605.0	56	54.90
156	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	56	77.30
157	286.3	200.9	0.0	144.7	11.2	1004.6	803.7	56	72.99
158	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	56	77.30
159	439.0	177.0	0.0	186.0	11.1	884.9	707.9	56	71.70
160	389.9	189.0	0.0	145.9	22.0	944.7	755.8	56	79.40
161	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	56	77.30
162	337.9	189.0	0.0	174.9	9.5	944.7	755.8	56	59.89
163	374.0	189.2	0.0	170.1	10.1	926.1	756.7	91	64.90
164	313.3	262.2	0.0	175.5	8.6	1046.9	611.8	91	66.60
165	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	91	65.20
166	425.0	106.3	0.0	151.4	18.6	936.0	803.7	91	66.70
167	375.0	93.8	0.0	126.6	23.4	852.1	992.6	91	62.50
168	475.0	118.8	0.0	181.1	8.9	852.1	781.5	91	74.19
169	469.0	117.2	0.0	137.8	32.2	852.1	840.5	91	70.70
170	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	91	65.20
171	388.6	97.1	0.0	157.9	12.1	852.1	925.7	91	57.60
172	531.3	0.0	0.0	141.8	28.2	852.1	893.7	91	59.20
173	425.0	106.3	0.0	153.5	16.5	852.1	887.1	91	65.20
174	318.8	212.5	0.0	155.7	14.3	852.1	880.4	91	68.10
175	401.8	94.7	0.0	147.4	11.4	946.8	852.1	91	75.50
176	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	91	79.30
177	379.5	151.2	0.0	153.9	15.9	1134.3	605.0	91	56.50
178	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	91	79.30
179	286.3	200.9	0.0	144.7	11.2	1004.6	803.7	91	76.80
180	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	91	79.30
181	439.0	177.0	0.0	186.0	11.1	884.9	707.9	91	73.30
182	389.9	189.0	0.0	145.9	22.0	944.7	755.8	91	82.60
183	362.6	189.0	0.0	164.9	11.6	944.7	755.8	91	79.30
184	337.9	189.0	0.0	174.9	9.5	944.7	755.8	91	67.80
185	222.4	0.0	96.7	189.3	4.5	967.1	870.3	3	11.58
186	222.4	0.0	96.7	189.3	4.5	967.1	870.3	14	24.45
187	222.4	0.0	96.7	189.3	4.5	967.1	870.3	28	24.89
188	222.4	0.0	96.7	189.3	4.5	967.1	870.3	56	29.45

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
189	222.4	0.0	96.7	189.3	4.5	967.1	870.3	100	40.71
190	233.8	0.0	94.6	197.9	4.6	947.0	852.2	3	10.38
191	233.8	0.0	94.6	197.9	4.6	947.0	852.2	14	22.14
192	233.8	0.0	94.6	197.9	4.6	947.0	852.2	28	22.84
193	233.8	0.0	94.6	197.9	4.6	947.0	852.2	56	27.66
194	233.8	0.0	94.6	197.9	4.6	947.0	852.2	100	34.56
195	194.7	0.0	100.5	165.6	7.5	1006.4	905.9	3	12.45
196	194.7	0.0	100.5	165.6	7.5	1006.4	905.9	14	24.99
197	194.7	0.0	100.5	165.6	7.5	1006.4	905.9	28	25.72
198	194.7	0.0	100.5	165.6	7.5	1006.4	905.9	56	33.96
199	194.7	0.0	100.5	165.6	7.5	1006.4	905.9	100	37.34
200	190.7	0.0	125.4	162.1	7.8	1090.0	804.0	3	15.04
201	190.7	0.0	125.4	162.1	7.8	1090.0	804.0	14	21.06
202	190.7	0.0	125.4	162.1	7.8	1090.0	804.0	28	26.40
203	190.7	0.0	125.4	162.1	7.8	1090.0	804.0	56	35.34
204	190.7	0.0	125.4	162.1	7.8	1090.0	804.0	100	40.57
205	212.1	0.0	121.6	180.3	5.7	1057.6	779.3	3	12.47
206	212.1	0.0	121.6	180.3	5.7	1057.6	779.3	14	20.92
207	212.1	0.0	121.6	180.3	5.7	1057.6	779.3	28	24.90
208	212.1	0.0	121.6	180.3	5.7	1057.6	779.3	56	34.20
209	212.1	0.0	121.6	180.3	5.7	1057.6	779.3	100	39.61
210	230.0	0.0	118.3	195.5	4.6	1029.4	758.6	3	10.03
211	230.0	0.0	118.3	195.5	4.6	1029.4	758.6	14	20.08
212	230.0	0.0	118.3	195.5	4.6	1029.4	758.6	28	24.48
213	230.0	0.0	118.3	195.5	4.6	1029.4	758.6	56	31.54
214	230.0	0.0	118.3	195.5	4.6	1029.4	758.6	100	35.34
215	190.3	0.0	125.2	161.9	9.9	1088.1	802.6	3	9.45
216	190.3	0.0	125.2	161.9	9.9	1088.1	802.6	14	22.72
217	190.3	0.0	125.2	161.9	9.9	1088.1	802.6	28	28.47
218	190.3	0.0	125.2	161.9	9.9	1088.1	802.6	56	38.56
219	190.3	0.0	125.2	161.9	9.9	1088.1	802.6	100	40.39
220	166.1	0.0	163.3	176.5	4.5	1058.6	780.1	3	10.76
221	166.1	0.0	163.3	176.5	4.5	1058.6	780.1	14	25.48
222	166.1	0.0	163.3	176.5	4.5	1058.6	780.1	28	21.54
223	166.1	0.0	163.3	176.5	4.5	1058.6	780.1	56	28.63
224	166.1	0.0	163.3	176.5	4.5	1058.6	780.1	100	33.54
225	168.0	42.1	163.8	121.8	5.7	1058.7	780.1	3	7.75
226	168.0	42.1	163.8	121.8	5.7	1058.7	780.1	14	17.82

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
227	168.0	42.1	163.8	121.8	5.7	1058.7	780.1	28	24.24
228	168.0	42.1	163.8	121.8	5.7	1058.7	780.1	56	32.85
229	168.0	42.1	163.8	121.8	5.7	1058.7	780.1	100	39.23
230	213.7	98.1	24.5	181.7	6.9	1065.8	785.4	3	18.00
231	213.7	98.1	24.5	181.7	6.9	1065.8	785.4	14	30.39
232	213.7	98.1	24.5	181.7	6.9	1065.8	785.4	28	45.71
233	213.7	98.1	24.5	181.7	6.9	1065.8	785.4	56	50.77
234	213.7	98.1	24.5	181.7	6.9	1065.8	785.4	100	53.90
235	213.8	98.1	24.5	181.7	6.7	1066.0	785.5	3	13.18
236	213.8	98.1	24.5	181.7	6.7	1066.0	785.5	14	17.84
237	213.8	98.1	24.5	181.7	6.7	1066.0	785.5	28	40.23
238	213.8	98.1	24.5	181.7	6.7	1066.0	785.5	56	47.13
239	213.8	98.1	24.5	181.7	6.7	1066.0	785.5	100	49.97
240	229.7	0.0	118.2	195.2	6.1	1028.1	757.6	3	13.36
241	229.7	0.0	118.2	195.2	6.1	1028.1	757.6	14	22.32
242	229.7	0.0	118.2	195.2	6.1	1028.1	757.6	28	24.54
243	229.7	0.0	118.2	195.2	6.1	1028.1	757.6	56	31.35
244	229.7	0.0	118.2	195.2	6.1	1028.1	757.6	100	40.86
245	238.1	0.0	94.1	186.7	7.0	949.9	847.0	3	19.93
246	238.1	0.0	94.1	186.7	7.0	949.9	847.0	14	25.69
247	238.1	0.0	94.1	186.7	7.0	949.9	847.0	28	30.23
248	238.1	0.0	94.1	186.7	7.0	949.9	847.0	56	39.59
249	238.1	0.0	94.1	186.7	7.0	949.9	847.0	100	44.30
250	250.0	0.0	95.7	187.4	5.5	956.9	861.2	3	13.82
251	250.0	0.0	95.7	187.4	5.5	956.9	861.2	14	24.92
252	250.0	0.0	95.7	187.4	5.5	956.9	861.2	28	29.22
253	250.0	0.0	95.7	187.4	5.5	956.9	861.2	56	38.33
254	250.0	0.0	95.7	187.4	5.5	956.9	861.2	100	42.35
255	212.5	0.0	100.4	159.3	8.7	1007.8	903.6	3	13.54
256	212.5	0.0	100.4	159.3	8.7	1007.8	903.6	14	26.31
257	212.5	0.0	100.4	159.3	8.7	1007.8	903.6	28	31.64
258	212.5	0.0	100.4	159.3	8.7	1007.8	903.6	56	42.55
259	212.5	0.0	100.4	159.3	8.7	1007.8	903.6	100	42.92
260	212.6	0.0	100.4	159.4	10.4	1003.8	903.8	3	13.33
261	212.6	0.0	100.4	159.4	10.4	1003.8	903.8	14	25.37
262	212.6	0.0	100.4	159.4	10.4	1003.8	903.8	28	37.40
263	212.6	0.0	100.4	159.4	10.4	1003.8	903.8	56	44.40
264	212.6	0.0	100.4	159.4	10.4	1003.8	903.8	100	47.74

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
265	212.0	0.0	124.8	159.0	7.8	1085.4	799.5	3	19.52
266	212.0	0.0	124.8	159.0	7.8	1085.4	799.5	14	31.35
267	212.0	0.0	124.8	159.0	7.8	1085.4	799.5	28	38.50
268	212.0	0.0	124.8	159.0	7.8	1085.4	799.5	56	45.08
269	212.0	0.0	124.8	159.0	7.8	1085.4	799.5	100	47.82
270	231.8	0.0	121.6	174.0	6.7	1056.4	778.5	3	15.44
271	231.8	0.0	121.6	174.0	6.7	1056.4	778.5	14	26.77
272	231.8	0.0	121.6	174.0	6.7	1056.4	778.5	28	33.73
273	231.8	0.0	121.6	174.0	6.7	1056.4	778.5	56	42.70
274	231.8	0.0	121.6	174.0	6.7	1056.4	778.5	100	45.84
275	251.4	0.0	118.3	188.5	5.8	1028.4	757.7	3	17.22
276	251.4	0.0	118.3	188.5	5.8	1028.4	757.7	14	29.93
277	251.4	0.0	118.3	188.5	5.8	1028.4	757.7	28	29.65
278	251.4	0.0	118.3	188.5	5.8	1028.4	757.7	56	36.97
279	251.4	0.0	118.3	188.5	5.8	1028.4	757.7	100	43.58
280	251.4	0.0	118.3	188.5	6.4	1028.4	757.7	3	13.12
281	251.4	0.0	118.3	188.5	6.4	1028.4	757.7	14	24.43
282	251.4	0.0	118.3	188.5	6.4	1028.4	757.7	28	32.66
283	251.4	0.0	118.3	188.5	6.4	1028.4	757.7	56	36.64
284	251.4	0.0	118.3	188.5	6.4	1028.4	757.7	100	44.21
285	181.4	0.0	167.0	169.6	7.6	1055.6	777.8	3	13.62
286	181.4	0.0	167.0	169.6	7.6	1055.6	777.8	14	21.60
287	181.4	0.0	167.0	169.6	7.6	1055.6	777.8	28	27.77
288	181.4	0.0	167.0	169.6	7.6	1055.6	777.8	56	35.57
289	181.4	0.0	167.0	169.6	7.6	1055.6	777.8	100	45.37
290	182.0	45.2	122.0	170.2	8.2	1059.4	780.7	3	7.32
291	182.0	45.2	122.0	170.2	8.2	1059.4	780.7	14	21.50
292	182.0	45.2	122.0	170.2	8.2	1059.4	780.7	28	31.27
293	182.0	45.2	122.0	170.2	8.2	1059.4	780.7	56	43.50
294	182.0	45.2	122.0	170.2	8.2	1059.4	780.7	100	48.67
295	168.9	42.2	124.3	158.3	10.8	1080.8	796.2	3	7.40
296	168.9	42.2	124.3	158.3	10.8	1080.8	796.2	14	23.51
297	168.9	42.2	124.3	158.3	10.8	1080.8	796.2	28	31.12
298	168.9	42.2	124.3	158.3	10.8	1080.8	796.2	56	39.15
299	168.9	42.2	124.3	158.3	10.8	1080.8	796.2	100	48.15
300	290.4	0.0	96.2	168.1	9.4	961.2	865.0	3	22.50
301	290.4	0.0	96.2	168.1	9.4	961.2	865.0	14	34.67
302	290.4	0.0	96.2	168.1	9.4	961.2	865.0	28	34.74

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
303	290.4	0.0	96.2	168.1	9.4	961.2	865.0	56	45.08
304	290.4	0.0	96.2	168.1	9.4	961.2	865.0	100	48.97
305	277.1	0.0	97.4	160.6	11.8	973.9	875.6	3	23.14
306	277.1	0.0	97.4	160.6	11.8	973.9	875.6	14	41.89
307	277.1	0.0	97.4	160.6	11.8	973.9	875.6	28	48.28
308	277.1	0.0	97.4	160.6	11.8	973.9	875.6	56	51.04
309	277.1	0.0	97.4	160.6	11.8	973.9	875.6	100	55.64
310	295.7	0.0	95.6	171.5	8.9	955.1	859.2	3	22.95
311	295.7	0.0	95.6	171.5	8.9	955.1	859.2	14	35.23
312	295.7	0.0	95.6	171.5	8.9	955.1	859.2	28	39.94
313	295.7	0.0	95.6	171.5	8.9	955.1	859.2	56	48.72
314	295.7	0.0	95.6	171.5	8.9	955.1	859.2	100	52.04
315	251.8	0.0	99.9	146.1	12.4	1006.0	899.8	3	21.02
316	251.8	0.0	99.9	146.1	12.4	1006.0	899.8	14	33.36
317	251.8	0.0	99.9	146.1	12.4	1006.0	899.8	28	33.94
318	251.8	0.0	99.9	146.1	12.4	1006.0	899.8	56	44.14
319	251.8	0.0	99.9	146.1	12.4	1006.0	899.8	100	45.37
320	249.1	0.0	98.8	158.1	12.8	987.8	889.0	3	15.36
321	249.1	0.0	98.8	158.1	12.8	987.8	889.0	14	28.68
322	249.1	0.0	98.8	158.1	12.8	987.8	889.0	28	30.85
323	249.1	0.0	98.8	158.1	12.8	987.8	889.0	56	42.03
324	249.1	0.0	98.8	158.1	12.8	987.8	889.0	100	51.06
325	252.3	0.0	98.8	146.3	14.2	987.8	889.0	3	21.78
326	252.3	0.0	98.8	146.3	14.2	987.8	889.0	14	42.29
327	252.3	0.0	98.8	146.3	14.2	987.8	889.0	28	50.60
328	252.3	0.0	98.8	146.3	14.2	987.8	889.0	56	55.83
329	252.3	0.0	98.8	146.3	14.2	987.8	889.0	100	60.95
330	246.8	0.0	125.1	143.3	12.0	1086.8	800.9	3	23.52
331	246.8	0.0	125.1	143.3	12.0	1086.8	800.9	14	42.22
332	246.8	0.0	125.1	143.3	12.0	1086.8	800.9	28	52.50
333	246.8	0.0	125.1	143.3	12.0	1086.8	800.9	56	60.32
334	246.8	0.0	125.1	143.3	12.0	1086.8	800.9	100	66.42
335	275.1	0.0	121.4	159.5	9.9	1053.6	777.5	3	23.80
336	275.1	0.0	121.4	159.5	9.9	1053.6	777.5	14	38.77
337	275.1	0.0	121.4	159.5	9.9	1053.6	777.5	28	51.33
338	275.1	0.0	121.4	159.5	9.9	1053.6	777.5	56	56.85
339	275.1	0.0	121.4	159.5	9.9	1053.6	777.5	100	58.61
340	297.2	0.0	117.5	174.8	9.5	1022.8	753.5	3	21.91

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
341	297.2	0.0	117.5	174.8	9.5	1022.8	753.5	14	36.99
342	297.2	0.0	117.5	174.8	9.5	1022.8	753.5	28	47.40
343	297.2	0.0	117.5	174.8	9.5	1022.8	753.5	56	51.96
344	297.2	0.0	117.5	174.8	9.5	1022.8	753.5	100	56.74
345	213.7	0.0	174.7	154.8	10.2	1053.5	776.4	3	17.57
346	213.7	0.0	174.7	154.8	10.2	1053.5	776.4	14	33.73
347	213.7	0.0	174.7	154.8	10.2	1053.5	776.4	28	40.15
348	213.7	0.0	174.7	154.8	10.2	1053.5	776.4	56	46.64
349	213.7	0.0	174.7	154.8	10.2	1053.5	776.4	100	50.08
350	213.5	0.0	174.2	154.6	11.7	1052.3	775.5	3	17.37
351	213.5	0.0	174.2	154.6	11.7	1052.3	775.5	14	33.70
352	213.5	0.0	174.2	154.6	11.7	1052.3	775.5	28	45.94
353	213.5	0.0	174.2	154.6	11.7	1052.3	775.5	56	51.43
354	213.5	0.0	174.2	154.6	11.7	1052.3	775.5	100	59.30
355	277.2	97.8	24.5	160.7	11.2	1061.7	782.5	3	30.45
356	277.2	97.8	24.5	160.7	11.2	1061.7	782.5	14	47.71
357	277.2	97.8	24.5	160.7	11.2	1061.7	782.5	28	63.14
358	277.2	97.8	24.5	160.7	11.2	1061.7	782.5	56	66.82
359	277.2	97.8	24.5	160.7	11.2	1061.7	782.5	100	66.95
360	218.2	54.6	123.8	140.8	11.9	1075.7	792.7	3	27.42
361	218.2	54.6	123.8	140.8	11.9	1075.7	792.7	14	35.96
362	218.2	54.6	123.8	140.8	11.9	1075.7	792.7	28	55.51
363	218.2	54.6	123.8	140.8	11.9	1075.7	792.7	56	61.99
364	218.2	54.6	123.8	140.8	11.9	1075.7	792.7	100	63.53
365	214.9	53.8	121.9	155.6	9.6	1014.3	780.6	3	18.02
366	214.9	53.8	121.9	155.6	9.6	1014.3	780.6	14	38.60
367	214.9	53.8	121.9	155.6	9.6	1014.3	780.6	28	52.20
368	214.9	53.8	121.9	155.6	9.6	1014.3	780.6	56	53.96
369	214.9	53.8	121.9	155.6	9.6	1014.3	780.6	100	56.63
370	218.9	0.0	124.1	158.5	11.3	1078.7	794.9	3	15.34
371	218.9	0.0	124.1	158.5	11.3	1078.7	794.9	14	26.05
372	218.9	0.0	124.1	158.5	11.3	1078.7	794.9	28	30.22
373	218.9	0.0	124.1	158.5	11.3	1078.7	794.9	56	37.27
374	218.9	0.0	124.1	158.5	11.3	1078.7	794.9	100	46.23
375	376.0	0.0	0.0	214.6	0.0	1003.5	762.4	3	16.28
376	376.0	0.0	0.0	214.6	0.0	1003.5	762.4	14	25.62
377	376.0	0.0	0.0	214.6	0.0	1003.5	762.4	28	31.97
378	376.0	0.0	0.0	214.6	0.0	1003.5	762.4	56	36.30

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
379	376.0	0.0	0.0	214.6	0.0	1003.5	762.4	100	43.06
380	500.0	0.0	0.0	140.0	4.0	966.0	853.0	28	67.57
381	475.0	0.0	59.0	142.0	1.9	1098.0	641.0	28	57.23
382	315.0	137.0	0.0	145.0	5.9	1130.0	745.0	28	81.75
383	505.0	0.0	60.0	195.0	0.0	1030.0	630.0	28	64.02
384	451.0	0.0	0.0	165.0	11.3	1030.0	745.0	28	78.80
385	516.0	0.0	0.0	162.0	8.2	801.0	802.0	28	41.37
386	520.0	0.0	0.0	170.0	5.2	855.0	855.0	28	60.28
387	528.0	0.0	0.0	185.0	6.9	920.0	720.0	28	56.83
388	520.0	0.0	0.0	175.0	5.2	870.0	805.0	28	51.02
389	385.0	0.0	136.0	158.0	20.0	903.0	768.0	28	55.55
390	500.1	0.0	0.0	200.0	3.0	1124.4	613.2	28	44.13
391	450.1	50.0	0.0	200.0	3.0	1124.4	613.2	28	39.38
392	397.0	17.2	158.0	167.0	20.8	967.0	633.0	28	55.65
393	333.0	17.5	163.0	167.0	17.9	996.0	652.0	28	47.28
394	334.0	17.6	158.0	189.0	15.3	967.0	633.0	28	44.33
395	405.0	0.0	0.0	175.0	0.0	1120.0	695.0	28	52.30
396	200.0	200.0	0.0	190.0	0.0	1145.0	660.0	28	49.25
397	516.0	0.0	0.0	162.0	8.3	801.0	802.0	28	41.37
398	145.0	116.0	119.0	184.0	5.7	833.0	880.0	28	29.16
399	160.0	128.0	122.0	182.0	6.4	824.0	879.0	28	39.40
400	234.0	156.0	0.0	189.0	5.9	981.0	760.0	28	39.30
401	250.0	180.0	95.0	159.0	9.5	860.0	800.0	28	67.87
402	475.0	0.0	0.0	162.0	9.5	1044.0	662.0	28	58.52
403	285.0	190.0	0.0	163.0	7.6	1031.0	685.0	28	53.58
404	356.0	119.0	0.0	160.0	9.0	1061.0	657.0	28	59.00
405	275.0	180.0	120.0	162.0	10.4	830.0	765.0	28	76.24
406	500.0	0.0	0.0	151.0	9.0	1033.0	655.0	28	69.84
407	165.0	0.0	143.6	163.8	0.0	1005.6	900.9	3	14.40
408	165.0	128.5	132.1	175.1	8.1	1005.8	746.6	3	19.42
409	178.0	129.8	118.6	179.9	3.6	1007.3	746.8	3	20.73
410	167.4	129.9	128.6	175.5	7.8	1006.3	746.6	3	14.94
411	172.4	13.6	172.4	156.8	4.1	1006.3	856.4	3	21.29
412	173.5	50.1	173.5	164.8	6.5	1006.2	793.5	3	23.08
413	167.0	75.4	167.0	164.0	7.9	1007.3	770.1	3	15.52
414	173.8	93.4	159.9	172.3	9.7	1007.2	746.6	3	15.82
415	190.3	0.0	125.2	166.6	9.9	1079.0	798.9	3	12.55
416	250.0	0.0	95.7	191.8	5.3	948.9	857.2	3	8.49

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
417	213.5	0.0	174.2	159.2	11.7	1043.6	771.9	3	15.61
418	194.7	0.0	100.5	170.2	7.5	998.0	901.8	3	12.18
419	251.4	0.0	118.3	192.9	5.8	1043.6	754.3	3	11.98
420	165.0	0.0	143.6	163.8	0.0	1005.6	900.9	14	16.88
421	165.0	128.5	132.1	175.1	8.1	1005.8	746.6	14	33.09
422	178.0	129.8	118.6	179.9	3.6	1007.3	746.8	14	34.24
423	167.4	129.9	128.6	175.5	7.8	1006.3	746.6	14	31.81
424	172.4	13.6	172.4	156.8	4.1	1006.3	856.4	14	29.75
425	173.5	50.1	173.5	164.8	6.5	1006.2	793.5	14	33.01
426	167.0	75.4	167.0	164.0	7.9	1007.3	770.1	14	32.90
427	173.8	93.4	159.9	172.3	9.7	1007.2	746.6	14	29.55
428	190.3	0.0	125.2	166.6	9.9	1079.0	798.9	14	19.42
429	250.0	0.0	95.7	191.8	5.3	948.9	857.2	14	24.66
430	213.5	0.0	174.2	159.2	11.7	1043.6	771.9	14	29.59
431	194.7	0.0	100.5	170.2	7.5	998.0	901.8	14	24.28
432	251.4	0.0	118.3	192.9	5.8	1043.6	754.3	14	20.73
433	165.0	0.0	143.6	163.8	0.0	1005.6	900.9	28	26.20
434	165.0	128.5	132.1	175.1	8.1	1005.8	746.6	28	46.39
435	178.0	129.8	118.6	179.9	3.6	1007.3	746.8	28	39.16
436	167.4	129.9	128.6	175.5	7.8	1006.3	746.6	28	41.20
437	172.4	13.6	172.4	156.8	4.1	1006.3	856.4	28	33.69
438	173.5	50.1	173.5	164.8	6.5	1006.2	793.5	28	38.20
439	167.0	75.4	167.0	164.0	7.9	1007.3	770.1	28	41.41
440	173.8	93.4	159.9	172.3	9.7	1007.2	746.6	28	37.81
441	190.3	0.0	125.2	166.6	9.9	1079.0	798.9	28	24.85
442	250.0	0.0	95.7	191.8	5.3	948.9	857.2	28	27.22
443	213.5	0.0	174.2	159.2	11.7	1043.6	771.9	28	44.64
444	194.7	0.0	100.5	170.2	7.5	998.0	901.8	28	37.27
445	251.4	0.0	118.3	192.9	5.8	1043.6	754.3	28	33.27
446	165.0	0.0	143.6	163.8	0.0	1005.6	900.9	56	36.56
447	165.0	128.5	132.1	175.1	8.1	1005.8	746.6	56	53.72
448	178.0	129.8	118.6	179.9	3.6	1007.3	746.8	56	48.59
449	167.4	129.9	128.6	175.5	7.8	1006.3	746.6	56	51.72
450	172.4	13.6	172.4	156.8	4.1	1006.3	856.4	56	35.85
451	173.5	50.1	173.5	164.8	6.5	1006.2	793.5	56	53.77
452	167.0	75.4	167.0	164.0	7.9	1007.3	770.1	56	53.46
453	173.8	93.4	159.9	172.3	9.7	1007.2	746.6	56	48.99
454	190.3	0.0	125.2	166.6	9.9	1079.0	798.9	56	31.72

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
455	250.0	0.0	95.7	191.8	5.3	948.9	857.2	56	39.64
456	213.5	0.0	174.2	159.2	11.7	1043.6	771.9	56	51.26
457	194.7	0.0	100.5	170.2	7.5	998.0	901.8	56	43.39
458	251.4	0.0	118.3	192.9	5.8	1043.6	754.3	56	39.27
459	165.0	0.0	143.6	163.8	0.0	1005.6	900.9	100	37.96
460	165.0	128.5	132.1	175.1	8.1	1005.8	746.6	100	55.02
461	178.0	129.8	118.6	179.9	3.6	1007.3	746.8	100	49.99
462	167.4	129.9	128.6	175.5	7.8	1006.3	746.6	100	53.66
463	172.4	13.6	172.4	156.8	4.1	1006.3	856.4	100	37.68
464	173.5	50.1	173.5	164.8	6.5	1006.2	793.5	100	56.06
465	167.0	75.4	167.0	164.0	7.9	1007.3	770.1	100	56.81
466	173.8	93.4	159.9	172.3	9.7	1007.2	746.6	100	50.94
467	190.3	0.0	125.2	166.6	9.9	1079.0	798.9	100	33.56
468	250.0	0.0	95.7	191.8	5.3	948.9	857.2	100	41.16
469	213.5	0.0	174.2	159.2	11.7	1043.6	771.9	100	52.96
470	194.7	0.0	100.5	170.2	7.5	998.0	901.8	100	44.28
471	251.4	0.0	118.3	192.9	5.8	1043.6	754.3	100	40.15
472	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	28	57.03
473	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	28	44.42
474	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	28	51.02
475	446.0	24.0	79.0	162.0	10.3	967.0	712.0	28	53.39
476	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	3	35.36
477	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	3	25.02
478	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	3	23.35
479	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	7	52.01
480	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	7	38.02
481	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	7	39.30
482	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	56	61.07
483	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	56	56.14
484	446.0	24.0	79.0	162.0	11.6	967.0	712.0	56	55.25
485	446.0	24.0	79.0	162.0	10.3	967.0	712.0	56	54.77
486	387.0	20.0	94.0	157.0	14.3	938.0	845.0	28	50.24
487	387.0	20.0	94.0	157.0	13.9	938.0	845.0	28	46.68
488	387.0	20.0	94.0	157.0	11.6	938.0	845.0	28	46.68
489	387.0	20.0	94.0	157.0	14.3	938.0	845.0	3	22.75
490	387.0	20.0	94.0	157.0	13.9	938.0	845.0	3	25.51
491	387.0	20.0	94.0	157.0	11.6	938.0	845.0	3	34.77
492	387.0	20.0	94.0	157.0	14.3	938.0	845.0	7	36.84

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
493	387.0	20.0	94.0	157.0	13.9	938.0	845.0	7	45.90
494	387.0	20.0	94.0	157.0	11.6	938.0	845.0	7	41.67
495	387.0	20.0	94.0	157.0	14.3	938.0	845.0	56	56.34
496	387.0	20.0	94.0	157.0	13.9	938.0	845.0	56	47.97
497	387.0	20.0	94.0	157.0	11.6	938.0	845.0	56	61.46
498	355.0	19.0	97.0	145.0	13.1	967.0	871.0	28	44.03
499	355.0	19.0	97.0	145.0	12.3	967.0	871.0	28	55.45
500	491.0	26.0	123.0	210.0	3.9	882.0	699.0	28	55.55
501	491.0	26.0	123.0	201.0	3.9	822.0	699.0	28	57.92
502	491.0	26.0	123.0	210.0	3.9	882.0	699.0	3	25.61
503	491.0	26.0	123.0	210.0	3.9	882.0	699.0	7	33.49
504	491.0	26.0	123.0	210.0	3.9	882.0	699.0	56	59.59
505	491.0	26.0	123.0	201.0	3.9	822.0	699.0	3	29.55
506	491.0	26.0	123.0	201.0	3.9	822.0	699.0	7	37.92
507	491.0	26.0	123.0	201.0	3.9	822.0	699.0	56	61.86
508	424.0	22.0	132.0	178.0	8.5	822.0	750.0	28	62.05
509	424.0	22.0	132.0	178.0	8.5	882.0	750.0	3	32.01
510	424.0	22.0	132.0	168.0	8.9	822.0	750.0	28	72.10
511	424.0	22.0	132.0	178.0	8.5	822.0	750.0	7	39.00
512	424.0	22.0	132.0	178.0	8.5	822.0	750.0	56	65.70
513	424.0	22.0	132.0	168.0	8.9	822.0	750.0	3	32.11
514	424.0	22.0	132.0	168.0	8.9	822.0	750.0	7	40.29
515	424.0	22.0	132.0	168.0	8.9	822.0	750.0	56	74.36
516	202.0	11.0	141.0	206.0	1.7	942.0	801.0	28	21.97
517	202.0	11.0	141.0	206.0	1.7	942.0	801.0	3	9.85
518	202.0	11.0	141.0	206.0	1.7	942.0	801.0	7	15.07
519	202.0	11.0	141.0	206.0	1.7	942.0	801.0	56	23.25
520	284.0	15.0	141.0	179.0	5.5	842.0	801.0	28	43.73
521	284.0	15.0	141.0	179.0	5.5	842.0	801.0	3	13.40
522	284.0	15.0	141.0	179.0	5.5	842.0	801.0	7	24.13
523	284.0	15.0	141.0	179.0	5.5	842.0	801.0	56	44.52
524	359.0	19.0	141.0	154.0	10.9	942.0	801.0	28	62.94
525	359.0	19.0	141.0	154.0	10.9	942.0	801.0	28	59.49
526	359.0	19.0	141.0	154.0	10.9	942.0	801.0	3	25.12
527	359.0	19.0	141.0	154.0	10.9	942.0	801.0	3	23.64
528	359.0	19.0	141.0	154.0	10.9	942.0	801.0	7	35.75
529	359.0	19.0	141.0	154.0	10.9	942.0	801.0	7	38.61
530	359.0	19.0	141.0	154.0	10.9	942.0	801.0	56	68.75

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
531	359.0	19.0	141.0	154.0	10.9	942.0	801.0	56	66.78
532	436.0	0.0	0.0	218.0	0.0	838.4	719.7	28	23.85
533	289.0	0.0	0.0	192.0	0.0	913.2	895.3	90	32.07
534	289.0	0.0	0.0	192.0	0.0	913.2	895.3	3	11.65
535	393.0	0.0	0.0	192.0	0.0	940.6	785.6	3	19.20
536	393.0	0.0	0.0	192.0	0.0	940.6	785.6	90	48.85
537	393.0	0.0	0.0	192.0	0.0	940.6	785.6	28	39.60
538	480.0	0.0	0.0	192.0	0.0	936.2	712.2	28	43.94
539	480.0	0.0	0.0	192.0	0.0	936.2	712.2	7	34.57
540	480.0	0.0	0.0	192.0	0.0	936.2	712.2	90	54.32
541	480.0	0.0	0.0	192.0	0.0	936.2	712.2	3	24.40
542	333.0	0.0	0.0	192.0	0.0	931.2	842.6	3	15.62
543	255.0	0.0	0.0	192.0	0.0	889.8	945.0	90	21.86
544	255.0	0.0	0.0	192.0	0.0	889.8	945.0	7	10.22
545	289.0	0.0	0.0	192.0	0.0	913.2	895.3	7	14.60
546	255.0	0.0	0.0	192.0	0.0	889.8	945.0	28	18.75
547	333.0	0.0	0.0	192.0	0.0	931.2	842.6	28	31.97
548	333.0	0.0	0.0	192.0	0.0	931.2	842.6	7	23.40
549	289.0	0.0	0.0	192.0	0.0	913.2	895.3	28	25.57
550	333.0	0.0	0.0	192.0	0.0	931.2	842.6	90	41.68
551	393.0	0.0	0.0	192.0	0.0	940.6	785.6	7	27.74
552	255.0	0.0	0.0	192.0	0.0	889.8	945.0	3	8.20
553	158.8	238.2	0.0	185.7	0.0	1040.6	734.3	7	9.62
554	239.6	359.4	0.0	185.7	0.0	941.6	664.3	7	25.42
555	238.2	158.8	0.0	185.7	0.0	1040.6	734.3	7	15.69
556	181.9	272.8	0.0	185.7	0.0	1012.4	714.3	28	27.94
557	193.5	290.2	0.0	185.7	0.0	998.2	704.3	28	32.63
558	255.5	170.3	0.0	185.7	0.0	1026.6	724.3	7	17.24
559	272.8	181.9	0.0	185.7	0.0	1012.4	714.3	7	19.77
560	239.6	359.4	0.0	185.7	0.0	941.6	664.3	28	39.44
561	220.8	147.2	0.0	185.7	0.0	1055.0	744.3	28	25.75
562	397.0	0.0	0.0	185.7	0.0	1040.6	734.3	28	33.08
563	382.5	0.0	0.0	185.7	0.0	1047.8	739.3	7	24.07
564	210.7	316.1	0.0	185.7	0.0	977.0	689.3	7	21.82
565	158.8	238.2	0.0	185.7	0.0	1040.6	734.3	28	21.07
566	295.8	0.0	0.0	185.7	0.0	1091.4	769.3	7	14.84
567	255.5	170.3	0.0	185.7	0.0	1026.6	724.3	28	32.05
568	203.5	135.7	0.0	185.7	0.0	1076.2	759.3	7	11.96

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
569	397.0	0.0	0.0	185.7	0.0	1040.6	734.3	7	25.45
570	381.4	0.0	0.0	185.7	0.0	1104.6	784.3	28	22.49
571	295.8	0.0	0.0	185.7	0.0	1091.4	769.3	28	25.22
572	228.0	342.1	0.0	185.7	0.0	955.8	674.3	28	39.70
573	220.8	147.2	0.0	185.7	0.0	1055.0	744.3	7	13.09
574	316.1	210.7	0.0	185.7	0.0	977.0	689.3	28	38.70
575	135.7	203.5	0.0	185.7	0.0	1076.2	759.3	7	7.51
576	238.1	0.0	0.0	185.7	0.0	1118.8	789.3	28	17.58
577	339.2	0.0	0.0	185.7	0.0	1069.2	754.3	7	21.18
578	135.7	203.5	0.0	185.7	0.0	1076.2	759.3	28	18.20
579	193.5	290.2	0.0	185.7	0.0	998.2	704.3	7	17.20
580	203.5	135.7	0.0	185.7	0.0	1076.2	759.3	28	22.63
581	290.2	193.5	0.0	185.7	0.0	998.2	704.3	7	21.86
582	181.9	272.8	0.0	185.7	0.0	1012.4	714.3	7	12.37
583	170.3	155.5	0.0	185.7	0.0	1026.6	724.3	28	25.73
584	210.7	316.1	0.0	185.7	0.0	977.0	689.3	28	37.81
585	228.0	342.1	0.0	185.7	0.0	955.8	674.3	7	21.92
586	290.2	193.5	0.0	185.7	0.0	998.2	704.3	28	33.04
587	381.4	0.0	0.0	185.7	0.0	1104.6	784.3	7	14.54
588	238.2	158.8	0.0	185.7	0.0	1040.6	734.3	28	26.91
589	186.2	124.1	0.0	185.7	0.0	1083.4	764.3	7	8.00
590	339.2	0.0	0.0	185.7	0.0	1069.2	754.3	28	31.90
591	238.1	0.0	0.0	185.7	0.0	1118.8	789.3	7	10.34
592	252.5	0.0	0.0	185.7	0.0	1111.6	784.3	28	19.77
593	382.5	0.0	0.0	185.7	0.0	1047.8	739.3	28	37.44
594	252.5	0.0	0.0	185.7	0.0	1111.6	784.3	7	11.48
595	316.1	210.7	0.0	185.7	0.0	977.0	689.3	7	24.44
596	186.2	124.1	0.0	185.7	0.0	1083.4	764.3	28	17.60
597	170.3	155.5	0.0	185.7	0.0	1026.6	724.3	7	10.73
598	272.8	181.9	0.0	185.7	0.0	1012.4	714.3	28	31.38
599	339.0	0.0	0.0	197.0	0.0	968.0	781.0	3	13.22
600	339.0	0.0	0.0	197.0	0.0	968.0	781.0	7	20.97
601	339.0	0.0	0.0	197.0	0.0	968.0	781.0	14	27.04
602	339.0	0.0	0.0	197.0	0.0	968.0	781.0	28	32.04
603	339.0	0.0	0.0	197.0	0.0	968.0	781.0	90	35.17
604	339.0	0.0	0.0	197.0	0.0	968.0	781.0	180	36.45
605	339.0	0.0	0.0	197.0	0.0	968.0	781.0	365	38.89
606	236.0	0.0	0.0	194.0	0.0	968.0	885.0	3	6.47

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
607	236.0	0.0	0.0	194.0	0.0	968.0	885.0	14	12.84
608	236.0	0.0	0.0	194.0	0.0	968.0	885.0	28	18.42
609	236.0	0.0	0.0	194.0	0.0	968.0	885.0	90	21.95
610	236.0	0.0	0.0	193.0	0.0	968.0	885.0	180	24.10
611	236.0	0.0	0.0	193.0	0.0	968.0	885.0	365	25.08
612	277.0	0.0	0.0	191.0	0.0	968.0	856.0	14	21.26
613	277.0	0.0	0.0	191.0	0.0	968.0	856.0	28	25.97
614	277.0	0.0	0.0	191.0	0.0	968.0	856.0	3	11.36
615	277.0	0.0	0.0	191.0	0.0	968.0	856.0	90	31.25
616	277.0	0.0	0.0	191.0	0.0	968.0	856.0	180	32.33
617	277.0	0.0	0.0	191.0	0.0	968.0	856.0	360	33.70
618	254.0	0.0	0.0	198.0	0.0	968.0	863.0	3	9.31
619	254.0	0.0	0.0	198.0	0.0	968.0	863.0	90	26.94
620	254.0	0.0	0.0	198.0	0.0	968.0	863.0	180	27.63
621	254.0	0.0	0.0	198.0	0.0	968.0	863.0	365	29.79
622	307.0	0.0	0.0	193.0	0.0	968.0	812.0	180	34.49
623	307.0	0.0	0.0	193.0	0.0	968.0	812.0	365	36.15
624	307.0	0.0	0.0	193.0	0.0	968.0	812.0	3	12.54
625	307.0	0.0	0.0	193.0	0.0	968.0	812.0	28	27.53
626	307.0	0.0	0.0	193.0	0.0	968.0	812.0	90	32.92
627	236.0	0.0	0.0	193.0	0.0	968.0	885.0	7	9.99
628	200.0	0.0	0.0	180.0	0.0	1125.0	845.0	7	7.84
629	200.0	0.0	0.0	180.0	0.0	1125.0	845.0	28	12.25
630	225.0	0.0	0.0	181.0	0.0	1113.0	833.0	7	11.17
631	225.0	0.0	0.0	181.0	0.0	1113.0	833.0	28	17.34
632	325.0	0.0	0.0	184.0	0.0	1063.0	783.0	7	17.54
633	325.0	0.0	0.0	184.0	0.0	1063.0	783.0	28	30.57
634	275.0	0.0	0.0	183.0	0.0	1088.0	808.0	7	14.20
635	275.0	0.0	0.0	183.0	0.0	1088.0	808.0	28	24.50
636	300.0	0.0	0.0	184.0	0.0	1075.0	795.0	7	15.58
637	300.0	0.0	0.0	184.0	0.0	1075.0	795.0	28	26.85
638	375.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1038.0	758.0	7	26.06
639	375.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1038.0	758.0	28	38.21
640	400.0	0.0	0.0	187.0	0.0	1025.0	745.0	28	43.70
641	400.0	0.0	0.0	187.0	0.0	1025.0	745.0	7	30.14
642	250.0	0.0	0.0	182.0	0.0	1100.0	820.0	7	12.73
643	250.0	0.0	0.0	182.0	0.0	1100.0	820.0	28	20.87
644	350.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1050.0	770.0	7	20.28

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
645	350.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1050.0	770.0	28	34.29
646	203.5	305.3	0.0	203.5	0.0	963.4	630.0	7	19.54
647	250.2	166.8	0.0	203.5	0.0	977.6	694.1	90	47.71
648	157.0	236.0	0.0	192.0	0.0	935.4	781.2	90	43.38
649	141.3	212.0	0.0	203.5	0.0	971.8	748.5	28	29.89
650	166.8	250.2	0.0	203.5	0.0	975.6	692.6	3	6.90
651	122.6	183.9	0.0	203.5	0.0	958.2	800.1	90	33.19
652	183.9	122.6	0.0	203.5	0.0	959.2	800.0	3	4.90
653	102.0	153.0	0.0	192.0	0.0	887.0	942.0	3	4.57
654	102.0	153.0	0.0	192.0	0.0	887.0	942.0	90	25.46
655	122.6	183.9	0.0	203.5	0.0	958.2	800.1	28	24.29
656	166.8	250.2	0.0	203.5	0.0	975.6	692.6	28	33.95
657	200.0	133.0	0.0	192.0	0.0	965.4	806.2	3	11.41
658	108.3	162.4	0.0	203.5	0.0	938.2	849.0	28	20.59
659	305.3	203.5	0.0	203.5	0.0	965.4	631.0	7	25.89
660	108.3	162.4	0.0	203.5	0.0	938.2	849.0	90	29.23
661	116.0	173.0	0.0	192.0	0.0	909.8	891.9	90	31.02
662	141.3	212.0	0.0	203.5	0.0	971.8	748.5	7	10.39
663	157.0	236.0	0.0	192.0	0.0	935.4	781.2	28	33.66
664	133.0	200.0	0.0	192.0	0.0	927.4	839.2	28	27.87
665	250.2	166.8	0.0	203.5	0.0	977.6	694.1	7	19.35
666	173.0	116.0	0.0	192.0	0.0	946.8	856.8	7	11.39
667	192.0	288.0	0.0	192.0	0.0	929.8	716.1	3	12.79
668	192.0	288.0	0.0	192.0	0.0	929.8	716.1	28	39.32
669	153.0	102.0	0.0	192.0	0.0	888.0	943.1	3	4.78
670	288.0	192.0	0.0	192.0	0.0	932.0	717.8	3	16.11
671	305.3	203.5	0.0	203.5	0.0	965.4	631.0	28	43.38
672	236.0	157.0	0.0	192.0	0.0	972.6	749.1	7	20.42
673	173.0	116.0	0.0	192.0	0.0	946.8	856.8	3	6.94
674	212.0	141.3	0.0	203.5	0.0	973.4	750.0	7	15.03
675	236.0	157.0	0.0	192.0	0.0	972.6	749.1	3	13.57
676	183.9	122.6	0.0	203.5	0.0	959.2	800.0	90	32.53
677	166.8	250.2	0.0	203.5	0.0	975.6	692.6	7	15.75
678	102.0	153.0	0.0	192.0	0.0	887.0	942.0	7	7.68
679	288.0	192.0	0.0	192.0	0.0	932.0	717.8	28	38.80
680	212.0	141.3	0.0	203.5	0.0	973.4	750.0	28	33.00
681	102.0	153.0	0.0	192.0	0.0	887.0	942.0	28	17.28
682	173.0	116.0	0.0	192.0	0.0	946.8	856.8	28	24.28

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
683	183.9	122.6	0.0	203.5	0.0	959.2	800.0	28	24.05
684	133.0	200.0	0.0	192.0	0.0	927.4	839.2	90	36.59
685	192.0	288.0	0.0	192.0	0.0	929.8	716.1	90	50.73
686	133.0	200.0	0.0	192.0	0.0	927.4	839.2	7	13.66
687	305.3	203.5	0.0	203.5	0.0	965.4	631.0	3	14.14
688	236.0	157.0	0.0	192.0	0.0	972.6	749.1	90	47.78
689	108.3	162.4	0.0	203.5	0.0	938.2	849.0	3	2.33
690	157.0	236.0	0.0	192.0	0.0	935.4	781.2	7	16.89
691	288.0	192.0	0.0	192.0	0.0	932.0	717.8	7	23.52
692	212.0	141.3	0.0	203.5	0.0	973.4	750.0	3	6.81
693	212.0	141.3	0.0	203.5	0.0	973.4	750.0	90	39.70
694	153.0	102.0	0.0	192.0	0.0	888.0	943.1	28	17.96
695	236.0	157.0	0.0	192.0	0.0	972.6	749.1	28	32.88
696	116.0	173.0	0.0	192.0	0.0	909.8	891.9	28	22.35
697	183.9	122.6	0.0	203.5	0.0	959.2	800.0	7	10.79
698	108.3	162.4	0.0	203.5	0.0	938.2	849.0	7	7.72
699	203.5	305.3	0.0	203.5	0.0	963.4	630.0	28	41.68
700	203.5	305.3	0.0	203.5	0.0	963.4	630.0	3	9.56
701	133.0	200.0	0.0	192.0	0.0	927.4	839.2	3	6.88
702	288.0	192.0	0.0	192.0	0.0	932.0	717.8	90	50.53
703	200.0	133.0	0.0	192.0	0.0	965.4	806.2	7	17.17
704	200.0	133.0	0.0	192.0	0.0	965.4	806.2	28	30.44
705	250.2	166.8	0.0	203.5	0.0	977.6	694.1	3	9.73
706	122.6	183.9	0.0	203.5	0.0	958.2	800.1	3	3.32
707	153.0	102.0	0.0	192.0	0.0	888.0	943.1	90	26.32
708	200.0	133.0	0.0	192.0	0.0	965.4	806.2	90	43.25
709	116.0	173.0	0.0	192.0	0.0	909.8	891.9	3	6.28
710	173.0	116.0	0.0	192.0	0.0	946.8	856.8	90	32.10
711	250.2	166.8	0.0	203.5	0.0	977.6	694.1	28	36.96
712	305.3	203.5	0.0	203.5	0.0	965.4	631.0	90	54.60
713	192.0	288.0	0.0	192.0	0.0	929.8	716.1	7	21.48
714	157.0	236.0	0.0	192.0	0.0	935.4	781.2	3	9.69
715	153.0	102.0	0.0	192.0	0.0	888.0	943.1	7	8.37
716	141.3	212.0	0.0	203.5	0.0	971.8	748.5	90	39.66
717	116.0	173.0	0.0	192.0	0.0	909.8	891.9	7	10.09
718	141.3	212.0	0.0	203.5	0.0	971.8	748.5	3	4.83
719	122.6	183.9	0.0	203.5	0.0	958.2	800.1	7	10.35
720	166.8	250.2	0.0	203.5	0.0	975.6	692.6	90	43.57

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
721	203.5	305.3	0.0	203.5	0.0	963.4	630.0	90	51.86
722	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1012.0	830.0	3	11.85
723	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1012.0	830.0	7	17.24
724	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1012.0	830.0	28	27.83
725	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1012.0	830.0	90	35.76
726	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1012.0	830.0	120	38.70
727	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1025.0	821.0	3	14.31
728	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1025.0	821.0	7	17.44
729	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1025.0	821.0	28	31.74
730	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1025.0	821.0	90	37.91
731	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1025.0	821.0	120	39.38
732	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1056.0	809.0	3	15.87
733	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1056.0	809.0	7	9.01
734	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1056.0	809.0	28	33.61
735	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1056.0	809.0	90	40.66
736	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1056.0	809.0	120	40.86
737	238.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1119.0	789.0	7	12.05
738	238.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1119.0	789.0	28	17.54
739	296.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1090.0	769.0	7	18.91
740	296.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1090.0	769.0	28	25.18
741	297.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1040.0	734.0	7	30.96
742	480.0	0.0	0.0	192.0	0.0	936.0	721.0	28	43.89
743	480.0	0.0	0.0	192.0	0.0	936.0	721.0	90	54.28
744	397.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1040.0	734.0	28	36.94
745	281.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1104.0	774.0	7	14.50
746	281.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1104.0	774.0	28	22.44
747	500.0	0.0	0.0	200.0	0.0	1125.0	613.0	1	12.64
748	500.0	0.0	0.0	200.0	0.0	1125.0	613.0	3	26.06
749	500.0	0.0	0.0	200.0	0.0	1125.0	613.0	7	33.21
750	500.0	0.0	0.0	200.0	0.0	1125.0	613.0	14	36.94
751	500.0	0.0	0.0	200.0	0.0	1125.0	613.0	28	44.09
752	540.0	0.0	0.0	173.0	0.0	1125.0	613.0	7	52.61
753	540.0	0.0	0.0	173.0	0.0	1125.0	613.0	14	59.76
754	540.0	0.0	0.0	173.0	0.0	1125.0	613.0	28	67.31
755	540.0	0.0	0.0	173.0	0.0	1125.0	613.0	90	69.66
756	540.0	0.0	0.0	173.0	0.0	1125.0	613.0	180	71.62
757	540.0	0.0	0.0	173.0	0.0	1125.0	613.0	270	74.17
758	350.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	775.0	7	18.13

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
759	350.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	775.0	14	22.53
760	350.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	775.0	28	27.34
761	350.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	775.0	56	29.98
762	350.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	775.0	90	31.35
763	350.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	775.0	180	32.72
764	385.0	0.0	0.0	186.0	0.0	966.0	763.0	1	6.27
765	385.0	0.0	0.0	186.0	0.0	966.0	763.0	3	14.70
766	385.0	0.0	0.0	186.0	0.0	966.0	763.0	7	23.22
767	385.0	0.0	0.0	186.0	0.0	966.0	763.0	14	27.92
768	385.0	0.0	0.0	186.0	0.0	966.0	763.0	28	31.35
769	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	978.0	825.0	180	39.00
770	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	978.0	825.0	360	41.24
771	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.0	3	14.99
772	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	978.0	825.0	3	13.52
773	382.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1047.0	739.0	7	24.00
774	382.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1047.0	739.0	28	37.42
775	382.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1111.0	784.0	7	11.47
776	281.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1104.0	774.0	28	22.44
777	339.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1069.0	754.0	7	21.16
778	339.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1069.0	754.0	28	31.84
779	295.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1069.0	769.0	7	14.80
780	295.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1069.0	769.0	28	25.18
781	238.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1118.0	789.0	28	17.54
782	296.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1085.0	765.0	7	14.20
783	296.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1085.0	765.0	28	21.65
784	296.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1085.0	765.0	90	29.39
785	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	879.0	825.0	3	13.52
786	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	978.0	825.0	7	16.26
787	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	978.0	825.0	28	31.45
788	331.0	0.0	0.0	192.0	0.0	978.0	825.0	90	37.23
789	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.0	7	18.13
790	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.0	28	32.72
791	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.0	90	39.49
792	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.0	180	41.05
793	349.0	0.0	0.0	192.0	0.0	1047.0	806.0	360	42.13
794	302.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	817.0	14	18.13
795	302.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	817.0	180	26.74
796	525.0	0.0	0.0	189.0	0.0	1125.0	613.0	180	61.92

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
797	500.0	0.0	0.0	200.0	0.0	1125.0	613.0	90	47.22
798	500.0	0.0	0.0	200.0	0.0	1125.0	613.0	180	51.04
799	500.0	0.0	0.0	200.0	0.0	1125.0	613.0	270	55.16
800	540.0	0.0	0.0	173.0	0.0	1125.0	613.0	3	41.64
801	252.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1111.0	784.0	7	13.71
802	252.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1111.0	784.0	28	19.69
803	339.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1060.0	754.0	28	31.65
804	393.0	0.0	0.0	192.0	0.0	940.0	758.0	3	19.11
805	393.0	0.0	0.0	192.0	0.0	940.0	758.0	28	39.58
806	393.0	0.0	0.0	192.0	0.0	940.0	758.0	90	48.79
807	382.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1047.0	739.0	7	24.00
808	382.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1047.0	739.0	28	37.42
809	252.0	0.0	0.0	186.0	0.0	1111.0	784.0	7	11.47
810	252.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1111.0	784.0	28	19.69
811	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	970.0	850.0	7	14.99
812	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	970.0	850.0	28	27.92
813	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	970.0	850.0	90	34.68
814	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	970.0	850.0	180	37.33
815	310.0	0.0	0.0	192.0	0.0	970.0	850.0	360	38.11
816	525.0	0.0	0.0	189.0	0.0	1125.0	613.0	3	33.80
817	525.0	0.0	0.0	189.0	0.0	1125.0	613.0	7	42.42
818	525.0	0.0	0.0	189.0	0.0	1125.0	613.0	14	48.40
819	525.0	0.0	0.0	189.0	0.0	1125.0	613.0	28	55.94
820	525.0	0.0	0.0	189.0	0.0	1125.0	613.0	90	58.78
821	525.0	0.0	0.0	189.0	0.0	1125.0	613.0	270	67.11
822	322.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	800.0	14	20.77
823	322.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	800.0	28	25.18
824	322.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	800.0	180	29.59
825	302.0	0.0	0.0	203.0	0.0	974.0	817.0	28	21.75
826	397.0	0.0	0.0	185.0	0.0	1040.0	734.0	28	39.09
827	480.0	0.0	0.0	192.0	0.0	936.0	721.0	3	24.39
828	522.0	0.0	0.0	146.0	0.0	896.0	896.0	7	50.51
829	522.0	0.0	0.0	146.0	0.0	896.0	896.0	28	74.99
830	273.0	105.0	82.0	210.0	9.0	904.0	680.0	28	37.17
831	162.0	190.0	148.0	179.0	19.0	838.0	741.0	28	33.76
832	154.0	144.0	112.0	220.0	10.0	923.0	658.0	28	16.50
833	147.0	115.0	89.0	202.0	9.0	860.0	829.0	28	19.99
834	152.0	178.0	139.0	168.0	18.0	944.0	695.0	28	36.35

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
835	310.0	143.0	111.0	168.0	22.0	914.0	651.0	28	33.69
836	144.0	0.0	175.0	158.0	18.0	943.0	844.0	28	15.42
837	304.0	140.0	0.0	214.0	6.0	895.0	722.0	28	33.42
838	374.0	0.0	0.0	190.0	7.0	1013.0	730.0	28	39.05
839	159.0	149.0	116.0	175.0	15.0	953.0	720.0	28	27.68
840	153.0	239.0	0.0	200.0	6.0	1002.0	684.0	28	26.86
841	310.0	143.0	0.0	168.0	10.0	914.0	804.0	28	45.30
842	305.0	0.0	100.0	196.0	10.0	959.0	705.0	28	30.12
843	151.0	0.0	184.0	167.0	12.0	991.0	772.0	28	15.57
844	142.0	167.0	130.0	174.0	11.0	883.0	785.0	28	44.61
845	298.0	137.0	107.0	201.0	6.0	878.0	655.0	28	53.52
846	321.0	164.0	0.0	190.0	5.0	870.0	774.0	28	57.21
847	366.0	187.0	0.0	191.0	7.0	824.0	757.0	28	65.91
848	280.0	129.0	100.0	172.0	9.0	825.0	805.0	28	52.82
849	252.0	97.0	76.0	194.0	8.0	835.0	821.0	28	33.40
850	165.0	0.0	150.0	182.0	12.0	1023.0	729.0	28	18.03
851	156.0	243.0	0.0	180.0	11.0	1022.0	698.0	28	37.36
852	160.0	188.0	146.0	203.0	11.0	829.0	710.0	28	32.84
853	298.0	0.0	107.0	186.0	6.0	879.0	815.0	28	42.64
854	318.0	0.0	126.0	210.0	6.0	861.0	737.0	28	40.06
855	287.0	121.0	94.0	188.0	9.0	904.0	696.0	28	41.94
856	326.0	166.0	0.0	174.0	9.0	882.0	790.0	28	61.23
857	356.0	0.0	142.0	193.0	11.0	801.0	778.0	28	40.87
858	132.0	207.0	161.0	179.0	5.0	867.0	736.0	28	33.30
859	322.0	149.0	0.0	186.0	8.0	951.0	709.0	28	52.42
860	164.0	0.0	200.0	181.0	13.0	849.0	846.0	28	15.09
861	314.0	0.0	113.0	170.0	10.0	925.0	783.0	28	38.46
862	321.0	0.0	128.0	182.0	11.0	870.0	780.0	28	37.26
863	140.0	164.0	128.0	237.0	6.0	869.0	656.0	28	35.23
864	288.0	121.0	0.0	177.0	7.0	908.0	829.0	28	42.13
865	298.0	0.0	107.0	210.0	11.0	880.0	744.0	28	31.87
866	265.0	111.0	86.0	195.0	6.0	833.0	790.0	28	41.54
867	160.0	250.0	0.0	168.0	12.0	1049.0	688.0	28	39.45
868	166.0	260.0	0.0	183.0	13.0	859.0	827.0	28	37.91
869	276.0	116.0	90.0	180.0	9.0	870.0	768.0	28	44.28
870	322.0	0.0	116.0	196.0	10.0	818.0	813.0	28	31.18
871	149.0	139.0	109.0	193.0	6.0	892.0	780.0	28	23.69
872	159.0	187.0	0.0	176.0	11.0	990.0	789.0	28	32.76

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
873	261.0	100.0	78.0	201.0	9.0	864.0	761.0	28	32.40
874	237.0	92.0	71.0	247.0	6.0	853.0	695.0	28	28.63
875	313.0	0.0	113.0	178.0	8.0	1002.0	689.0	28	36.80
876	155.0	183.0	0.0	193.0	9.0	1047.0	697.0	28	18.28
877	146.0	230.0	0.0	202.0	3.0	827.0	872.0	28	33.06
878	296.0	0.0	107.0	221.0	11.0	819.0	778.0	28	31.42
879	133.0	210.0	0.0	196.0	3.0	949.0	795.0	28	31.03
880	313.0	145.0	0.0	178.0	8.0	867.0	824.0	28	44.39
881	152.0	0.0	112.0	184.0	8.0	992.0	816.0	28	12.18
882	153.0	145.0	113.0	178.0	8.0	1002.0	689.0	28	25.56
883	140.0	133.0	103.0	200.0	7.0	916.0	753.0	28	36.44
884	149.0	236.0	0.0	176.0	13.0	847.0	893.0	28	32.96
885	300.0	0.0	120.0	212.0	10.0	878.0	728.0	28	23.84
886	153.0	145.0	113.0	178.0	8.0	867.0	824.0	28	26.23
887	148.0	0.0	137.0	158.0	16.0	1002.0	830.0	28	17.95
888	326.0	0.0	138.0	199.0	11.0	801.0	792.0	28	40.68
889	153.0	145.0	0.0	178.0	8.0	1000.0	822.0	28	19.01
890	262.0	111.0	86.0	195.0	5.0	895.0	733.0	28	33.72
891	158.0	0.0	195.0	220.0	11.0	898.0	713.0	28	8.54
892	151.0	0.0	185.0	167.0	16.0	1074.0	678.0	28	13.46
893	273.0	0.0	90.0	199.0	11.0	931.0	762.0	28	32.24
894	149.0	118.0	92.0	183.0	7.0	953.0	780.0	28	23.52
895	143.0	169.0	143.0	191.0	8.0	967.0	643.0	28	29.72
896	260.0	101.0	78.0	171.0	10.0	936.0	763.0	28	49.77
897	313.0	161.0	0.0	178.0	10.0	917.0	759.0	28	52.44
898	284.0	120.0	0.0	168.0	7.0	970.0	794.0	28	40.93
899	336.0	0.0	0.0	182.0	3.0	986.0	817.0	28	44.86
900	145.0	0.0	134.0	181.0	11.0	979.0	812.0	28	13.20
901	150.0	237.0	0.0	174.0	12.0	1069.0	675.0	28	37.43
902	144.0	170.0	133.0	192.0	8.0	814.0	805.0	28	29.87
903	331.0	170.0	0.0	195.0	8.0	811.0	802.0	28	56.61
904	155.0	0.0	143.0	193.0	9.0	1047.0	697.0	28	12.46
905	155.0	183.0	0.0	193.0	9.0	877.0	868.0	28	23.79
906	135.0	0.0	166.0	180.0	10.0	961.0	805.0	28	13.29
907	266.0	112.0	87.0	178.0	10.0	910.0	745.0	28	39.42
908	314.0	145.0	113.0	179.0	8.0	869.0	690.0	28	46.23
909	313.0	145.0	0.0	127.0	8.0	1000.0	822.0	28	44.52
910	146.0	173.0	0.0	182.0	3.0	986.0	817.0	28	23.74

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
911	144.0	136.0	106.0	178.0	7.0	941.0	774.0	28	26.14
912	148.0	0.0	182.0	181.0	15.0	839.0	884.0	28	15.52
913	277.0	117.0	91.0	191.0	7.0	946.0	666.0	28	43.57
914	298.0	0.0	107.0	164.0	13.0	953.0	784.0	28	35.86
915	313.0	145.0	0.0	178.0	8.0	1002.0	689.0	28	41.05
916	155.0	184.0	143.0	194.0	9.0	880.0	699.0	28	28.99
917	289.0	134.0	0.0	195.0	6.0	924.0	760.0	28	46.24
918	148.0	175.0	0.0	171.0	2.0	1000.0	828.0	28	26.92
919	145.0	0.0	179.0	202.0	8.0	824.0	869.0	28	10.54
920	313.0	0.0	0.0	178.0	8.0	1000.0	822.0	28	25.10
921	136.0	162.0	126.0	172.0	10.0	923.0	764.0	28	29.07
922	155.0	0.0	143.0	193.0	9.0	877.0	868.0	28	9.74
923	255.0	99.0	77.0	189.0	6.0	919.0	749.0	28	33.80
924	162.0	207.0	172.0	216.0	10.0	822.0	638.0	28	39.84
925	136.0	196.0	98.0	199.0	6.0	847.0	783.0	28	26.97
926	164.0	163.0	128.0	197.0	8.0	961.0	641.0	28	27.23
927	162.0	214.0	164.0	202.0	10.0	820.0	680.0	28	30.65
928	157.0	214.0	152.0	200.0	9.0	819.0	704.0	28	33.05
929	149.0	153.0	194.0	192.0	8.0	935.0	623.0	28	24.58
930	135.0	105.0	193.0	196.0	6.0	965.0	643.0	28	21.91
931	159.0	209.0	161.0	201.0	7.0	848.0	669.0	28	30.88
932	144.0	15.0	195.0	176.0	6.0	1021.0	709.0	28	15.34
933	154.0	174.0	185.0	228.0	7.0	845.0	612.0	28	24.34
934	167.0	187.0	195.0	185.0	7.0	898.0	636.0	28	23.89
935	184.0	86.0	190.0	213.0	6.0	923.0	623.0	28	22.93
936	156.0	178.0	187.0	221.0	7.0	854.0	614.0	28	29.41
937	236.9	91.7	71.5	246.9	6.0	852.9	695.4	28	28.63
938	313.3	0.0	113.0	178.5	8.0	1001.9	688.7	28	36.80
939	154.8	183.4	0.0	193.3	9.1	1047.4	696.7	28	18.29
940	145.9	230.5	0.0	202.5	3.4	827.0	871.8	28	32.72
941	296.0	0.0	106.7	221.4	10.5	819.2	778.4	28	31.42
942	133.1	210.2	0.0	195.7	3.1	949.4	795.3	28	28.94
943	313.3	145.0	0.0	178.5	8.0	867.2	824.0	28	40.93
944	151.6	0.0	111.9	184.4	7.9	992.0	815.9	28	12.18
945	153.1	145.0	113.0	178.5	8.0	1001.9	688.7	28	25.56
946	139.9	132.6	103.3	200.3	7.4	916.0	753.4	28	36.44
947	149.5	236.0	0.0	175.8	12.6	846.8	892.7	28	32.96
948	299.8	0.0	119.8	211.5	9.9	878.2	727.6	28	23.84

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
949	153.1	145.0	113.0	178.5	8.0	867.2	824.0	28	26.23
950	148.1	0.0	136.6	158.1	16.1	1001.8	830.1	28	17.96
951	326.5	0.0	137.9	199.0	10.8	801.1	792.5	28	38.63
952	152.7	144.7	0.0	178.1	8.0	999.7	822.2	28	19.01
953	261.9	110.5	86.1	195.4	5.0	895.2	732.6	28	33.72
954	158.4	0.0	194.9	219.7	11.0	897.7	712.9	28	8.54
955	150.7	0.0	185.3	166.7	15.6	1074.5	678.0	28	13.46
956	272.6	0.0	89.6	198.7	10.6	931.3	762.2	28	32.25
957	149.0	117.6	91.7	182.9	7.1	953.4	780.3	28	23.52
958	143.0	169.4	142.7	190.7	8.4	967.4	643.5	28	29.73
959	259.9	100.6	78.4	170.6	10.4	935.7	762.9	28	49.77
960	312.9	160.5	0.0	177.6	9.6	916.6	759.5	28	52.45
961	284.0	119.7	0.0	168.3	7.2	970.4	794.2	28	40.93
962	336.5	0.0	0.0	181.9	3.4	985.8	816.8	28	44.87
963	144.8	0.0	133.6	180.8	11.1	979.5	811.5	28	13.20
964	150.0	236.8	0.0	173.8	11.9	1069.3	674.8	28	37.43
965	143.7	170.2	132.6	191.6	8.5	814.1	805.3	28	29.87
966	330.5	169.6	0.0	194.9	8.1	811.0	802.3	28	56.62
967	154.8	0.0	142.8	193.3	9.1	1047.4	696.7	28	12.46
968	154.8	183.4	0.0	193.3	9.1	877.2	867.7	28	23.79
969	134.7	0.0	165.7	180.2	10.0	961.0	804.9	28	13.29
970	266.2	112.3	87.5	177.9	10.4	909.7	744.5	28	39.42
971	314.0	145.3	113.2	178.9	8.0	869.1	690.2	28	46.23
972	312.7	144.7	0.0	127.3	8.0	999.7	822.2	28	44.52
973	145.7	172.6	0.0	181.9	3.4	985.8	816.8	28	23.74
974	143.8	136.3	106.2	178.1	7.5	941.5	774.3	28	26.15
975	148.1	0.0	182.1	181.4	15.0	838.9	884.3	28	15.53
976	277.0	116.8	91.0	190.6	7.0	946.5	665.6	28	43.58
977	298.1	0.0	107.5	163.6	12.8	953.2	784.0	28	35.87
978	313.3	145.0	0.0	178.5	8.0	1001.9	688.7	28	41.05
979	155.2	183.9	143.2	193.8	9.2	879.6	698.5	28	28.99
980	289.0	133.7	0.0	194.9	5.5	924.1	760.1	28	46.25
981	147.8	175.1	0.0	171.2	2.2	1000.0	828.5	28	26.92
982	145.4	0.0	178.9	201.7	7.8	824.0	868.7	28	10.54
983	312.7	0.0	0.0	178.1	8.0	999.7	822.2	28	25.10
984	136.4	161.6	125.8	171.6	10.4	922.6	764.4	28	29.07
985	154.8	0.0	142.8	193.3	9.1	877.2	867.7	28	9.74
986	255.3	98.8	77.0	188.6	6.5	919.0	749.3	28	33.80

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
987	272.8	105.1	81.8	209.7	9.0	904.0	679.7	28	37.17
988	162.0	190.1	148.1	178.8	18.8	838.1	741.4	28	33.76
989	153.6	144.2	112.3	220.1	10.1	923.2	657.9	28	16.50
990	146.5	114.6	89.3	201.9	8.8	860.0	829.5	28	19.99
991	151.8	178.1	138.7	167.5	18.3	944.0	694.6	28	36.35
992	309.9	142.8	111.2	167.8	22.1	913.9	651.2	28	38.22
993	143.6	0.0	174.9	158.4	17.9	942.7	844.5	28	15.42
994	303.6	139.9	0.0	213.5	6.2	895.5	722.5	28	33.42
995	374.3	0.0	0.0	190.2	6.7	1013.2	730.4	28	39.06
996	158.6	148.9	116.0	175.1	15.0	953.3	719.7	28	27.68
997	152.6	238.7	0.0	200.0	6.3	1001.8	683.9	28	26.86
998	310.0	142.8	0.0	167.9	10.0	914.3	804.0	28	45.30
999	304.8	0.0	99.6	196.0	9.8	959.4	705.2	28	30.12
1000	150.9	0.0	183.9	166.6	11.6	991.2	772.2	28	15.57
1001	141.9	166.6	129.7	173.5	10.9	882.6	785.3	28	44.61
1002	297.8	137.2	106.9	201.3	6.0	878.4	655.3	28	53.52
1003	321.3	164.2	0.0	190.5	4.6	870.0	774.0	28	57.22
1004	366.0	187.0	0.0	191.3	6.6	824.3	756.9	28	65.91
1005	279.8	128.9	100.4	172.4	9.5	825.1	804.9	28	52.83
1006	252.1	97.1	75.6	193.8	8.3	835.5	821.4	28	33.40
1007	164.6	0.0	150.4	181.6	11.7	1023.3	728.9	28	18.03
1008	155.6	243.5	0.0	180.3	10.7	1022.0	697.7	28	37.36
1009	160.2	188.0	146.4	203.2	11.3	828.7	709.7	28	35.31
1010	298.1	0.0	107.0	186.4	6.1	879.0	815.2	28	42.64
1011	317.9	0.0	126.5	209.7	5.7	860.5	736.6	28	40.06
1012	287.3	120.5	93.9	187.6	9.2	904.4	695.9	28	43.80
1013	325.6	166.4	0.0	174.0	8.9	881.6	790.0	28	61.24
1014	355.9	0.0	141.6	193.3	11.0	801.4	778.4	28	40.87
1015	132.0	206.5	160.9	178.9	5.5	866.9	735.6	28	33.31
1016	322.5	148.6	0.0	185.8	8.5	951.0	709.5	28	52.43
1017	164.2	0.0	200.1	181.2	12.6	849.3	846.0	28	15.09
1018	313.8	0.0	112.6	169.9	10.1	925.3	782.9	28	38.46
1019	321.4	0.0	127.9	182.5	11.5	870.1	779.7	28	37.27
1020	139.7	163.9	127.7	236.7	5.8	868.6	655.6	28	35.23
1021	288.4	121.0	0.0	177.4	7.0	907.9	829.5	28	42.14
1022	298.2	0.0	107.0	209.7	11.1	879.6	744.2	28	31.88
1023	264.5	111.0	86.5	195.5	5.9	832.6	790.4	28	41.54
1024	159.8	250.0	0.0	168.4	12.2	1049.3	688.2	28	39.46

No.	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Super plasti cizer (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Umur Beton (hari)	Kuat Tekan (MPa)
1025	166.0	259.7	0.0	183.2	12.7	858.8	826.8	28	37.92
1026	276.4	116.0	90.3	179.6	8.9	870.1	768.3	28	44.28
1027	322.2	0.0	115.6	196.0	10.4	817.9	813.4	28	31.18
1028	148.5	139.4	108.6	192.7	6.1	892.4	780.0	28	23.70
1029	159.1	186.7	0.0	175.6	11.3	989.6	788.9	28	32.77
1030	260.9	100.5	78.3	200.6	8.6	864.5	761.5	28	32.40



Lampiran 2 Proporsi Campuran Beton dan Hasil Prediksi Kuat Tekan
Kasus 2

Kadar Fly Ash (%)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
0	425,98	0,00	203	960	741,66	23,40	25,65	26,19	33,56
0,1	425,55	0,43	203	960	741,66	23,36	25,61	26,14	33,53
0,2	425,13	0,85	203	960	741,66	23,31	25,56	26,09	33,50
0,3	424,70	1,28	203	960	741,66	23,27	25,52	26,04	33,47
0,4	424,27	1,70	203	960	741,66	23,23	25,48	26,00	33,44
0,5	423,85	2,13	203	960	741,66	23,19	25,44	25,95	33,41
0,6	423,42	2,56	203	960	741,66	23,15	25,40	25,90	33,37
0,7	423,00	2,98	203	960	741,66	23,10	25,35	25,85	33,34
0,8	422,57	3,41	203	960	741,66	23,06	25,31	25,80	33,30
0,9	422,14	3,83	203	960	741,66	23,02	25,27	25,75	33,27
1	421,72	4,26	203	960	741,66	22,98	25,23	25,70	33,23
1,1	421,29	4,69	203	960	741,66	22,94	25,18	25,65	33,20
1,2	420,87	5,11	203	960	741,66	22,90	25,14	25,61	33,17
1,3	420,44	5,54	203	960	741,66	22,86	25,10	25,56	33,15
1,4	420,01	5,96	203	960	741,66	22,82	25,06	25,51	33,13
1,5	419,59	6,39	203	960	741,66	22,78	25,01	25,47	33,11
1,6	419,16	6,82	203	960	741,66	22,74	24,97	25,45	33,10
1,7	418,74	7,24	203	960	741,66	22,70	24,93	25,43	33,08
1,8	418,31	7,67	203	960	741,66	22,65	24,89	25,41	33,06
1,9	417,88	8,09	203	960	741,66	22,59	24,84	25,39	33,04
2	417,46	8,52	203	960	741,66	22,54	24,80	25,37	33,02
2,1	417,03	8,95	203	960	741,66	22,48	24,76	25,35	33,01
2,2	416,61	9,37	203	960	741,66	22,42	24,72	25,33	32,99
2,3	416,18	9,80	203	960	741,66	22,36	24,68	25,32	32,97
2,4	415,75	10,22	203	960	741,66	22,31	24,64	25,30	32,95
2,5	415,33	10,65	203	960	741,66	22,25	24,61	25,28	32,93
2,6	414,90	11,08	203	960	741,66	22,18	24,56	25,26	32,92
2,7	414,48	11,50	203	960	741,66	22,11	24,52	25,24	32,90
2,8	414,05	11,93	203	960	741,66	22,03	24,49	25,22	32,88
2,9	413,62	12,35	203	960	741,66	21,96	24,45	25,20	32,86
3	413,20	12,78	203	960	741,66	21,89	24,42	25,18	32,84
3,1	412,77	13,21	203	960	741,66	21,82	24,38	25,16	32,84
3,2	412,35	13,63	203	960	741,66	21,75	24,34	25,14	32,84
3,3	411,92	14,06	203	960	741,66	21,67	24,31	25,11	32,85

Kadar Fly Ash (%)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
3,4	411,49	14,48	203	960	741,66	21,60	24,27	25,08	32,85
3,5	411,07	14,91	203	960	741,66	21,53	24,23	24,98	32,86
3,6	410,64	15,34	203	960	741,66	21,46	24,20	24,91	32,86
3,7	410,22	15,76	203	960	741,66	21,39	24,16	24,87	32,87
3,8	409,79	16,19	203	960	741,66	21,32	24,13	24,85	32,87
3,9	409,36	16,61	203	960	741,66	21,25	24,09	24,84	32,90
4	408,94	17,04	203	960	741,66	21,19	24,05	24,82	32,93
4,1	408,51	17,47	203	960	741,66	21,13	24,02	24,81	32,98
4,2	408,09	17,89	203	960	741,66	21,07	23,98	24,79	33,02
4,3	407,66	18,32	203	960	741,66	21,01	23,95	24,77	33,08
4,4	407,23	18,74	203	960	741,66	20,95	23,92	24,76	33,14
4,5	406,81	19,17	203	960	741,66	20,89	23,88	24,74	33,21
4,6	406,38	19,59	203	960	741,66	20,83	23,85	24,73	33,27
4,7	405,96	20,02	203	960	741,66	20,77	23,82	24,71	33,34
4,8	405,53	20,45	203	960	741,66	20,71	23,78	24,70	33,40
4,9	405,10	20,87	203	960	741,66	20,65	23,75	24,69	33,47
5	404,68	21,30	203	960	741,66	20,59	23,72	24,70	33,53
5,1	404,25	21,72	203	960	741,66	20,53	23,69	24,72	33,58
5,2	403,83	22,15	203	960	741,66	20,47	23,65	24,74	33,64
5,3	403,40	22,58	203	960	741,66	20,41	23,61	24,75	33,69
5,4	402,97	23,00	203	960	741,66	20,35	23,57	24,77	33,75
5,5	402,55	23,43	203	960	741,66	20,29	23,52	24,78	33,80
5,6	402,12	23,85	203	960	741,66	20,23	23,48	24,80	33,86
5,7	401,70	24,28	203	960	741,66	20,17	23,44	24,82	33,91
5,8	401,27	24,71	203	960	741,66	20,11	23,39	24,83	33,95
5,9	400,85	25,13	203	960	741,66	20,05	23,37	24,85	33,99
6	400,42	25,56	203	960	741,66	19,99	23,35	24,87	34,03
6,1	399,99	25,98	203	960	741,66	19,93	23,33	24,90	34,09
6,2	399,57	26,41	203	960	741,66	19,87	23,30	24,93	34,14
6,3	399,14	26,84	203	960	741,66	19,81	23,28	24,96	34,19
6,4	398,72	27,26	203	960	741,66	19,75	23,25	24,98	34,25
6,5	398,29	27,69	203	960	741,66	19,69	23,23	25,01	34,30
6,6	397,86	28,11	203	960	741,66	19,62	23,21	25,04	34,36
6,7	397,44	28,54	203	960	741,66	19,55	23,18	25,07	34,41
6,8	397,01	28,97	203	960	741,66	19,48	23,15	25,10	34,47
6,9	396,59	29,39	203	960	741,66	19,41	23,12	25,13	34,52
7	396,16	29,82	203	960	741,66	19,34	23,10	25,16	34,56
7,1	395,73	30,24	203	960	741,66	19,27	23,07	25,18	34,60

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Semen (kg/m ³)	<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
7,2	395,31	30,67	203	960	741,66	19,19	23,04	25,20	34,64
7,3	394,88	31,10	203	960	741,66	19,12	23,01	25,22	34,68
7,4	394,46	31,52	203	960	741,66	19,06	22,98	25,24	34,71
7,5	394,03	31,95	203	960	741,66	18,99	22,96	25,28	34,75
7,6	393,60	32,37	203	960	741,66	18,92	22,93	25,32	34,79
7,7	393,18	32,80	203	960	741,66	18,85	22,90	25,36	34,85
7,8	392,75	33,23	203	960	741,66	18,78	22,87	25,40	34,91
7,9	392,33	33,65	203	960	741,66	18,71	22,84	25,44	34,98
8	391,90	34,08	203	960	741,66	18,64	22,81	25,48	35,04
8,1	391,47	34,50	203	960	741,66	18,57	22,78	25,52	35,11
8,2	391,05	34,93	203	960	741,66	18,50	22,75	25,55	35,17
8,3	390,62	35,36	203	960	741,66	18,43	22,73	25,59	35,24
8,4	390,20	35,78	203	960	741,66	18,36	22,70	25,63	35,30
8,5	389,77	36,21	203	960	741,66	18,29	22,67	25,67	35,37
8,6	389,34	36,63	203	960	741,66	18,22	22,65	25,71	35,43
8,7	388,92	37,06	203	960	741,66	18,16	22,62	25,75	35,50
8,8	388,49	37,49	203	960	741,66	18,10	22,59	25,79	35,56
8,9	388,07	37,91	203	960	741,66	18,03	22,57	25,83	35,63
9	387,64	38,34	203	960	741,66	17,97	22,54	25,87	35,69
9,1	387,21	38,76	203	960	741,66	17,91	22,51	25,91	35,76
9,2	386,79	39,19	203	960	741,66	17,85	22,48	25,94	35,82
9,3	386,36	39,62	203	960	741,66	17,78	22,45	25,98	35,89
9,4	385,94	40,04	203	960	741,66	17,72	22,43	26,02	35,95
9,5	385,51	40,47	203	960	741,66	17,66	22,40	26,06	36,02
9,6	385,08	40,89	203	960	741,66	17,59	22,37	26,10	36,08
9,7	384,66	41,32	203	960	741,66	17,53	22,34	26,14	36,14
9,8	384,23	41,75	203	960	741,66	17,47	22,31	26,17	36,21
9,9	383,81	42,17	203	960	741,66	17,41	22,29	26,19	36,27
10	383,38	42,60	203	960	741,66	17,34	22,26	26,20	36,34
10,1	382,95	43,02	203	960	741,66	17,28	22,23	26,21	36,41
10,2	382,53	43,45	203	960	741,66	17,22	22,20	26,23	36,48
10,3	382,10	43,88	203	960	741,66	17,16	22,18	26,24	36,55
10,4	381,68	44,30	203	960	741,66	17,10	22,15	26,25	36,62
10,5	381,25	44,73	203	960	741,66	17,04	22,12	26,26	36,70
10,6	380,82	45,15	203	960	741,66	16,98	22,10	26,28	36,77
10,7	380,40	45,58	203	960	741,66	16,92	22,07	26,29	36,84
10,8	379,97	46,01	203	960	741,66	16,86	22,04	26,31	36,91
10,9	379,55	46,43	203	960	741,66	16,80	22,02	26,33	36,97

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Semen (kg/m ³)	<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
11	379,12	46,86	203	960	741,66	16,73	21,99	26,35	37,02
11,1	378,69	47,28	203	960	741,66	16,67	21,96	26,38	37,07
11,2	378,27	47,71	203	960	741,66	16,61	21,94	26,40	37,12
11,3	377,84	48,14	203	960	741,66	16,55	21,91	26,42	37,12
11,4	377,42	48,56	203	960	741,66	16,49	21,88	26,45	37,12
11,5	376,99	48,99	203	960	741,66	16,42	21,86	26,47	37,12
11,6	376,56	49,41	203	960	741,66	16,36	21,83	26,49	37,12
11,7	376,14	49,84	203	960	741,66	16,30	21,82	26,50	37,12
11,8	375,71	50,27	203	960	741,66	16,29	21,81	26,51	37,13
11,9	375,29	50,69	203	960	741,66	16,27	21,79	26,52	37,13
12	374,86	51,12	203	960	741,66	16,26	21,78	26,52	37,13
12,1	374,43	51,54	203	960	741,66	16,25	21,77	26,53	37,13
12,2	374,01	51,97	203	960	741,66	16,23	21,75	26,54	37,13
12,3	373,58	52,40	203	960	741,66	16,23	21,74	26,54	37,14
12,4	373,16	52,82	203	960	741,66	16,23	21,73	26,55	37,17
12,5	372,73	53,25	203	960	741,66	16,23	21,71	26,56	37,19
12,6	372,30	53,67	203	960	741,66	16,22	21,71	26,56	37,22
12,7	371,88	54,10	203	960	741,66	16,22	21,70	26,56	37,25
12,8	371,45	54,53	203	960	741,66	16,22	21,69	26,56	37,28
12,9	371,03	54,95	203	960	741,66	16,21	21,68	26,56	37,31
13	370,60	55,38	203	960	741,66	16,21	21,67	26,56	37,33
13,1	370,17	55,80	203	960	741,66	16,20	21,66	26,55	37,34
13,2	369,75	56,23	203	960	741,66	16,20	21,65	26,58	37,35
13,3	369,32	56,66	203	960	741,66	16,20	21,64	26,62	37,36
13,4	368,90	57,08	203	960	741,66	16,19	21,63	26,67	37,37
13,5	368,47	57,51	203	960	741,66	16,19	21,62	26,71	37,39
13,6	368,04	57,93	203	960	741,66	16,18	21,61	26,75	37,40
13,7	367,62	58,36	203	960	741,66	16,18	21,60	26,79	37,41
13,8	367,19	58,78	203	960	741,66	16,18	21,59	26,83	37,42
13,9	366,77	59,21	203	960	741,66	16,17	21,58	26,88	37,43
14	366,34	59,64	203	960	741,66	16,17	21,57	26,92	37,45
14,1	365,91	60,06	203	960	741,66	16,17	21,56	26,96	37,47
14,2	365,49	60,49	203	960	741,66	16,16	21,55	27,00	37,49
14,3	365,06	60,91	203	960	741,66	16,16	21,55	27,05	37,51
14,4	364,64	61,34	203	960	741,66	16,15	21,55	27,09	37,52
14,5	364,21	61,77	203	960	741,66	16,15	21,54	27,13	37,52
14,6	363,78	62,19	203	960	741,66	16,15	21,51	27,17	37,53
14,7	363,36	62,62	203	960	741,66	16,14	21,49	27,22	37,53

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Semen (kg/m ³)	<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
14,8	362,93	63,04	203	960	741,66	16,13	21,46	27,26	37,54
14,9	362,51	63,47	203	960	741,66	16,10	21,44	27,31	37,54
15	362,08	63,90	203	960	741,66	16,07	21,41	27,36	37,54
15,1	361,66	64,32	203	960	741,66	16,05	21,39	27,40	37,55
15,2	361,23	64,75	203	960	741,66	16,02	21,36	27,45	37,55
15,3	360,80	65,17	203	960	741,66	16,00	21,34	27,49	37,53
15,4	360,38	65,60	203	960	741,66	15,97	21,31	27,53	37,52
15,5	359,95	66,03	203	960	741,66	15,95	21,28	27,56	37,51
15,6	359,53	66,45	203	960	741,66	15,92	21,26	27,59	37,50
15,7	359,10	66,88	203	960	741,66	15,90	21,23	27,62	37,48
15,8	358,67	67,30	203	960	741,66	15,87	21,20	27,65	37,48
15,9	358,25	67,73	203	960	741,66	15,84	21,17	27,69	37,48
16	357,82	68,16	203	960	741,66	15,82	21,15	27,72	37,49
16,1	357,40	68,58	203	960	741,66	15,79	21,12	27,75	37,49
16,2	356,97	69,01	203	960	741,66	15,77	21,09	27,78	37,50
16,3	356,54	69,43	203	960	741,66	15,74	21,07	27,81	37,51
16,4	356,12	69,86	203	960	741,66	15,72	21,05	27,84	37,51
16,5	355,69	70,29	203	960	741,66	15,69	21,03	27,88	37,52
16,6	355,27	70,71	203	960	741,66	15,67	21,02	27,91	37,52
16,7	354,84	71,14	203	960	741,66	15,65	21,00	27,94	37,53
16,8	354,41	71,56	203	960	741,66	15,62	20,98	27,97	37,54
16,9	353,99	71,99	203	960	741,66	15,60	20,96	28,02	37,54
17	353,56	72,42	203	960	741,66	15,58	20,95	28,07	37,55
17,1	353,14	72,84	203	960	741,66	15,57	20,93	28,12	37,56
17,2	352,71	73,27	203	960	741,66	15,55	20,91	28,17	37,57
17,3	352,28	73,69	203	960	741,66	15,54	20,89	28,22	37,58
17,4	351,86	74,12	203	960	741,66	15,53	20,88	28,27	37,59
17,5	351,43	74,55	203	960	741,66	15,51	20,86	28,33	37,60
17,6	351,01	74,97	203	960	741,66	15,50	20,84	28,40	37,61
17,7	350,58	75,40	203	960	741,66	15,48	20,82	28,48	37,63
17,8	350,15	75,82	203	960	741,66	15,47	20,81	28,55	37,64
17,9	349,73	76,25	203	960	741,66	15,46	20,80	28,63	37,65
18	349,30	76,68	203	960	741,66	15,44	20,79	28,71	37,66
18,1	348,88	77,10	203	960	741,66	15,44	20,78	28,79	37,67
18,2	348,45	77,53	203	960	741,66	15,43	20,77	28,87	37,68
18,3	348,02	77,95	203	960	741,66	15,42	20,76	28,91	37,69
18,4	347,60	78,38	203	960	741,66	15,41	20,75	28,95	37,70
18,5	347,17	78,81	203	960	741,66	15,40	20,74	29,00	37,72

Kadar Fly Ash (%)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
18,6	346,75	79,23	203	960	741,66	15,40	20,73	29,04	37,73
18,7	346,32	79,66	203	960	741,66	15,39	20,72	29,08	37,74
18,8	345,89	80,08	203	960	741,66	15,39	20,71	29,13	37,75
18,9	345,47	80,51	203	960	741,66	15,39	20,70	29,17	37,76
19	345,04	80,94	203	960	741,66	15,39	20,69	29,21	37,75
19,1	344,62	81,36	203	960	741,66	15,39	20,67	29,26	37,74
19,2	344,19	81,79	203	960	741,66	15,39	20,66	29,30	37,74
19,3	343,76	82,21	203	960	741,66	15,39	20,65	29,34	37,73
19,4	343,34	82,64	203	960	741,66	15,39	20,64	29,38	37,72
19,5	342,91	83,07	203	960	741,66	15,39	20,63	29,43	37,70
19,6	342,49	83,49	203	960	741,66	15,39	20,63	29,47	37,68
19,7	342,06	83,92	203	960	741,66	15,39	20,63	29,51	37,67
19,8	341,63	84,34	203	960	741,66	15,36	20,62	29,57	37,65
19,9	341,21	84,77	203	960	741,66	15,32	20,62	29,62	37,63
20	340,78	85,20	203	960	741,66	15,29	20,62	29,67	37,62
20,1	340,36	85,62	203	960	741,66	15,26	20,62	29,72	37,61
20,2	339,93	86,05	203	960	741,66	15,22	20,61	29,77	37,60
20,3	339,50	86,47	203	960	741,66	15,19	20,61	29,82	37,58
20,4	339,08	86,90	203	960	741,66	15,16	20,61	29,86	37,56
20,5	338,65	87,33	203	960	741,66	15,13	20,61	29,90	37,54
20,6	338,23	87,75	203	960	741,66	15,09	20,62	29,94	37,48
20,7	337,80	88,18	203	960	741,66	15,06	20,63	29,98	37,42
20,8	337,37	88,60	203	960	741,66	15,03	20,65	30,01	37,37
20,9	336,95	89,03	203	960	741,66	14,99	20,66	30,03	37,31
21	336,52	89,46	203	960	741,66	14,96	20,68	30,06	37,25
21,1	336,10	89,88	203	960	741,66	14,93	20,69	30,08	37,20
21,2	335,67	90,31	203	960	741,66	14,90	20,70	30,11	37,15
21,3	335,24	90,73	203	960	741,66	14,86	20,72	30,13	37,12
21,4	334,82	91,16	203	960	741,66	14,83	20,73	30,16	37,10
21,5	334,39	91,59	203	960	741,66	14,80	20,75	30,18	37,07
21,6	333,97	92,01	203	960	741,66	14,76	20,76	30,19	37,04
21,7	333,54	92,44	203	960	741,66	14,73	20,77	30,19	37,01
21,8	333,11	92,86	203	960	741,66	14,70	20,79	30,18	36,98
21,9	332,69	93,29	203	960	741,66	14,67	20,80	30,18	36,95
22	332,26	93,72	203	960	741,66	14,63	20,80	30,17	36,92
22,1	331,84	94,14	203	960	741,66	14,60	20,80	30,17	36,90
22,2	331,41	94,57	203	960	741,66	14,57	20,80	30,16	36,89
22,3	330,98	94,99	203	960	741,66	14,53	20,79	30,16	36,88

Kadar Fly Ash (%)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
22,4	330,56	95,42	203	960	741,66	14,49	20,81	30,15	36,87
22,5	330,13	95,84	203	960	741,66	14,45	20,84	30,14	36,87
22,6	329,71	96,27	203	960	741,66	14,42	20,87	30,09	36,86
22,7	329,28	96,70	203	960	741,66	14,39	20,90	30,04	36,83
22,8	328,85	97,12	203	960	741,66	14,39	20,93	30,00	36,81
22,9	328,43	97,55	203	960	741,66	14,39	20,94	29,95	36,79
23	328,00	97,97	203	960	741,66	14,39	20,94	29,90	36,76
23,1	327,58	98,40	203	960	741,66	14,39	20,95	29,86	36,74
23,2	327,15	98,83	203	960	741,66	14,39	20,95	29,81	36,72
23,3	326,72	99,25	203	960	741,66	14,40	20,95	29,76	36,69
23,4	326,30	99,68	203	960	741,66	14,40	20,95	29,72	36,67
23,5	325,87	100,10	203	960	741,66	14,39	20,95	29,67	36,64
23,6	325,45	100,53	203	960	741,66	14,38	20,95	29,62	36,62
23,7	325,02	100,96	203	960	741,66	14,37	20,95	29,58	36,60
23,8	324,60	101,38	203	960	741,66	14,36	20,94	29,53	36,57
23,9	324,17	101,81	203	960	741,66	14,35	20,94	29,45	36,55
24	323,74	102,23	203	960	741,66	14,33	20,94	29,42	36,53
24,1	323,32	102,66	203	960	741,66	14,32	20,94	29,39	36,50
24,2	322,89	103,09	203	960	741,66	14,31	20,94	29,37	36,48
24,3	322,47	103,51	203	960	741,66	14,30	20,94	29,34	36,46
24,4	322,04	103,94	203	960	741,66	14,29	20,94	29,32	36,43
24,5	321,61	104,36	203	960	741,66	14,27	20,94	29,29	36,41
24,6	321,19	104,79	203	960	741,66	14,26	20,94	29,27	36,38
24,7	320,76	105,22	203	960	741,66	14,25	20,94	29,24	36,36
24,8	320,34	105,64	203	960	741,66	14,24	20,96	29,22	36,34
24,9	319,91	106,07	203	960	741,66	14,23	20,98	29,19	36,34
25	319,48	106,49	203	960	741,66	14,21	21,01	29,17	36,33
25,1	319,06	106,92	203	960	741,66	14,20	21,04	29,14	36,33
25,2	318,63	107,35	203	960	741,66	14,19	21,07	29,11	36,32
25,3	318,21	107,77	203	960	741,66	14,18	21,10	29,08	36,31
25,4	317,78	108,20	203	960	741,66	14,17	21,13	29,05	36,30
25,5	317,35	108,62	203	960	741,66	14,15	21,15	29,01	36,29
25,6	316,93	109,05	203	960	741,66	14,14	21,18	28,98	36,28
25,7	316,50	109,48	203	960	741,66	14,13	21,21	28,95	36,27
25,8	316,08	109,90	203	960	741,66	14,12	21,24	28,91	36,25
25,9	315,65	110,33	203	960	741,66	14,11	21,27	28,88	36,24
26	315,22	110,75	203	960	741,66	14,09	21,30	28,85	36,23
26,1	314,80	111,18	203	960	741,66	14,09	21,32	28,81	36,22

Kadar Fly Ash (%)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
26,2	314,37	111,61	203	960	741,66	14,09	21,35	28,78	36,20
26,3	313,95	112,03	203	960	741,66	14,09	21,38	28,75	36,19
26,4	313,52	112,46	203	960	741,66	14,09	21,41	28,72	36,19
26,5	313,09	112,88	203	960	741,66	14,09	21,44	28,68	36,18
26,6	312,67	113,31	203	960	741,66	14,09	21,47	28,65	36,15
26,7	312,24	113,74	203	960	741,66	14,09	21,49	28,62	36,10
26,8	311,82	114,16	203	960	741,66	14,09	21,52	28,59	36,05
26,9	311,39	114,59	203	960	741,66	14,09	21,55	28,56	36,01
27	310,96	115,01	203	960	741,66	14,09	21,58	28,53	35,96
27,1	310,54	115,44	203	960	741,66	14,09	21,61	28,51	35,92
27,2	310,11	115,87	203	960	741,66	14,09	21,65	28,48	35,87
27,3	309,69	116,29	203	960	741,66	14,09	21,68	28,45	35,84
27,4	309,26	116,72	203	960	741,66	14,09	21,71	28,42	35,81
27,5	308,83	117,14	203	960	741,66	14,09	21,72	28,39	35,78
27,6	308,41	117,57	203	960	741,66	14,09	21,73	28,37	35,74
27,7	307,98	118,00	203	960	741,66	14,07	21,74	28,35	35,71
27,8	307,56	118,42	203	960	741,66	14,04	21,75	28,34	35,68
27,9	307,13	118,85	203	960	741,66	14,02	21,77	28,33	35,65
28	306,70	119,27	203	960	741,66	14,00	21,78	28,32	35,64
28,1	306,28	119,70	203	960	741,66	13,97	21,77	28,27	35,62
28,2	305,85	120,13	203	960	741,66	13,95	21,75	28,21	35,60
28,3	305,43	120,55	203	960	741,66	13,92	21,73	28,13	35,58
28,4	305,00	120,98	203	960	741,66	13,90	21,71	28,05	35,56
28,5	304,57	121,40	203	960	741,66	13,85	21,69	27,97	35,54
28,6	304,15	121,83	203	960	741,66	13,81	21,67	27,88	35,52
28,7	303,72	122,26	203	960	741,66	13,76	21,65	27,80	35,50
28,8	303,30	122,68	203	960	741,66	13,73	21,64	27,72	35,48
28,9	302,87	123,11	203	960	741,66	13,71	21,64	27,64	35,46
29	302,44	123,53	203	960	741,66	13,68	21,64	27,56	35,44
29,1	302,02	123,96	203	960	741,66	13,65	21,64	27,47	35,37
29,2	301,59	124,39	203	960	741,66	13,63	21,64	27,39	35,30
29,3	301,17	124,81	203	960	741,66	13,60	21,63	27,31	35,24
29,4	300,74	125,24	203	960	741,66	13,58	21,62	27,23	35,17
29,5	300,31	125,66	203	960	741,66	13,55	21,64	27,14	35,10
29,6	299,89	126,09	203	960	741,66	13,53	21,66	27,06	35,03
29,7	299,46	126,52	203	960	741,66	13,52	21,67	26,99	34,97
29,8	299,04	126,94	203	960	741,66	13,51	21,69	26,92	34,89
29,9	298,61	127,37	203	960	741,66	13,49	21,71	26,88	34,80

Kadar Fly Ash (%)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
30	298,18	127,79	203	960	741,66	13,48	21,73	26,84	34,72
30,1	297,76	128,22	203	960	741,66	13,48	21,75	26,80	34,63
30,2	297,33	128,65	203	960	741,66	13,48	21,76	26,77	34,55
30,3	296,91	129,07	203	960	741,66	13,48	21,76	26,71	34,46
30,4	296,48	129,50	203	960	741,66	13,47	21,76	26,64	34,38
30,5	296,05	129,92	203	960	741,66	13,47	21,76	26,58	34,29
30,6	295,63	130,35	203	960	741,66	13,47	21,75	26,52	34,21
30,7	295,20	130,78	203	960	741,66	13,47	21,75	26,45	34,12
30,8	294,78	131,20	203	960	741,66	13,47	21,75	26,38	34,04
30,9	294,35	131,63	203	960	741,66	13,46	21,72	26,31	33,94
31	293,92	132,05	203	960	741,66	13,46	21,69	26,25	33,84
31,1	293,50	132,48	203	960	741,66	13,46	21,65	26,18	33,74
31,2	293,07	132,91	203	960	741,66	13,46	21,62	26,11	33,64
31,3	292,65	133,33	203	960	741,66	13,45	21,58	26,05	33,53
31,4	292,22	133,76	203	960	741,66	13,44	21,55	25,98	33,46
31,5	291,79	134,18	203	960	741,66	13,43	21,51	25,91	33,41
31,6	291,37	134,61	203	960	741,66	13,42	21,48	25,85	33,35
31,7	290,94	135,03	203	960	741,66	13,41	21,44	25,78	33,29
31,8	290,52	135,46	203	960	741,66	13,40	21,38	25,71	33,23
31,9	290,09	135,89	203	960	741,66	13,40	21,33	25,64	33,17
32	289,66	136,31	203	960	741,66	13,39	21,28	25,58	33,11
32,1	289,24	136,74	203	960	741,66	13,38	21,22	25,51	33,06
32,2	288,81	137,16	203	960	741,66	13,37	21,17	25,44	33,00
32,3	288,39	137,59	203	960	741,66	13,36	21,12	25,37	32,94
32,4	287,96	138,02	203	960	741,66	13,35	21,07	25,29	32,89
32,5	287,53	138,44	203	960	741,66	13,34	21,01	25,22	32,83
32,6	287,11	138,87	203	960	741,66	13,33	20,96	25,15	32,77
32,7	286,68	139,29	203	960	741,66	13,32	20,90	25,07	32,72
32,8	286,26	139,72	203	960	741,66	13,32	20,84	25,00	32,66
32,9	285,83	140,15	203	960	741,66	13,31	20,78	24,94	32,60
33	285,41	140,57	203	960	741,66	13,30	20,72	24,87	32,55
33,1	284,98	141,00	203	960	741,66	13,30	20,66	24,82	32,49
33,2	284,55	141,42	203	960	741,66	13,30	20,60	24,76	32,43
33,3	284,13	141,85	203	960	741,66	13,30	20,54	24,70	32,38
33,4	283,70	142,28	203	960	741,66	13,30	20,48	24,64	32,32
33,5	283,28	142,70	203	960	741,66	13,29	20,41	24,58	32,27
33,6	282,85	143,13	203	960	741,66	13,29	20,35	24,53	32,21
33,7	282,42	143,55	203	960	741,66	13,29	20,29	24,47	32,16

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Semen (kg/m ³)	<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
33,8	282,00	143,98	203	960	741,66	13,28	20,23	24,41	32,10
33,9	281,57	144,41	203	960	741,66	13,28	20,17	24,34	32,03
34	281,15	144,83	203	960	741,66	13,28	20,13	24,27	31,96
34,1	280,72	145,26	203	960	741,66	13,28	20,09	24,19	31,88
34,2	280,29	145,68	203	960	741,66	13,27	20,05	24,12	31,81
34,3	279,87	146,11	203	960	741,66	13,27	20,01	24,05	31,73
34,4	279,44	146,54	203	960	741,66	13,27	19,97	23,97	31,66
34,5	279,02	146,96	203	960	741,66	13,26	19,93	23,90	31,57
34,6	278,59	147,39	203	960	741,66	13,26	19,88	23,82	31,48
34,7	278,16	147,81	203	960	741,66	13,26	19,84	23,75	31,38
34,8	277,74	148,24	203	960	741,66	13,26	19,80	23,68	31,29
34,9	277,31	148,67	203	960	741,66	13,26	19,76	23,60	31,20
35	276,89	149,09	203	960	741,66	13,26	19,72	23,53	31,11
35,1	276,46	149,52	203	960	741,66	13,25	19,67	23,47	31,02
35,2	276,03	149,94	203	960	741,66	13,25	19,62	23,40	30,93
35,3	275,61	150,37	203	960	741,66	13,25	19,54	23,34	30,84
35,4	275,18	150,80	203	960	741,66	13,25	19,47	23,28	30,75
35,5	274,76	151,22	203	960	741,66	13,25	19,39	23,21	30,66
35,6	274,33	151,65	203	960	741,66	13,25	19,32	23,15	30,57
35,7	273,90	152,07	203	960	741,66	13,25	19,24	23,09	30,48
35,8	273,48	152,50	203	960	741,66	13,25	19,20	23,02	30,38
35,9	273,05	152,93	203	960	741,66	13,25	19,17	22,96	30,29
36	272,63	153,35	203	960	741,66	13,25	19,15	22,90	30,20
36,1	272,20	153,78	203	960	741,66	13,25	19,13	22,83	30,11
36,2	271,77	154,20	203	960	741,66	13,25	19,10	22,77	30,02
36,3	271,35	154,63	203	960	741,66	13,25	19,08	22,71	29,93
36,4	270,92	155,06	203	960	741,66	13,25	19,06	22,64	29,84
36,5	270,50	155,48	203	960	741,66	13,25	19,05	22,58	29,75
36,6	270,07	155,91	203	960	741,66	13,25	19,03	22,52	29,66
36,7	269,64	156,33	203	960	741,66	13,24	19,01	22,45	29,57
36,8	269,22	156,76	203	960	741,66	13,23	18,99	22,39	29,47
36,9	268,79	157,19	203	960	741,66	13,22	18,97	22,32	29,38
37	268,37	157,61	203	960	741,66	13,21	18,95	22,26	29,29
37,1	267,94	158,04	203	960	741,66	13,20	18,94	22,20	29,20
37,2	267,51	158,46	203	960	741,66	13,20	18,92	22,13	29,11
37,3	267,09	158,89	203	960	741,66	13,21	18,90	22,07	29,02
37,4	266,66	159,32	203	960	741,66	13,22	18,88	22,01	28,93
37,5	266,24	159,74	203	960	741,66	13,23	18,86	21,94	28,84

Kadar Fly Ash (%)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
37,6	265,81	160,17	203	960	741,66	13,24	18,84	21,88	28,75
37,7	265,38	160,59	203	960	741,66	13,25	18,81	21,82	28,68
37,8	264,96	161,02	203	960	741,66	13,27	18,79	21,75	28,61
37,9	264,53	161,45	203	960	741,66	13,28	18,77	21,69	28,54
38	264,11	161,87	203	960	741,66	13,29	18,75	21,63	28,47
38,1	263,68	162,30	203	960	741,66	13,30	18,72	21,57	28,43
38,2	263,25	162,72	203	960	741,66	13,31	18,70	21,50	28,39
38,3	262,83	163,15	203	960	741,66	13,32	18,68	21,44	28,36
38,4	262,40	163,58	203	960	741,66	13,33	18,65	21,38	28,35
38,5	261,98	164,00	203	960	741,66	13,35	18,63	21,32	28,34
38,6	261,55	164,43	203	960	741,66	13,36	18,61	21,25	28,33
38,7	261,12	164,85	203	960	741,66	13,37	18,58	21,19	28,32
38,8	260,70	165,28	203	960	741,66	13,38	18,56	21,13	28,31
38,9	260,27	165,71	203	960	741,66	13,39	18,54	21,07	28,30
39	259,85	166,13	203	960	741,66	13,41	18,51	21,00	28,29
39,1	259,42	166,56	203	960	741,66	13,42	18,49	20,94	28,28
39,2	258,99	166,98	203	960	741,66	13,43	18,47	20,88	28,27
39,3	258,57	167,41	203	960	741,66	13,44	18,44	20,82	28,25
39,4	258,14	167,84	203	960	741,66	13,45	18,42	20,76	28,24
39,5	257,72	168,26	203	960	741,66	13,46	18,40	20,71	28,23
39,6	257,29	168,69	203	960	741,66	13,47	18,37	20,65	28,22
39,7	256,86	169,11	203	960	741,66	13,48	18,35	20,59	28,22
39,8	256,44	169,54	203	960	741,66	13,49	18,33	20,53	28,21
39,9	256,01	169,97	203	960	741,66	13,50	18,31	20,48	28,20
40	255,59	170,39	203	960	741,66	13,52	18,28	20,42	28,20
40,1	255,16	170,82	203	960	741,66	13,53	18,26	20,36	28,19
40,2	254,73	171,24	203	960	741,66	13,54	18,24	20,30	28,18
40,3	254,31	171,67	203	960	741,66	13,55	18,23	20,25	28,17
40,4	253,88	172,10	203	960	741,66	13,56	18,22	20,19	28,17
40,5	253,46	172,52	203	960	741,66	13,57	18,20	20,13	28,16
40,6	253,03	172,95	203	960	741,66	13,58	18,19	20,07	28,15
40,7	252,60	173,37	203	960	741,66	13,59	18,18	20,02	28,15
40,8	252,18	173,80	203	960	741,66	13,60	18,17	19,96	28,14
40,9	251,75	174,22	203	960	741,66	13,62	18,15	19,90	28,13
41	251,33	174,65	203	960	741,66	13,63	18,14	19,84	28,12
41,1	250,90	175,08	203	960	741,66	13,64	18,13	19,79	28,11
41,2	250,47	175,50	203	960	741,66	13,65	18,12	19,73	28,10
41,3	250,05	175,93	203	960	741,66	13,66	18,11	19,68	28,09

Kadar Fly Ash (%)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
41,4	249,62	176,35	203	960	741,66	13,67	18,10	19,64	28,08
41,5	249,20	176,78	203	960	741,66	13,68	18,09	19,59	28,07
41,6	248,77	177,21	203	960	741,66	13,69	18,08	19,55	28,06
41,7	248,35	177,63	203	960	741,66	13,70	18,07	19,52	28,04
41,8	247,92	178,06	203	960	741,66	13,72	18,06	19,52	28,03
41,9	247,49	178,48	203	960	741,66	13,72	18,05	19,51	28,02
42	247,07	178,91	203	960	741,66	13,73	18,04	19,51	28,01
42,1	246,64	179,34	203	960	741,66	13,74	18,04	19,50	28,00
42,2	246,22	179,76	203	960	741,66	13,75	18,03	19,49	27,99
42,3	245,79	180,19	203	960	741,66	13,76	18,02	19,50	27,95
42,4	245,36	180,61	203	960	741,66	13,77	18,01	19,50	27,90
42,5	244,94	181,04	203	960	741,66	13,78	18,00	19,51	27,86
42,6	244,51	181,47	203	960	741,66	13,79	18,00	19,51	27,82
42,7	244,09	181,89	203	960	741,66	13,80	17,99	19,52	27,78
42,8	243,66	182,32	203	960	741,66	13,81	17,98	19,53	27,73
42,9	243,23	182,74	203	960	741,66	13,82	17,97	19,53	27,69
43	242,81	183,17	203	960	741,66	13,83	17,96	19,54	27,63
43,1	242,38	183,60	203	960	741,66	13,84	17,96	19,55	27,57
43,2	241,96	184,02	203	960	741,66	13,85	17,97	19,55	27,50
43,3	241,53	184,45	203	960	741,66	13,87	17,97	19,56	27,43
43,4	241,10	184,87	203	960	741,66	13,88	17,98	19,57	27,36
43,5	240,68	185,30	203	960	741,66	13,90	17,98	19,58	27,29
43,6	240,25	185,73	203	960	741,66	13,91	17,98	19,58	27,23
43,7	239,83	186,15	203	960	741,66	13,93	17,99	19,59	27,16
43,8	239,40	186,58	203	960	741,66	13,94	17,99	19,60	27,09
43,9	238,97	187,00	203	960	741,66	13,95	18,00	19,60	27,02
44	238,55	187,43	203	960	741,66	13,95	18,01	19,61	26,94
44,1	238,12	187,86	203	960	741,66	13,95	18,02	19,63	26,87
44,2	237,70	188,28	203	960	741,66	13,96	18,04	19,65	26,81
44,3	237,27	188,71	203	960	741,66	13,96	18,05	19,67	26,77
44,4	236,84	189,13	203	960	741,66	13,96	18,06	19,69	26,72
44,5	236,42	189,56	203	960	741,66	13,97	18,07	19,72	26,68
44,6	235,99	189,99	203	960	741,66	13,97	18,08	19,75	26,63
44,7	235,57	190,41	203	960	741,66	13,97	18,09	19,78	26,59
44,8	235,14	190,84	203	960	741,66	13,98	18,11	19,82	26,55
44,9	234,71	191,26	203	960	741,66	13,98	18,11	19,85	26,50
45	234,29	191,69	203	960	741,66	13,98	18,12	19,88	26,46
45,1	233,86	192,12	203	960	741,66	14,00	18,13	19,91	26,42

Kadar Fly Ash (%)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
45,2	233,44	192,54	203	960	741,66	14,01	18,14	19,94	26,37
45,3	233,01	192,97	203	960	741,66	14,02	18,14	19,97	26,33
45,4	232,58	193,39	203	960	741,66	14,03	18,15	20,00	26,29
45,5	232,16	193,82	203	960	741,66	14,05	18,16	20,03	26,25
45,6	231,73	194,25	203	960	741,66	14,06	18,17	20,06	26,21
45,7	231,31	194,67	203	960	741,66	14,07	18,17	20,09	26,17
45,8	230,88	195,10	203	960	741,66	14,08	18,18	20,11	26,13
45,9	230,45	195,52	203	960	741,66	14,09	18,19	20,14	26,09
46	230,03	195,95	203	960	741,66	14,11	18,20	20,16	26,04
46,1	229,60	196,38	203	960	741,66	14,12	18,20	20,19	26,00
46,2	229,18	196,80	203	960	741,66	14,13	18,21	20,21	25,96
46,3	228,75	197,23	203	960	741,66	14,14	18,22	20,24	25,92
46,4	228,32	197,65	203	960	741,66	14,16	18,23	20,26	25,88
46,5	227,90	198,08	203	960	741,66	14,17	18,23	20,29	25,84
46,6	227,47	198,51	203	960	741,66	14,18	18,24	20,32	25,80
46,7	227,05	198,93	203	960	741,66	14,18	18,25	20,35	25,76
46,8	226,62	199,36	203	960	741,66	14,19	18,26	20,39	25,72
46,9	226,19	199,78	203	960	741,66	14,19	18,27	20,42	25,67
47	225,77	200,21	203	960	741,66	14,19	18,28	20,45	25,63
47,1	225,34	200,64	203	960	741,66	14,19	18,30	20,49	25,59
47,2	224,92	201,06	203	960	741,66	14,19	18,31	20,52	25,55
47,3	224,49	201,49	203	960	741,66	14,19	18,32	20,55	25,51
47,4	224,06	201,91	203	960	741,66	14,19	18,33	20,59	25,47
47,5	223,64	202,34	203	960	741,66	14,19	18,34	20,62	25,42
47,6	223,21	202,77	203	960	741,66	14,19	18,37	20,65	25,38
47,7	222,79	203,19	203	960	741,66	14,19	18,40	20,69	25,34
47,8	222,36	203,62	203	960	741,66	14,21	18,43	20,72	25,30
47,9	221,93	204,04	203	960	741,66	14,23	18,46	20,76	25,26
48	221,51	204,47	203	960	741,66	14,25	18,47	20,79	25,22
48,1	221,08	204,90	203	960	741,66	14,28	18,48	20,82	25,17
48,2	220,66	205,32	203	960	741,66	14,32	18,49	20,86	25,13
48,3	220,23	205,75	203	960	741,66	14,37	18,51	20,89	25,09
48,4	219,80	206,17	203	960	741,66	14,42	18,52	20,92	25,05
48,5	219,38	206,60	203	960	741,66	14,49	18,53	20,96	25,01
48,6	218,95	207,03	203	960	741,66	14,56	18,54	21,00	24,97
48,7	218,53	207,45	203	960	741,66	14,62	18,55	21,03	24,92
48,8	218,10	207,88	203	960	741,66	14,69	18,57	21,07	24,88
48,9	217,67	208,30	203	960	741,66	14,76	18,58	21,10	24,84

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Semen (kg/m ³)	<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
49	217,25	208,73	203	960	741,66	14,83	18,59	21,14	24,80
49,1	216,82	209,16	203	960	741,66	14,88	18,60	21,17	24,76
49,2	216,40	209,58	203	960	741,66	14,93	18,62	21,21	24,72
49,3	215,97	210,01	203	960	741,66	14,98	18,63	21,25	24,67
49,4	215,54	210,43	203	960	741,66	15,01	18,64	21,29	24,66
49,5	215,12	210,86	203	960	741,66	15,05	18,65	21,33	24,68
49,6	214,69	211,28	203	960	741,66	15,08	18,66	21,37	24,69
49,7	214,27	211,71	203	960	741,66	15,12	18,68	21,41	24,71
49,8	213,84	212,14	203	960	741,66	15,15	18,69	21,45	24,72
49,9	213,41	212,56	203	960	741,66	15,19	18,70	21,49	24,73
50	212,99	212,99	203	960	741,66	15,22	18,71	21,53	24,75



Lampiran 3 Proporsi Campuran Beton dan Hasil Prediksi Kuat Tekan
Kasus 4

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
0	425,98	0,00	203	960	741,66	23,40	25,65	26,19	33,56
0,1	425,55	0,43	203	960	741,66	23,38	25,64	26,20	33,57
0,2	425,13	0,85	203	960	741,66	23,36	25,64	26,20	33,57
0,3	424,70	1,28	203	960	741,66	23,35	25,64	26,21	33,58
0,4	424,27	1,70	203	960	741,66	23,33	25,63	26,21	33,59
0,5	423,85	2,13	203	960	741,66	23,32	25,63	26,22	33,60
0,6	423,42	2,56	203	960	741,66	23,30	25,62	26,22	33,61
0,7	423,00	2,98	203	960	741,66	23,28	25,62	26,23	33,65
0,8	422,57	3,41	203	960	741,66	23,27	25,61	26,23	33,69
0,9	422,14	3,83	203	960	741,66	23,25	25,61	26,24	33,74
1	421,72	4,26	203	960	741,66	23,23	25,60	26,24	33,78
1,1	421,29	4,69	203	960	741,66	23,22	25,60	26,25	33,82
1,2	420,87	5,11	203	960	741,66	23,20	25,59	26,26	33,86
1,3	420,44	5,54	203	960	741,66	23,19	25,59	26,26	33,91
1,4	420,01	5,96	203	960	741,66	23,17	25,58	26,27	33,96
1,5	419,59	6,39	203	960	741,66	23,15	25,58	26,27	34,01
1,6	419,16	6,82	203	960	741,66	23,14	25,57	26,28	34,06
1,7	418,74	7,24	203	960	741,66	23,12	25,57	26,29	34,11
1,8	418,31	7,67	203	960	741,66	23,10	25,57	26,33	34,16
1,9	417,88	8,09	203	960	741,66	23,09	25,56	26,39	34,21
2	417,46	8,52	203	960	741,66	23,07	25,56	26,45	34,26
2,1	417,03	8,95	203	960	741,66	23,06	25,55	26,51	34,31
2,2	416,61	9,37	203	960	741,66	23,04	25,55	26,57	34,36
2,3	416,18	9,80	203	960	741,66	23,02	25,54	26,64	34,41
2,4	415,75	10,22	203	960	741,66	23,00	25,54	26,70	34,45
2,5	415,33	10,65	203	960	741,66	22,97	25,53	26,76	34,50
2,6	414,90	11,08	203	960	741,66	22,94	25,52	26,82	34,55
2,7	414,48	11,50	203	960	741,66	22,91	25,49	26,89	34,60
2,8	414,05	11,93	203	960	741,66	22,88	25,47	26,95	34,65
2,9	413,62	12,35	203	960	741,66	22,85	25,44	27,01	34,70
3	413,20	12,78	203	960	741,66	22,82	25,42	27,07	34,75
3,1	412,77	13,21	203	960	741,66	22,79	25,39	27,14	34,80
3,2	412,35	13,63	203	960	741,66	22,77	25,36	27,20	34,85

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
3,3	411,92	14,06	203	960	741,66	22,74	25,33	27,26	34,90
3,4	411,49	14,48	203	960	741,66	22,71	25,30	27,32	34,95
3,5	411,07	14,91	203	960	741,66	22,68	25,28	27,38	35,00
3,6	410,64	15,34	203	960	741,66	22,65	25,26	27,45	35,05
3,7	410,22	15,76	203	960	741,66	22,62	25,24	27,51	35,10
3,8	409,79	16,19	203	960	741,66	22,59	25,23	27,57	35,15
3,9	409,36	16,61	203	960	741,66	22,57	25,21	27,63	35,20
4	408,94	17,04	203	960	741,66	22,54	25,19	27,70	35,25
4,1	408,51	17,47	203	960	741,66	22,51	25,17	27,76	35,30
4,2	408,09	17,89	203	960	741,66	22,49	25,15	27,82	35,35
4,3	407,66	18,32	203	960	741,66	22,48	25,13	27,88	35,40
4,4	407,23	18,74	203	960	741,66	22,47	25,11	27,95	35,45
4,5	406,81	19,17	203	960	741,66	22,45	25,09	28,01	35,50
4,6	406,38	19,59	203	960	741,66	22,44	25,07	28,07	35,54
4,7	405,96	20,02	203	960	741,66	22,43	25,05	28,13	35,59
4,8	405,53	20,45	203	960	741,66	22,42	25,03	28,19	35,64
4,9	405,10	20,87	203	960	741,66	22,40	25,01	28,26	35,69
5	404,68	21,30	203	960	741,66	22,39	24,99	28,32	35,74
5,1	404,25	21,72	203	960	741,66	22,38	24,96	28,38	35,79
5,2	403,83	22,15	203	960	741,66	22,37	24,94	28,44	35,84
5,3	403,40	22,58	203	960	741,66	22,35	24,92	28,51	35,89
5,4	402,97	23,00	203	960	741,66	22,34	24,90	28,57	35,94
5,5	402,55	23,43	203	960	741,66	22,33	24,88	28,63	35,98
5,6	402,12	23,85	203	960	741,66	22,32	24,86	28,69	36,02
5,7	401,70	24,28	203	960	741,66	22,30	24,84	28,76	36,07
5,8	401,27	24,71	203	960	741,66	22,28	24,82	28,82	36,12
5,9	400,85	25,13	203	960	741,66	22,25	24,80	28,88	36,18
6	400,42	25,56	203	960	741,66	22,23	24,78	28,94	36,24
6,1	399,99	25,98	203	960	741,66	22,20	24,75	29,00	36,30
6,2	399,57	26,41	203	960	741,66	22,17	24,73	29,07	36,37
6,3	399,14	26,84	203	960	741,66	22,15	24,71	29,13	36,43
6,4	398,72	27,26	203	960	741,66	22,11	24,66	29,19	36,49
6,5	398,29	27,69	203	960	741,66	22,07	24,62	29,25	36,55
6,6	397,86	28,11	203	960	741,66	22,03	24,58	29,32	36,61
6,7	397,44	28,54	203	960	741,66	21,98	24,54	29,38	36,67
6,8	397,01	28,97	203	960	741,66	21,94	24,54	29,44	36,73
6,9	396,59	29,39	203	960	741,66	21,90	24,54	29,50	36,79

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
7	396,16	29,82	203	960	741,66	21,87	24,55	29,57	36,85
7,1	395,73	30,24	203	960	741,66	21,83	24,55	29,63	36,91
7,2	395,31	30,67	203	960	741,66	21,80	24,54	29,69	36,97
7,3	394,88	31,10	203	960	741,66	21,79	24,53	29,76	37,03
7,4	394,46	31,52	203	960	741,66	21,77	24,52	29,82	37,09
7,5	394,03	31,95	203	960	741,66	21,71	24,51	29,89	37,16
7,6	393,60	32,37	203	960	741,66	21,66	24,50	29,95	37,23
7,7	393,18	32,80	203	960	741,66	21,61	24,49	30,03	37,30
7,8	392,75	33,23	203	960	741,66	21,56	24,49	30,11	37,37
7,9	392,33	33,65	203	960	741,66	21,51	24,48	30,19	37,44
8	391,90	34,08	203	960	741,66	21,46	24,47	30,27	37,51
8,1	391,47	34,50	203	960	741,66	21,40	24,46	30,34	37,58
8,2	391,05	34,93	203	960	741,66	21,35	24,45	30,41	37,65
8,3	390,62	35,36	203	960	741,66	21,31	24,44	30,48	37,73
8,4	390,20	35,78	203	960	741,66	21,28	24,43	30,54	37,80
8,5	389,77	36,21	203	960	741,66	21,25	24,42	30,60	37,86
8,6	389,34	36,63	203	960	741,66	21,23	24,42	30,67	37,93
8,7	388,92	37,06	203	960	741,66	21,20	24,41	30,75	38,00
8,8	388,49	37,49	203	960	741,66	21,17	24,40	30,82	38,07
8,9	388,07	37,91	203	960	741,66	21,15	24,38	30,90	38,13
9	387,64	38,34	203	960	741,66	21,12	24,37	30,98	38,20
9,1	387,21	38,76	203	960	741,66	21,09	24,36	31,05	38,27
9,2	386,79	39,19	203	960	741,66	21,07	24,33	31,13	38,34
9,3	386,36	39,62	203	960	741,66	21,04	24,31	31,20	38,40
9,4	385,94	40,04	203	960	741,66	20,97	24,29	31,28	38,47
9,5	385,51	40,47	203	960	741,66	20,89	24,26	31,36	38,54
9,6	385,08	40,89	203	960	741,66	20,80	24,24	31,45	38,61
9,7	384,66	41,32	203	960	741,66	20,71	24,21	31,55	38,67
9,8	384,23	41,75	203	960	741,66	20,62	24,19	31,62	38,74
9,9	383,81	42,17	203	960	741,66	20,55	24,18	31,69	38,81
10	383,38	42,60	203	960	741,66	20,49	24,16	31,76	38,88
10,1	382,95	43,02	203	960	741,66	20,44	24,15	31,83	38,93
10,2	382,53	43,45	203	960	741,66	20,38	24,14	31,90	38,99
10,3	382,10	43,88	203	960	741,66	20,33	24,13	31,98	39,05
10,4	381,68	44,30	203	960	741,66	20,27	24,12	32,05	39,11
10,5	381,25	44,73	203	960	741,66	20,21	24,11	32,13	39,17
10,6	380,82	45,15	203	960	741,66	20,16	24,10	32,20	39,23

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
10,7	380,40	45,58	203	960	741,66	20,10	24,09	32,22	39,29
10,8	379,97	46,01	203	960	741,66	20,05	24,08	32,23	39,35
10,9	379,55	46,43	203	960	741,66	20,00	24,07	32,24	39,41
11	379,12	46,86	203	960	741,66	19,95	24,06	32,25	39,46
11,1	378,69	47,28	203	960	741,66	19,90	24,05	32,26	39,49
11,2	378,27	47,71	203	960	741,66	19,85	24,04	32,27	39,51
11,3	377,84	48,14	203	960	741,66	19,80	24,03	32,28	39,53
11,4	377,42	48,56	203	960	741,66	19,74	24,02	32,28	39,55
11,5	376,99	48,99	203	960	741,66	19,69	24,01	32,29	39,57
11,6	376,56	49,41	203	960	741,66	19,64	24,00	32,30	39,59
11,7	376,14	49,84	203	960	741,66	19,58	23,99	32,31	39,61
11,8	375,71	50,27	203	960	741,66	19,52	23,97	32,30	39,63
11,9	375,29	50,69	203	960	741,66	19,46	23,96	32,29	39,65
12	374,86	51,12	203	960	741,66	19,40	23,96	32,28	39,67
12,1	374,43	51,54	203	960	741,66	19,36	23,97	32,28	39,69
12,2	374,01	51,97	203	960	741,66	19,33	23,97	32,27	39,71
12,3	373,58	52,40	203	960	741,66	19,30	23,97	32,26	39,73
12,4	373,16	52,82	203	960	741,66	19,27	23,97	32,25	39,75
12,5	372,73	53,25	203	960	741,66	19,24	23,97	32,25	39,77
12,6	372,30	53,67	203	960	741,66	19,21	23,97	32,28	39,79
12,7	371,88	54,10	203	960	741,66	19,18	23,98	32,32	39,81
12,8	371,45	54,53	203	960	741,66	19,15	23,99	32,36	39,83
12,9	371,03	54,95	203	960	741,66	19,12	24,00	32,40	39,85
13	370,60	55,38	203	960	741,66	19,09	24,01	32,44	39,88
13,1	370,17	55,80	203	960	741,66	19,06	24,02	32,49	39,91
13,2	369,75	56,23	203	960	741,66	19,03	24,03	32,53	39,98
13,3	369,32	56,66	203	960	741,66	19,00	24,04	32,57	40,04
13,4	368,90	57,08	203	960	741,66	18,97	24,05	32,61	40,11
13,5	368,47	57,51	203	960	741,66	18,94	24,06	32,65	40,18
13,6	368,04	57,93	203	960	741,66	18,91	24,07	32,70	40,25
13,7	367,62	58,36	203	960	741,66	18,88	24,08	32,74	40,32
13,8	367,19	58,78	203	960	741,66	18,85	24,07	32,78	40,39
13,9	366,77	59,21	203	960	741,66	18,83	24,07	32,82	40,46
14	366,34	59,64	203	960	741,66	18,82	24,06	32,86	40,54
14,1	365,91	60,06	203	960	741,66	18,80	24,06	32,91	40,61
14,2	365,49	60,49	203	960	741,66	18,78	24,05	32,95	40,69
14,3	365,06	60,91	203	960	741,66	18,77	24,05	32,99	40,76

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
14,4	364,64	61,34	203	960	741,66	18,75	24,04	33,03	40,84
14,5	364,21	61,77	203	960	741,66	18,73	24,04	33,07	40,91
14,6	363,78	62,19	203	960	741,66	18,71	24,03	33,12	40,99
14,7	363,36	62,62	203	960	741,66	18,70	24,03	33,16	41,06
14,8	362,93	63,04	203	960	741,66	18,68	24,02	33,20	41,14
14,9	362,51	63,47	203	960	741,66	18,66	24,01	33,23	41,22
15	362,08	63,90	203	960	741,66	18,65	24,00	33,28	41,29
15,1	361,66	64,32	203	960	741,66	18,63	23,99	33,32	41,37
15,2	361,23	64,75	203	960	741,66	18,61	23,98	33,37	41,44
15,3	360,80	65,17	203	960	741,66	18,60	23,98	33,41	41,52
15,4	360,38	65,60	203	960	741,66	18,58	23,97	33,46	41,59
15,5	359,95	66,03	203	960	741,66	18,56	23,96	33,52	41,67
15,6	359,53	66,45	203	960	741,66	18,54	23,95	33,57	41,74
15,7	359,10	66,88	203	960	741,66	18,53	23,94	33,63	41,82
15,8	358,67	67,30	203	960	741,66	18,51	23,93	33,68	41,89
15,9	358,25	67,73	203	960	741,66	18,49	23,92	33,74	41,97
16	357,82	68,16	203	960	741,66	18,48	23,91	33,79	42,04
16,1	357,40	68,58	203	960	741,66	18,46	23,90	33,84	42,12
16,2	356,97	69,01	203	960	741,66	18,44	23,89	33,90	42,19
16,3	356,54	69,43	203	960	741,66	18,43	23,88	33,95	42,24
16,4	356,12	69,86	203	960	741,66	18,41	23,87	34,01	42,29
16,5	355,69	70,29	203	960	741,66	18,40	23,87	34,06	42,34
16,6	355,27	70,71	203	960	741,66	18,38	23,86	34,11	42,39
16,7	354,84	71,14	203	960	741,66	18,37	23,85	34,17	42,43
16,8	354,41	71,56	203	960	741,66	18,37	23,83	34,22	42,48
16,9	353,99	71,99	203	960	741,66	18,38	23,80	34,28	42,53
17	353,56	72,42	203	960	741,66	18,39	23,77	34,33	42,58
17,1	353,14	72,84	203	960	741,66	18,40	23,74	34,35	42,63
17,2	352,71	73,27	203	960	741,66	18,41	23,71	34,37	42,68
17,3	352,28	73,69	203	960	741,66	18,42	23,67	34,39	42,73
17,4	351,86	74,12	203	960	741,66	18,42	23,64	34,42	42,77
17,5	351,43	74,55	203	960	741,66	18,43	23,61	34,44	42,81
17,6	351,01	74,97	203	960	741,66	18,44	23,58	34,46	42,83
17,7	350,58	75,40	203	960	741,66	18,45	23,55	34,48	42,85
17,8	350,15	75,82	203	960	741,66	18,47	23,52	34,50	42,87
17,9	349,73	76,25	203	960	741,66	18,49	23,49	34,53	42,90
18	349,30	76,68	203	960	741,66	18,51	23,45	34,55	42,92

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
18,1	348,88	77,10	203	960	741,66	18,53	23,42	34,57	42,94
18,2	348,45	77,53	203	960	741,66	18,55	23,39	34,59	42,94
18,3	348,02	77,95	203	960	741,66	18,57	23,36	34,61	42,95
18,4	347,60	78,38	203	960	741,66	18,59	23,33	34,63	42,96
18,5	347,17	78,81	203	960	741,66	18,60	23,31	34,66	42,97
18,6	346,75	79,23	203	960	741,66	18,62	23,29	34,68	42,97
18,7	346,32	79,66	203	960	741,66	18,64	23,28	34,70	42,98
18,8	345,89	80,08	203	960	741,66	18,66	23,27	34,72	42,99
18,9	345,47	80,51	203	960	741,66	18,68	23,25	34,74	43,00
19	345,04	80,94	203	960	741,66	18,70	23,24	34,77	43,00
19,1	344,62	81,36	203	960	741,66	18,72	23,23	34,79	43,01
19,2	344,19	81,79	203	960	741,66	18,73	23,21	34,81	43,02
19,3	343,76	82,21	203	960	741,66	18,75	23,20	34,83	43,03
19,4	343,34	82,64	203	960	741,66	18,77	23,18	34,85	43,03
19,5	342,91	83,07	203	960	741,66	18,80	23,17	34,87	43,04
19,6	342,49	83,49	203	960	741,66	18,83	23,16	34,90	43,05
19,7	342,06	83,92	203	960	741,66	18,85	23,14	34,92	43,06
19,8	341,63	84,34	203	960	741,66	18,88	23,13	34,94	43,06
19,9	341,21	84,77	203	960	741,66	18,91	23,12	34,98	43,07
20	340,78	85,20	203	960	741,66	18,94	23,12	35,02	43,08
20,1	340,36	85,62	203	960	741,66	18,96	23,12	35,05	43,09
20,2	339,93	86,05	203	960	741,66	18,99	23,14	35,09	43,10
20,3	339,50	86,47	203	960	741,66	19,02	23,19	35,13	43,10
20,4	339,08	86,90	203	960	741,66	19,05	23,23	35,16	43,11
20,5	338,65	87,33	203	960	741,66	19,08	23,28	35,19	43,12
20,6	338,23	87,75	203	960	741,66	19,11	23,33	35,22	43,13
20,7	337,80	88,18	203	960	741,66	19,13	23,37	35,26	43,13
20,8	337,37	88,60	203	960	741,66	19,16	23,42	35,29	43,14
20,9	336,95	89,03	203	960	741,66	19,19	23,47	35,32	43,15
21	336,52	89,46	203	960	741,66	19,21	23,51	35,35	43,16
21,1	336,10	89,88	203	960	741,66	19,22	23,56	35,38	43,16
21,2	335,67	90,31	203	960	741,66	19,23	23,61	35,42	43,17
21,3	335,24	90,73	203	960	741,66	19,23	23,65	35,46	43,18
21,4	334,82	91,16	203	960	741,66	19,24	23,70	35,49	43,19
21,5	334,39	91,59	203	960	741,66	19,24	23,75	35,53	43,19
21,6	333,97	92,01	203	960	741,66	19,25	23,81	35,57	43,20
21,7	333,54	92,44	203	960	741,66	19,25	23,87	35,60	43,21

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
21,8	333,11	92,86	203	960	741,66	19,26	23,93	35,64	43,22
21,9	332,69	93,29	203	960	741,66	19,26	23,99	35,68	43,22
22	332,26	93,72	203	960	741,66	19,27	24,06	35,72	43,23
22,1	331,84	94,14	203	960	741,66	19,27	24,12	35,76	43,24
22,2	331,41	94,57	203	960	741,66	19,28	24,18	35,80	43,25
22,3	330,98	94,99	203	960	741,66	19,28	24,24	35,84	43,25
22,4	330,56	95,42	203	960	741,66	19,29	24,29	35,88	43,26
22,5	330,13	95,84	203	960	741,66	19,30	24,28	35,92	43,27
22,6	329,71	96,27	203	960	741,66	19,30	24,24	35,96	43,28
22,7	329,28	96,70	203	960	741,66	19,31	24,19	36,00	43,28
22,8	328,85	97,12	203	960	741,66	19,31	24,15	36,03	43,29
22,9	328,43	97,55	203	960	741,66	19,32	24,10	36,05	43,28
23	328,00	97,97	203	960	741,66	19,32	24,06	36,06	43,28
23,1	327,58	98,40	203	960	741,66	19,33	24,01	36,08	43,28
23,2	327,15	98,83	203	960	741,66	19,33	23,97	36,09	43,28
23,3	326,72	99,25	203	960	741,66	19,32	23,92	36,10	43,27
23,4	326,30	99,68	203	960	741,66	19,32	23,87	36,12	43,26
23,5	325,87	100,10	203	960	741,66	19,31	23,83	36,13	43,25
23,6	325,45	100,53	203	960	741,66	19,31	23,78	36,14	43,23
23,7	325,02	100,96	203	960	741,66	19,30	23,74	36,14	43,22
23,8	324,60	101,38	203	960	741,66	19,29	23,70	36,13	43,20
23,9	324,17	101,81	203	960	741,66	19,29	23,66	36,12	43,19
24	323,74	102,23	203	960	741,66	19,28	23,62	36,11	43,17
24,1	323,32	102,66	203	960	741,66	19,27	23,58	36,10	43,16
24,2	322,89	103,09	203	960	741,66	19,27	23,54	36,09	43,15
24,3	322,47	103,51	203	960	741,66	19,26	23,50	36,08	43,13
24,4	322,04	103,94	203	960	741,66	19,25	23,45	36,07	43,12
24,5	321,61	104,36	203	960	741,66	19,25	23,41	36,06	43,10
24,6	321,19	104,79	203	960	741,66	19,24	23,37	36,05	43,09
24,7	320,76	105,22	203	960	741,66	19,24	23,33	36,08	43,07
24,8	320,34	105,64	203	960	741,66	19,23	23,29	36,12	43,06
24,9	319,91	106,07	203	960	741,66	19,22	23,25	36,15	43,04
25	319,48	106,49	203	960	741,66	19,22	23,21	36,18	43,03
25,1	319,06	106,92	203	960	741,66	19,21	23,16	36,21	43,02
25,2	318,63	107,35	203	960	741,66	19,18	23,12	36,24	43,00
25,3	318,21	107,77	203	960	741,66	19,15	23,08	36,28	42,99
25,4	317,78	108,20	203	960	741,66	19,12	23,04	36,31	42,97

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
25,5	317,35	108,62	203	960	741,66	19,08	22,99	36,34	42,96
25,6	316,93	109,05	203	960	741,66	19,05	22,93	36,37	42,94
25,7	316,50	109,48	203	960	741,66	19,02	22,88	36,36	42,93
25,8	316,08	109,90	203	960	741,66	18,99	22,82	36,34	42,92
25,9	315,65	110,33	203	960	741,66	18,95	22,76	36,32	42,91
26	315,22	110,75	203	960	741,66	18,92	22,70	36,29	42,90
26,1	314,80	111,18	203	960	741,66	18,89	22,65	36,26	42,89
26,2	314,37	111,61	203	960	741,66	18,86	22,59	36,24	42,88
26,3	313,95	112,03	203	960	741,66	18,83	22,53	36,21	42,87
26,4	313,52	112,46	203	960	741,66	18,79	22,47	36,19	42,84
26,5	313,09	112,88	203	960	741,66	18,76	22,41	36,16	42,80
26,6	312,67	113,31	203	960	741,66	18,73	22,35	36,14	42,76
26,7	312,24	113,74	203	960	741,66	18,70	22,29	36,11	42,71
26,8	311,82	114,16	203	960	741,66	18,66	22,24	36,08	42,67
26,9	311,39	114,59	203	960	741,66	18,63	22,19	36,06	42,62
27	310,96	115,01	203	960	741,66	18,60	22,16	36,03	42,58
27,1	310,54	115,44	203	960	741,66	18,57	22,12	36,01	42,53
27,2	310,11	115,87	203	960	741,66	18,54	22,08	35,98	42,49
27,3	309,69	116,29	203	960	741,66	18,50	22,04	35,96	42,44
27,4	309,26	116,72	203	960	741,66	18,47	22,01	35,93	42,40
27,5	308,83	117,14	203	960	741,66	18,44	21,97	35,90	42,33
27,6	308,41	117,57	203	960	741,66	18,41	21,93	35,88	42,20
27,7	307,98	118,00	203	960	741,66	18,37	21,90	35,85	42,07
27,8	307,56	118,42	203	960	741,66	18,34	21,86	35,83	41,94
27,9	307,13	118,85	203	960	741,66	18,30	21,82	35,80	41,81
28	306,70	119,27	203	960	741,66	18,26	21,79	35,78	41,68
28,1	306,28	119,70	203	960	741,66	18,22	21,75	35,75	41,55
28,2	305,85	120,13	203	960	741,66	18,18	21,71	35,72	41,42
28,3	305,43	120,55	203	960	741,66	18,14	21,68	35,70	41,30
28,4	305,00	120,98	203	960	741,66	18,11	21,65	35,67	41,18
28,5	304,57	121,40	203	960	741,66	18,07	21,61	35,65	41,06
28,6	304,15	121,83	203	960	741,66	18,03	21,58	35,62	40,94
28,7	303,72	122,26	203	960	741,66	17,99	21,55	35,60	40,81
28,8	303,30	122,68	203	960	741,66	17,95	21,52	35,57	40,69
28,9	302,87	123,11	203	960	741,66	17,92	21,48	35,54	40,59
29	302,44	123,53	203	960	741,66	17,88	21,43	35,51	40,55
29,1	302,02	123,96	203	960	741,66	17,84	21,38	35,48	40,52

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
29,2	301,59	124,39	203	960	741,66	17,80	21,34	35,45	40,49
29,3	301,17	124,81	203	960	741,66	17,76	21,29	35,43	40,44
29,4	300,74	125,24	203	960	741,66	17,72	21,24	35,40	40,38
29,5	300,31	125,66	203	960	741,66	17,69	21,20	35,37	40,31
29,6	299,89	126,09	203	960	741,66	17,65	21,17	35,34	40,22
29,7	299,46	126,52	203	960	741,66	17,61	21,14	35,31	40,12
29,8	299,04	126,94	203	960	741,66	17,56	21,12	35,29	40,01
29,9	298,61	127,37	203	960	741,66	17,49	21,09	35,26	39,91
30	298,18	127,79	203	960	741,66	17,42	21,06	35,24	39,81
30,1	297,76	128,22	203	960	741,66	17,36	21,04	35,22	39,70
30,2	297,33	128,65	203	960	741,66	17,29	21,01	35,20	39,59
30,3	296,91	129,07	203	960	741,66	17,22	20,98	35,18	39,48
30,4	296,48	129,50	203	960	741,66	17,16	20,96	35,16	39,38
30,5	296,05	129,92	203	960	741,66	17,09	20,93	35,14	39,27
30,6	295,63	130,35	203	960	741,66	17,03	20,90	35,11	39,17
30,7	295,20	130,78	203	960	741,66	16,96	20,88	35,08	39,06
30,8	294,78	131,20	203	960	741,66	16,89	20,86	35,05	38,95
30,9	294,35	131,63	203	960	741,66	16,83	20,84	35,02	38,85
31	293,92	132,05	203	960	741,66	16,77	20,82	34,98	38,75
31,1	293,50	132,48	203	960	741,66	16,71	20,80	34,94	38,65
31,2	293,07	132,91	203	960	741,66	16,67	20,77	34,90	38,56
31,3	292,65	133,33	203	960	741,66	16,64	20,75	34,86	38,46
31,4	292,22	133,76	203	960	741,66	16,60	20,73	34,82	38,38
31,5	291,79	134,18	203	960	741,66	16,56	20,71	34,78	38,31
31,6	291,37	134,61	203	960	741,66	16,53	20,68	34,74	38,24
31,7	290,94	135,03	203	960	741,66	16,49	20,66	34,70	38,17
31,8	290,52	135,46	203	960	741,66	16,46	20,65	34,66	38,10
31,9	290,09	135,89	203	960	741,66	16,43	20,63	34,62	38,03
32	289,66	136,31	203	960	741,66	16,40	20,61	34,57	37,97
32,1	289,24	136,74	203	960	741,66	16,35	20,59	34,53	37,91
32,2	288,81	137,16	203	960	741,66	16,30	20,57	34,48	37,91
32,3	288,39	137,59	203	960	741,66	16,25	20,56	34,44	37,92
32,4	287,96	138,02	203	960	741,66	16,20	20,54	34,39	37,93
32,5	287,53	138,44	203	960	741,66	16,15	20,52	34,35	37,93
32,6	287,11	138,87	203	960	741,66	16,10	20,50	34,31	37,94
32,7	286,68	139,29	203	960	741,66	16,05	20,48	34,26	37,95
32,8	286,26	139,72	203	960	741,66	16,00	20,46	34,22	37,95

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
32,9	285,83	140,15	203	960	741,66	15,95	20,44	34,16	37,96
33	285,41	140,57	203	960	741,66	15,90	20,43	34,09	37,97
33,1	284,98	141,00	203	960	741,66	15,84	20,41	34,03	37,98
33,2	284,55	141,42	203	960	741,66	15,78	20,39	34,00	37,98
33,3	284,13	141,85	203	960	741,66	15,73	20,37	33,97	37,99
33,4	283,70	142,28	203	960	741,66	15,67	20,35	33,93	38,00
33,5	283,28	142,70	203	960	741,66	15,64	20,33	33,90	38,00
33,6	282,85	143,13	203	960	741,66	15,62	20,31	33,87	38,01
33,7	282,42	143,55	203	960	741,66	15,60	20,30	33,84	38,00
33,8	282,00	143,98	203	960	741,66	15,59	20,28	33,81	37,99
33,9	281,57	144,41	203	960	741,66	15,57	20,26	33,78	37,98
34	281,15	144,83	203	960	741,66	15,55	20,24	33,74	37,98
34,1	280,72	145,26	203	960	741,66	15,53	20,23	33,71	37,97
34,2	280,29	145,68	203	960	741,66	15,52	20,21	33,68	37,96
34,3	279,87	146,11	203	960	741,66	15,50	20,19	33,65	37,96
34,4	279,44	146,54	203	960	741,66	15,48	20,17	33,62	37,95
34,5	279,02	146,96	203	960	741,66	15,47	20,16	33,58	37,94
34,6	278,59	147,39	203	960	741,66	15,45	20,14	33,55	37,93
34,7	278,16	147,81	203	960	741,66	15,43	20,12	33,51	37,93
34,8	277,74	148,24	203	960	741,66	15,41	20,10	33,47	37,92
34,9	277,31	148,67	203	960	741,66	15,40	20,09	33,43	37,92
35	276,89	149,09	203	960	741,66	15,38	20,07	33,39	37,91
35,1	276,46	149,52	203	960	741,66	15,36	20,06	33,35	37,91
35,2	276,03	149,94	203	960	741,66	15,34	20,05	33,30	37,90
35,3	275,61	150,37	203	960	741,66	15,33	20,03	33,24	37,90
35,4	275,18	150,80	203	960	741,66	15,31	20,02	33,16	37,89
35,5	274,76	151,22	203	960	741,66	15,29	20,01	33,09	37,89
35,6	274,33	151,65	203	960	741,66	15,27	19,99	33,01	37,88
35,7	273,90	152,07	203	960	741,66	15,26	19,98	32,92	37,87
35,8	273,48	152,50	203	960	741,66	15,24	19,96	32,83	37,87
35,9	273,05	152,93	203	960	741,66	15,22	19,95	32,75	37,86
36	272,63	153,35	203	960	741,66	15,20	19,94	32,66	37,86
36,1	272,20	153,78	203	960	741,66	15,19	19,92	32,57	37,85
36,2	271,77	154,20	203	960	741,66	15,17	19,91	32,49	37,85
36,3	271,35	154,63	203	960	741,66	15,15	19,90	32,40	37,84
36,4	270,92	155,06	203	960	741,66	15,13	19,88	32,32	37,84
36,5	270,50	155,48	203	960	741,66	15,10	19,87	32,23	37,83

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
36,6	270,07	155,91	203	960	741,66	15,06	19,86	32,14	37,83
36,7	269,64	156,33	203	960	741,66	15,03	19,84	32,06	37,82
36,8	269,22	156,76	203	960	741,66	14,99	19,83	31,97	37,81
36,9	268,79	157,19	203	960	741,66	14,95	19,81	31,88	37,81
37	268,37	157,61	203	960	741,66	14,92	19,80	31,80	37,79
37,1	267,94	158,04	203	960	741,66	14,89	19,79	31,71	37,78
37,2	267,51	158,46	203	960	741,66	14,85	19,77	31,63	37,76
37,3	267,09	158,89	203	960	741,66	14,82	19,76	31,54	37,74
37,4	266,66	159,32	203	960	741,66	14,79	19,75	31,45	37,72
37,5	266,24	159,74	203	960	741,66	14,75	19,73	31,37	37,70
37,6	265,81	160,17	203	960	741,66	14,72	19,72	31,28	37,69
37,7	265,38	160,59	203	960	741,66	14,69	19,71	31,20	37,67
37,8	264,96	161,02	203	960	741,66	14,66	19,69	31,11	37,65
37,9	264,53	161,45	203	960	741,66	14,63	19,68	31,02	37,63
38	264,11	161,87	203	960	741,66	14,60	19,67	30,94	37,62
38,1	263,68	162,30	203	960	741,66	14,57	19,65	30,85	37,60
38,2	263,25	162,72	203	960	741,66	14,53	19,64	30,76	37,58
38,3	262,83	163,15	203	960	741,66	14,50	19,62	30,68	37,56
38,4	262,40	163,58	203	960	741,66	14,47	19,61	30,59	37,55
38,5	261,98	164,00	203	960	741,66	14,44	19,60	30,50	37,53
38,6	261,55	164,43	203	960	741,66	14,41	19,58	30,42	37,51
38,7	261,12	164,85	203	960	741,66	14,38	19,57	30,33	37,49
38,8	260,70	165,28	203	960	741,66	14,35	19,56	30,24	37,47
38,9	260,27	165,71	203	960	741,66	14,31	19,54	30,16	37,46
39	259,85	166,13	203	960	741,66	14,28	19,53	30,07	37,44
39,1	259,42	166,56	203	960	741,66	14,25	19,52	29,99	37,42
39,2	258,99	166,98	203	960	741,66	14,22	19,50	29,90	37,41
39,3	258,57	167,41	203	960	741,66	14,19	19,49	29,82	37,39
39,4	258,14	167,84	203	960	741,66	14,16	19,47	29,73	37,37
39,5	257,72	168,26	203	960	741,66	14,13	19,46	29,65	37,35
39,6	257,29	168,69	203	960	741,66	14,10	19,45	29,56	37,34
39,7	256,86	169,11	203	960	741,66	14,07	19,43	29,47	37,32
39,8	256,44	169,54	203	960	741,66	14,04	19,42	29,43	37,30
39,9	256,01	169,97	203	960	741,66	14,01	19,41	29,38	37,29
40	255,59	170,39	203	960	741,66	13,98	19,39	29,33	37,27
40,1	255,16	170,82	203	960	741,66	13,95	19,38	29,29	37,25
40,2	254,73	171,24	203	960	741,66	13,92	19,37	29,24	37,24

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
40,3	254,31	171,67	203	960	741,66	13,89	19,35	29,19	37,22
40,4	253,88	172,10	203	960	741,66	13,86	19,34	29,14	37,20
40,5	253,46	172,52	203	960	741,66	13,83	19,33	29,09	37,18
40,6	253,03	172,95	203	960	741,66	13,80	19,31	29,04	37,17
40,7	252,60	173,37	203	960	741,66	13,78	19,30	28,99	37,15
40,8	252,18	173,80	203	960	741,66	13,75	19,28	28,94	37,13
40,9	251,75	174,22	203	960	741,66	13,71	19,27	28,89	37,11
41	251,33	174,65	203	960	741,66	13,68	19,26	28,84	37,10
41,1	250,90	175,08	203	960	741,66	13,64	19,24	28,80	37,08
41,2	250,47	175,50	203	960	741,66	13,60	19,23	28,76	37,05
41,3	250,05	175,93	203	960	741,66	13,56	19,22	28,73	37,03
41,4	249,62	176,35	203	960	741,66	13,53	19,20	28,70	37,01
41,5	249,20	176,78	203	960	741,66	13,49	19,19	28,67	36,99
41,6	248,77	177,21	203	960	741,66	13,45	19,18	28,64	36,97
41,7	248,35	177,63	203	960	741,66	13,42	19,17	28,61	36,95
41,8	247,92	178,06	203	960	741,66	13,38	19,15	28,58	36,93
41,9	247,49	178,48	203	960	741,66	13,34	19,14	28,57	36,91
42	247,07	178,91	203	960	741,66	13,31	19,13	28,56	36,89
42,1	246,64	179,34	203	960	741,66	13,27	19,11	28,55	36,87
42,2	246,22	179,76	203	960	741,66	13,23	19,10	28,54	36,84
42,3	245,79	180,19	203	960	741,66	13,19	19,09	28,53	36,82
42,4	245,36	180,61	203	960	741,66	13,16	19,08	28,52	36,80
42,5	244,94	181,04	203	960	741,66	13,12	19,06	28,51	36,78
42,6	244,51	181,47	203	960	741,66	13,08	19,05	28,50	36,76
42,7	244,09	181,89	203	960	741,66	13,05	19,04	28,49	36,74
42,8	243,66	182,32	203	960	741,66	13,01	19,03	28,48	36,72
42,9	243,23	182,74	203	960	741,66	12,97	19,02	28,47	36,70
43	242,81	183,17	203	960	741,66	12,93	19,01	28,46	36,68
43,1	242,38	183,60	203	960	741,66	12,90	19,00	28,45	36,66
43,2	241,96	184,02	203	960	741,66	12,86	18,99	28,44	36,63
43,3	241,53	184,45	203	960	741,66	12,82	18,98	28,44	36,61
43,4	241,10	184,87	203	960	741,66	12,79	18,97	28,44	36,59
43,5	240,68	185,30	203	960	741,66	12,75	18,94	28,43	36,57
43,6	240,25	185,73	203	960	741,66	12,71	18,91	28,43	36,55
43,7	239,83	186,15	203	960	741,66	12,68	18,88	28,43	36,53
43,8	239,40	186,58	203	960	741,66	12,64	18,85	28,43	36,52
43,9	238,97	187,00	203	960	741,66	12,60	18,83	28,42	36,50

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
44	238,55	187,43	203	960	741,66	12,56	18,81	28,43	36,48
44,1	238,12	187,86	203	960	741,66	12,53	18,79	28,43	36,46
44,2	237,70	188,28	203	960	741,66	12,49	18,76	28,44	36,44
44,3	237,27	188,71	203	960	741,66	12,45	18,74	28,44	36,41
44,4	236,84	189,13	203	960	741,66	12,42	18,72	28,44	36,39
44,5	236,42	189,56	203	960	741,66	12,39	18,69	28,44	36,37
44,6	235,99	189,99	203	960	741,66	12,36	18,67	28,43	36,34
44,7	235,57	190,41	203	960	741,66	12,33	18,64	28,43	36,32
44,8	235,14	190,84	203	960	741,66	12,29	18,62	28,43	36,30
44,9	234,71	191,26	203	960	741,66	12,26	18,61	28,42	36,27
45	234,29	191,69	203	960	741,66	12,23	18,60	28,42	36,25
45,1	233,86	192,12	203	960	741,66	12,20	18,59	28,42	36,23
45,2	233,44	192,54	203	960	741,66	12,17	18,58	28,42	36,21
45,3	233,01	192,97	203	960	741,66	12,14	18,57	28,41	36,18
45,4	232,58	193,39	203	960	741,66	12,11	18,57	28,41	36,17
45,5	232,16	193,82	203	960	741,66	12,08	18,56	28,41	36,15
45,6	231,73	194,25	203	960	741,66	12,05	18,55	28,41	36,14
45,7	231,31	194,67	203	960	741,66	12,02	18,54	28,41	36,13
45,8	230,88	195,10	203	960	741,66	11,99	18,54	28,41	36,11
45,9	230,45	195,52	203	960	741,66	11,96	18,53	28,41	36,10
46	230,03	195,95	203	960	741,66	11,93	18,52	28,41	36,08
46,1	229,60	196,38	203	960	741,66	11,90	18,51	28,41	36,07
46,2	229,18	196,80	203	960	741,66	11,87	18,50	28,41	36,05
46,3	228,75	197,23	203	960	741,66	11,83	18,50	28,41	36,04
46,4	228,32	197,65	203	960	741,66	11,80	18,49	28,41	36,02
46,5	227,90	198,08	203	960	741,66	11,77	18,48	28,40	36,01
46,6	227,47	198,51	203	960	741,66	11,74	18,48	28,40	35,99
46,7	227,05	198,93	203	960	741,66	11,74	18,47	28,40	35,98
46,8	226,62	199,36	203	960	741,66	11,73	18,46	28,40	35,96
46,9	226,19	199,78	203	960	741,66	11,73	18,46	28,40	35,95
47	225,77	200,21	203	960	741,66	11,73	18,45	28,41	35,93
47,1	225,34	200,64	203	960	741,66	11,72	18,44	28,41	35,92
47,2	224,92	201,06	203	960	741,66	11,72	18,43	28,41	35,90
47,3	224,49	201,49	203	960	741,66	11,72	18,43	28,42	35,89
47,4	224,06	201,91	203	960	741,66	11,71	18,42	28,42	35,87
47,5	223,64	202,34	203	960	741,66	11,71	18,41	28,42	35,86
47,6	223,21	202,77	203	960	741,66	11,71	18,41	28,42	35,84

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Kuat Tekan Umur 3 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 7 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 14 Hari (Mpa)	Kuat Tekan Umur 28 Hari (Mpa)
47,7	222,79	203,19	203	960	741,66	11,70	18,40	28,42	35,83
47,8	222,36	203,62	203	960	741,66	11,70	18,39	28,43	35,81
47,9	221,93	204,04	203	960	741,66	11,70	18,39	28,43	35,80
48	221,51	204,47	203	960	741,66	11,69	18,38	28,43	35,78
48,1	221,08	204,90	203	960	741,66	11,69	18,37	28,43	35,77
48,2	220,66	205,32	203	960	741,66	11,69	18,37	28,44	35,75
48,3	220,23	205,75	203	960	741,66	11,68	18,36	28,44	35,74
48,4	219,80	206,17	203	960	741,66	11,68	18,35	28,42	35,72
48,5	219,38	206,60	203	960	741,66	11,68	18,35	28,40	35,71
48,6	218,95	207,03	203	960	741,66	11,67	18,34	28,38	35,69
48,7	218,53	207,45	203	960	741,66	11,66	18,33	28,36	35,68
48,8	218,10	207,88	203	960	741,66	11,65	18,32	28,34	35,66
48,9	217,67	208,30	203	960	741,66	11,63	18,32	28,32	35,65
49	217,25	208,73	203	960	741,66	11,62	18,31	28,30	35,63
49,1	216,82	209,16	203	960	741,66	11,61	18,30	28,28	35,62
49,2	216,40	209,58	203	960	741,66	11,59	18,29	28,26	35,60
49,3	215,97	210,01	203	960	741,66	11,58	18,27	28,23	35,59
49,4	215,54	210,43	203	960	741,66	11,57	18,25	28,21	35,58
49,5	215,12	210,86	203	960	741,66	11,56	18,23	28,19	35,57
49,6	214,69	211,28	203	960	741,66	11,54	18,21	28,17	35,56
49,7	214,27	211,71	203	960	741,66	11,53	18,19	28,15	35,55
49,8	213,84	212,14	203	960	741,66	11,52	18,17	28,13	35,54
49,9	213,41	212,56	203	960	741,66	11,50	18,15	28,10	35,51
50	212,99	212,99	203	960	741,66	11,49	18,13	28,08	35,49

البحر الاستاذاني

Lampiran 4 Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 5

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
0	33,56	33,77	34,19	34,69	35,26	35,99	36,98	37,62	38,20	38,55	37,43
0,1	33,53	33,77	34,19	34,70	35,26	36,01	37,00	37,61	38,18	38,52	37,38
0,2	33,50	33,76	34,20	34,70	35,26	36,04	37,02	37,60	38,16	38,49	37,34
0,3	33,47	33,75	34,20	34,70	35,27	36,07	37,03	37,59	38,15	38,47	37,30
0,4	33,44	33,73	34,20	34,71	35,27	36,10	37,05	37,58	38,13	38,44	37,25
0,5	33,41	33,72	34,20	34,71	35,28	36,13	37,07	37,57	38,11	38,41	37,21
0,6	33,37	33,71	34,20	34,71	35,28	36,16	37,10	37,56	38,09	38,39	37,17
0,7	33,34	33,69	34,21	34,72	35,31	36,20	37,12	37,55	38,07	38,36	37,13
0,8	33,30	33,68	34,21	34,72	35,34	36,23	37,15	37,54	38,05	38,33	37,09
0,9	33,27	33,67	34,19	34,72	35,37	36,26	37,15	37,53	38,03	38,31	37,05
1	33,23	33,65	34,17	34,73	35,40	36,29	37,16	37,52	38,01	38,28	37,01
1,1	33,20	33,64	34,16	34,73	35,43	36,32	37,16	37,51	37,99	38,25	36,97
1,2	33,17	33,63	34,14	34,73	35,46	36,35	37,17	37,50	37,97	38,23	36,93
1,3	33,15	33,61	34,13	34,74	35,49	36,38	37,17	37,49	37,95	38,20	36,89
1,4	33,13	33,60	34,12	34,75	35,52	36,41	37,18	37,48	37,93	38,18	36,85
1,5	33,11	33,58	34,10	34,77	35,55	36,45	37,19	37,47	37,91	38,15	36,80
1,6	33,10	33,56	34,09	34,78	35,58	36,48	37,20	37,46	37,89	38,12	36,76
1,7	33,08	33,54	34,07	34,79	35,61	36,51	37,21	37,45	37,87	38,10	36,72
1,8	33,06	33,52	34,06	34,80	35,64	36,54	37,22	37,44	37,85	38,07	36,67
1,9	33,04	33,50	34,05	34,81	35,67	36,57	37,23	37,43	37,84	38,04	36,65
2	33,02	33,48	34,04	34,81	35,70	36,60	37,24	37,42	37,82	38,02	36,63
2,1	33,01	33,46	34,05	34,82	35,73	36,63	37,25	37,41	37,80	37,99	36,60
2,2	32,99	33,44	34,06	34,83	35,75	36,66	37,26	37,40	37,77	37,95	36,58
2,3	32,97	33,42	34,07	34,84	35,77	36,69	37,27	37,39	37,74	37,91	36,56
2,4	32,95	33,41	34,08	34,85	35,78	36,72	37,28	37,38	37,71	37,87	36,55
2,5	32,93	33,39	34,09	34,86	35,80	36,74	37,29	37,37	37,68	37,83	36,53
2,6	32,92	33,39	34,09	34,87	35,81	36,75	37,30	37,36	37,64	37,79	36,51
2,7	32,90	33,40	34,10	34,88	35,83	36,76	37,31	37,35	37,61	37,75	36,49
2,8	32,88	33,41	34,10	34,89	35,84	36,77	37,31	37,33	37,58	37,71	36,49
2,9	32,86	33,42	34,12	34,90	35,86	36,78	37,32	37,31	37,55	37,67	36,50
3	32,84	33,43	34,13	34,91	35,87	36,78	37,33	37,30	37,51	37,63	36,52
3,1	32,84	33,44	34,15	34,92	35,89	36,78	37,34	37,29	37,48	37,59	36,53
3,2	32,84	33,45	34,16	34,93	35,90	36,77	37,35	37,28	37,46	37,55	36,55
3,3	32,85	33,45	34,17	34,94	35,92	36,77	37,35	37,27	37,44	37,51	36,56
3,4	32,85	33,46	34,19	34,96	35,93	36,76	37,35	37,26	37,42	37,47	36,58

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
3,5	32,86	33,48	34,21	34,97	35,96	36,76	37,35	37,25	37,40	37,43	36,61
3,6	32,86	33,50	34,23	35,00	35,99	36,76	37,35	37,24	37,38	37,40	36,64
3,7	32,87	33,52	34,25	35,04	36,01	36,76	37,35	37,24	37,36	37,36	36,67
3,8	32,87	33,54	34,26	35,07	36,04	36,76	37,35	37,23	37,34	37,33	36,70
3,9	32,90	33,56	34,29	35,11	36,07	36,76	37,34	37,22	37,31	37,31	36,73
4	32,93	33,58	34,32	35,14	36,09	36,76	37,34	37,22	37,29	37,29	36,76
4,1	32,98	33,62	34,35	35,18	36,12	36,75	37,35	37,21	37,27	37,28	36,79
4,2	33,02	33,67	34,39	35,22	36,14	36,74	37,34	37,20	37,25	37,28	36,82
4,3	33,08	33,73	34,44	35,25	36,14	36,74	37,33	37,20	37,23	37,28	36,85
4,4	33,14	33,78	34,49	35,30	36,15	36,73	37,32	37,20	37,22	37,28	36,88
4,5	33,21	33,83	34,55	35,36	36,14	36,72	37,31	37,20	37,21	37,28	36,91
4,6	33,27	33,89	34,60	35,42	36,15	36,72	37,30	37,21	37,21	37,28	36,94
4,7	33,34	33,94	34,65	35,47	36,17	36,71	37,29	37,21	37,21	37,27	36,97
4,8	33,40	33,99	34,70	35,53	36,20	36,70	37,28	37,22	37,23	37,27	37,00
4,9	33,47	34,06	34,76	35,59	36,22	36,70	37,27	37,23	37,25	37,27	37,03
5	33,53	34,13	34,81	35,65	36,24	36,69	37,26	37,24	37,26	37,27	37,06
5,1	33,58	34,19	34,86	35,70	36,27	36,70	37,25	37,24	37,28	37,27	37,09
5,2	33,64	34,25	34,91	35,75	36,29	36,71	37,24	37,25	37,30	37,28	37,12
5,3	33,69	34,31	34,96	35,80	36,31	36,73	37,23	37,28	37,31	37,28	37,15
5,4	33,75	34,36	35,00	35,84	36,33	36,74	37,22	37,30	37,33	37,29	37,18
5,5	33,80	34,42	35,05	35,89	36,35	36,75	37,22	37,33	37,35	37,30	37,22
5,6	33,86	34,48	35,09	35,93	36,37	36,76	37,22	37,36	37,37	37,31	37,26
5,7	33,91	34,54	35,14	35,97	36,39	36,78	37,23	37,38	37,38	37,32	37,30
5,8	33,95	34,59	35,21	36,02	36,40	36,79	37,23	37,40	37,39	37,33	37,34
5,9	33,99	34,65	35,27	36,04	36,42	36,81	37,24	37,41	37,41	37,33	37,38
6	34,03	34,71	35,32	36,06	36,44	36,83	37,25	37,42	37,42	37,34	37,43
6,1	34,09	34,76	35,38	36,08	36,46	36,85	37,25	37,43	37,43	37,34	37,48
6,2	34,14	34,80	35,44	36,10	36,47	36,86	37,26	37,44	37,45	37,35	37,52
6,3	34,19	34,84	35,49	36,11	36,49	36,88	37,27	37,45	37,46	37,36	37,57
6,4	34,25	34,88	35,55	36,13	36,51	36,90	37,27	37,46	37,47	37,38	37,62
6,5	34,30	34,93	35,60	36,15	36,53	36,92	37,28	37,47	37,49	37,40	37,66
6,6	34,36	34,98	35,64	36,18	36,55	36,93	37,29	37,48	37,50	37,41	37,71
6,7	34,41	35,02	35,68	36,20	36,56	36,95	37,29	37,49	37,51	37,43	37,76
6,8	34,47	35,06	35,71	36,23	36,58	36,97	37,30	37,50	37,53	37,44	37,80
6,9	34,52	35,10	35,75	36,26	36,60	36,99	37,31	37,51	37,54	37,46	37,84
7	34,56	35,13	35,80	36,27	36,62	37,01	37,32	37,51	37,55	37,48	37,89
7,1	34,60	35,17	35,84	36,28	36,64	37,02	37,33	37,52	37,57	37,49	37,93

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
7,2	34,64	35,21	35,89	36,29	36,65	37,04	37,35	37,53	37,58	37,51	37,97
7,3	34,68	35,25	35,94	36,30	36,67	37,06	37,36	37,53	37,60	37,52	38,01
7,4	34,71	35,29	36,01	36,32	36,68	37,08	37,38	37,54	37,62	37,54	38,05
7,5	34,75	35,34	36,09	36,33	36,68	37,09	37,39	37,55	37,63	37,56	38,09
7,6	34,79	35,40	36,13	36,35	36,69	37,11	37,41	37,55	37,65	37,57	38,13
7,7	34,85	35,47	36,16	36,37	36,69	37,13	37,42	37,56	37,67	37,58	38,17
7,8	34,91	35,53	36,19	36,39	36,70	37,14	37,44	37,56	37,69	37,59	38,20
7,9	34,98	35,60	36,22	36,41	36,71	37,15	37,45	37,57	37,71	37,62	38,24
8	35,04	35,67	36,25	36,43	36,72	37,15	37,47	37,58	37,72	37,66	38,28
8,1	35,11	35,74	36,28	36,45	36,74	37,16	37,48	37,58	37,73	37,70	38,32
8,2	35,17	35,82	36,31	36,47	36,76	37,16	37,49	37,59	37,74	37,74	38,36
8,3	35,24	35,89	36,34	36,49	36,78	37,17	37,49	37,60	37,75	37,78	38,40
8,4	35,30	35,96	36,37	36,51	36,80	37,18	37,49	37,60	37,76	37,81	38,44
8,5	35,37	36,04	36,40	36,53	36,82	37,19	37,49	37,61	37,78	37,85	38,47
8,6	35,43	36,11	36,43	36,55	36,84	37,21	37,50	37,62	37,79	37,89	38,51
8,7	35,50	36,18	36,46	36,57	36,86	37,22	37,50	37,62	37,81	37,93	38,55
8,8	35,56	36,26	36,49	36,59	36,88	37,23	37,51	37,62	37,82	37,97	38,59
8,9	35,63	36,33	36,52	36,61	36,90	37,25	37,52	37,62	37,84	38,01	38,63
9	35,69	36,40	36,55	36,63	36,92	37,26	37,53	37,63	37,86	38,05	38,67
9,1	35,76	36,48	36,58	36,65	36,94	37,27	37,54	37,63	37,87	38,09	38,71
9,2	35,82	36,54	36,61	36,68	36,96	37,29	37,55	37,64	37,88	38,13	38,74
9,3	35,89	36,57	36,64	36,71	36,97	37,30	37,56	37,65	37,89	38,17	38,78
9,4	35,95	36,60	36,67	36,74	36,99	37,31	37,57	37,66	37,90	38,20	38,82
9,5	36,02	36,63	36,70	36,77	37,01	37,33	37,58	37,66	37,91	38,24	38,86
9,6	36,08	36,66	36,73	36,80	37,03	37,34	37,59	37,67	37,93	38,28	38,91
9,7	36,14	36,69	36,76	36,83	37,05	37,35	37,60	37,68	37,95	38,31	38,96
9,8	36,21	36,71	36,79	36,86	37,07	37,37	37,61	37,69	37,98	38,35	39,01
9,9	36,27	36,74	36,82	36,90	37,09	37,39	37,62	37,70	38,00	38,39	39,06
10	36,34	36,77	36,85	36,93	37,11	37,41	37,63	37,71	38,03	38,42	39,10
10,1	36,41	36,80	36,88	36,96	37,13	37,43	37,64	37,72	38,06	38,47	39,14
10,2	36,48	36,83	36,91	36,99	37,15	37,45	37,65	37,73	38,08	38,52	39,17
10,3	36,55	36,86	36,94	37,02	37,17	37,47	37,66	37,74	38,11	38,57	39,21
10,4	36,62	36,89	36,97	37,05	37,19	37,49	37,67	37,76	38,13	38,62	39,25
10,5	36,70	36,92	37,00	37,08	37,21	37,50	37,68	37,77	38,16	38,67	39,29
10,6	36,77	36,95	37,03	37,11	37,23	37,52	37,69	37,78	38,19	38,72	39,34
10,7	36,84	36,98	37,05	37,14	37,25	37,54	37,70	37,80	38,21	38,76	39,38
10,8	36,91	37,01	37,08	37,16	37,27	37,56	37,72	37,81	38,24	38,79	39,43

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
10,9	36,97	37,03	37,11	37,19	37,29	37,58	37,73	37,83	38,26	38,83	39,47
11	37,02	37,06	37,14	37,22	37,31	37,60	37,74	37,84	38,29	38,86	39,52
11,1	37,07	37,09	37,17	37,25	37,33	37,62	37,75	37,86	38,32	38,90	39,57
11,2	37,12	37,12	37,20	37,28	37,36	37,64	37,76	37,88	38,34	38,93	39,61
11,3	37,12	37,15	37,23	37,31	37,39	37,66	37,78	37,90	38,37	38,97	39,66
11,4	37,12	37,18	37,26	37,34	37,42	37,68	37,80	37,91	38,39	39,01	39,70
11,5	37,12	37,21	37,29	37,37	37,45	37,70	37,81	37,93	38,42	39,05	39,75
11,6	37,12	37,24	37,32	37,40	37,48	37,72	37,83	37,95	38,44	39,09	39,79
11,7	37,12	37,27	37,35	37,43	37,50	37,74	37,84	37,97	38,45	39,11	39,82
11,8	37,13	37,30	37,37	37,45	37,53	37,76	37,86	37,99	38,47	39,13	39,83
11,9	37,13	37,32	37,40	37,48	37,56	37,78	37,88	38,00	38,48	39,15	39,85
12	37,13	37,33	37,43	37,51	37,59	37,79	37,89	38,02	38,49	39,17	39,88
12,1	37,13	37,32	37,46	37,54	37,62	37,81	37,91	38,04	38,51	39,18	39,91
12,2	37,13	37,31	37,49	37,57	37,65	37,83	37,93	38,06	38,52	39,20	39,94
12,3	37,14	37,31	37,52	37,60	37,68	37,85	37,94	38,08	38,54	39,22	39,97
12,4	37,17	37,30	37,55	37,63	37,71	37,87	37,96	38,09	38,55	39,24	39,99
12,5	37,19	37,29	37,58	37,66	37,74	37,88	37,98	38,11	38,56	39,26	40,01
12,6	37,22	37,30	37,61	37,69	37,77	37,90	38,00	38,13	38,58	39,27	40,03
12,7	37,25	37,32	37,61	37,72	37,80	37,92	38,02	38,15	38,59	39,29	40,06
12,8	37,28	37,34	37,62	37,75	37,82	37,94	38,04	38,17	38,61	39,31	40,08
12,9	37,31	37,37	37,64	37,77	37,85	37,96	38,06	38,18	38,62	39,33	40,08
13	37,33	37,39	37,67	37,83	37,88	37,99	38,08	38,20	38,64	39,35	40,07
13,1	37,34	37,41	37,69	37,89	37,91	38,01	38,09	38,22	38,65	39,36	40,07
13,2	37,35	37,43	37,71	37,95	37,97	38,04	38,11	38,24	38,67	39,38	40,06
13,3	37,36	37,46	37,73	38,01	38,03	38,07	38,13	38,26	38,69	39,40	40,05
13,4	37,37	37,48	37,76	38,04	38,09	38,13	38,15	38,27	38,71	39,42	40,05
13,5	37,39	37,50	37,78	38,06	38,15	38,19	38,17	38,29	38,73	39,44	40,04
13,6	37,40	37,52	37,80	38,09	38,21	38,26	38,19	38,31	38,75	39,45	40,03
13,7	37,41	37,55	37,82	38,11	38,27	38,32	38,20	38,33	38,76	39,47	40,01
13,8	37,42	37,57	37,85	38,13	38,33	38,38	38,25	38,35	38,78	39,49	40,00
13,9	37,43	37,59	37,87	38,15	38,40	38,45	38,29	38,37	38,80	39,51	39,99
14	37,45	37,61	37,89	38,18	38,46	38,51	38,34	38,39	38,82	39,53	39,98
14,1	37,47	37,64	37,91	38,20	38,49	38,57	38,39	38,41	38,84	39,55	39,97
14,2	37,49	37,67	37,94	38,22	38,51	38,63	38,43	38,43	38,86	39,56	39,96
14,3	37,51	37,70	37,96	38,24	38,54	38,69	38,48	38,45	38,87	39,58	39,95
14,4	37,52	37,74	37,98	38,27	38,57	38,75	38,53	38,47	38,88	39,60	39,94
14,5	37,52	37,77	38,01	38,29	38,59	38,81	38,57	38,51	38,89	39,62	39,93

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
14,6	37,53	37,80	38,03	38,31	38,62	38,87	38,62	38,56	38,90	39,64	39,92
14,7	37,53	37,83	38,06	38,34	38,64	38,93	38,67	38,61	38,91	39,65	39,91
14,8	37,54	37,86	38,08	38,37	38,67	38,97	38,71	38,66	38,94	39,67	39,90
14,9	37,54	37,88	38,10	38,39	38,70	38,99	38,76	38,71	38,96	39,69	39,89
15	37,54	37,89	38,13	38,42	38,72	39,01	38,81	38,76	38,99	39,69	39,88
15,1	37,55	37,91	38,15	38,45	38,75	39,04	38,85	38,81	39,05	39,68	39,87
15,2	37,55	37,92	38,18	38,47	38,78	39,06	38,91	38,86	39,10	39,67	39,86
15,3	37,53	37,94	38,20	38,50	38,80	39,09	38,97	38,91	39,16	39,67	39,85
15,4	37,52	37,96	38,23	38,53	38,83	39,11	39,03	38,96	39,21	39,69	39,85
15,5	37,51	37,98	38,25	38,55	38,86	39,14	39,09	39,01	39,27	39,72	39,85
15,6	37,50	38,00	38,27	38,58	38,88	39,17	39,15	39,06	39,32	39,75	39,85
15,7	37,48	38,02	38,30	38,61	38,91	39,19	39,21	39,11	39,38	39,77	39,85
15,8	37,48	38,01	38,33	38,64	38,94	39,22	39,27	39,16	39,43	39,80	39,86
15,9	37,48	38,01	38,35	38,66	38,96	39,24	39,32	39,21	39,49	39,82	39,86
16	37,49	38,00	38,38	38,69	38,99	39,27	39,35	39,26	39,54	39,85	39,87
16,1	37,49	37,99	38,41	38,72	39,02	39,29	39,37	39,31	39,60	39,87	39,90
16,2	37,50	37,97	38,43	38,74	39,05	39,32	39,39	39,36	39,65	39,90	39,93
16,3	37,51	37,95	38,42	38,77	39,07	39,34	39,42	39,41	39,71	39,92	39,96
16,4	37,51	37,93	38,42	38,80	39,10	39,37	39,44	39,46	39,76	39,95	39,98
16,5	37,52	37,91	38,42	38,82	39,13	39,39	39,47	39,51	39,82	39,97	40,01
16,6	37,52	37,90	38,42	38,85	39,15	39,42	39,49	39,56	39,87	40,00	40,03
16,7	37,53	37,89	38,41	38,88	39,18	39,44	39,52	39,61	39,92	40,03	40,06
16,8	37,54	37,89	38,41	38,90	39,21	39,47	39,55	39,66	39,98	40,05	40,08
16,9	37,54	37,89	38,40	38,90	39,23	39,48	39,56	39,70	40,03	40,08	40,11
17	37,55	37,89	38,39	38,89	39,26	39,49	39,57	39,76	40,07	40,10	40,14
17,1	37,56	37,89	38,39	38,88	39,28	39,50	39,58	39,81	40,09	40,13	40,14
17,2	37,57	37,89	38,38	38,87	39,30	39,51	39,59	39,83	40,12	40,15	40,12
17,3	37,58	37,89	38,37	38,86	39,31	39,52	39,60	39,85	40,15	40,15	40,09
17,4	37,59	37,89	38,37	38,85	39,32	39,53	39,61	39,86	40,17	40,12	40,07
17,5	37,60	37,89	38,36	38,83	39,33	39,54	39,63	39,88	40,15	40,10	40,04
17,6	37,61	37,89	38,37	38,82	39,32	39,56	39,64	39,91	40,14	40,08	40,02
17,7	37,63	37,89	38,37	38,81	39,31	39,57	39,65	39,93	40,14	40,05	40,00
17,8	37,64	37,89	38,37	38,81	39,29	39,58	39,67	39,96	40,13	40,04	39,96
17,9	37,65	37,89	38,36	38,81	39,28	39,59	39,68	39,99	40,13	40,03	39,91
18	37,66	37,89	38,36	38,80	39,27	39,60	39,69	40,02	40,12	40,02	39,88
18,1	37,67	37,89	38,35	38,80	39,25	39,61	39,70	40,05	40,12	40,02	39,88
18,2	37,68	37,89	38,34	38,80	39,24	39,62	39,72	40,05	40,11	40,01	39,88

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
18,3	37,69	37,89	38,34	38,78	39,23	39,63	39,73	40,04	40,11	40,00	39,88
18,4	37,70	37,89	38,33	38,77	39,21	39,62	39,74	40,02	40,10	39,99	39,88
18,5	37,72	37,89	38,33	38,77	39,20	39,61	39,75	40,00	40,08	39,97	39,88
18,6	37,73	37,89	38,32	38,77	39,19	39,60	39,76	39,99	40,06	39,94	39,89
18,7	37,74	37,89	38,32	38,77	39,17	39,59	39,75	39,97	40,03	39,91	39,89
18,8	37,75	37,89	38,31	38,76	39,16	39,58	39,74	39,95	40,00	39,87	39,90
18,9	37,76	37,90	38,30	38,76	39,16	39,57	39,73	39,94	39,97	39,83	39,92
19	37,75	37,90	38,30	38,76	39,16	39,56	39,72	39,92	39,93	39,79	39,93
19,1	37,74	37,90	38,29	38,76	39,17	39,55	39,71	39,88	39,88	39,76	39,95
19,2	37,74	37,91	38,28	38,75	39,19	39,54	39,70	39,85	39,84	39,72	39,96
19,3	37,73	37,91	38,28	38,75	39,21	39,53	39,69	39,82	39,80	39,68	39,97
19,4	37,72	37,91	38,27	38,75	39,23	39,52	39,68	39,79	39,75	39,65	39,98
19,5	37,70	37,88	38,27	38,74	39,25	39,51	39,67	39,77	39,71	39,61	40,00
19,6	37,68	37,84	38,26	38,72	39,28	39,51	39,66	39,75	39,66	39,58	40,01
19,7	37,67	37,81	38,25	38,71	39,30	39,50	39,65	39,73	39,62	39,54	40,02
19,8	37,65	37,78	38,25	38,69	39,32	39,49	39,65	39,71	39,58	39,53	40,03
19,9	37,63	37,76	38,24	38,68	39,34	39,50	39,66	39,69	39,54	39,54	40,05
20	37,62	37,74	38,21	38,67	39,34	39,50	39,67	39,67	39,50	39,55	40,06
20,1	37,61	37,72	38,18	38,66	39,35	39,51	39,68	39,65	39,47	39,55	40,07
20,2	37,60	37,69	38,15	38,65	39,35	39,52	39,69	39,63	39,44	39,56	40,08
20,3	37,58	37,67	38,11	38,64	39,36	39,53	39,70	39,61	39,41	39,57	40,09
20,4	37,56	37,65	38,08	38,64	39,37	39,54	39,71	39,59	39,38	39,58	40,10
20,5	37,54	37,62	38,04	38,62	39,37	39,54	39,71	39,57	39,35	39,59	40,11
20,6	37,48	37,60	38,00	38,58	39,38	39,55	39,72	39,55	39,33	39,60	40,12
20,7	37,42	37,58	37,95	38,53	39,38	39,57	39,73	39,53	39,30	39,61	40,13
20,8	37,37	37,56	37,91	38,50	39,39	39,59	39,74	39,51	39,28	39,62	40,14
20,9	37,31	37,54	37,87	38,46	39,39	39,61	39,75	39,49	39,28	39,62	40,15
21	37,25	37,50	37,83	38,42	39,39	39,61	39,76	39,47	39,28	39,63	40,16
21,1	37,20	37,45	37,81	38,39	39,36	39,61	39,75	39,45	39,28	39,64	40,17
21,2	37,15	37,40	37,79	38,35	39,32	39,61	39,72	39,43	39,27	39,65	40,19
21,3	37,12	37,35	37,77	38,31	39,28	39,61	39,70	39,41	39,27	39,66	40,21
21,4	37,10	37,30	37,76	38,28	39,24	39,60	39,67	39,39	39,27	39,68	40,24
21,5	37,07	37,25	37,72	38,24	39,19	39,59	39,64	39,37	39,27	39,71	40,28
21,6	37,04	37,20	37,68	38,20	39,13	39,54	39,60	39,34	39,31	39,75	40,32
21,7	37,01	37,15	37,64	38,16	39,06	39,49	39,55	39,33	39,35	39,75	40,35
21,8	36,98	37,10	37,60	38,11	38,99	39,44	39,50	39,32	39,40	39,75	40,38
21,9	36,95	37,05	37,56	38,06	38,92	39,38	39,46	39,30	39,44	39,76	40,38

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
22	36,92	37,02	37,51	37,99	38,85	39,32	39,43	39,28	39,46	39,78	40,43
22,1	36,90	37,00	37,45	37,91	38,78	39,25	39,37	39,25	39,45	39,78	40,48
22,2	36,89	36,97	37,40	37,85	38,71	39,18	39,30	39,23	39,44	39,77	40,52
22,3	36,88	36,93	37,34	37,80	38,64	39,12	39,24	39,22	39,42	39,76	40,55
22,4	36,87	36,89	37,28	37,75	38,54	39,06	39,18	39,21	39,40	39,76	40,57
22,5	36,87	36,84	37,22	37,70	38,45	38,99	39,11	39,17	39,38	39,75	40,59
22,6	36,86	36,79	37,16	37,64	38,35	38,93	39,04	39,10	39,36	39,74	40,61
22,7	36,83	36,75	37,10	37,59	38,25	38,85	38,96	39,02	39,34	39,73	40,63
22,8	36,81	36,70	37,06	37,54	38,16	38,76	38,86	38,94	39,32	39,71	40,66
22,9	36,79	36,66	37,03	37,49	38,07	38,67	38,75	38,86	39,30	39,69	40,69
23	36,76	36,61	36,99	37,44	37,99	38,57	38,64	38,82	39,28	39,67	40,71
23,1	36,74	36,57	36,95	37,38	37,91	38,47	38,50	38,78	39,26	39,70	40,73
23,2	36,72	36,52	36,91	37,33	37,83	38,35	38,35	38,70	39,21	39,72	40,74
23,3	36,69	36,49	36,87	37,28	37,76	38,23	38,20	38,62	39,13	39,71	40,74
23,4	36,67	36,47	36,83	37,25	37,70	38,12	38,06	38,55	39,05	39,70	40,76
23,5	36,64	36,46	36,80	37,21	37,64	37,98	37,91	38,47	38,98	39,69	40,78
23,6	36,62	36,45	36,76	37,18	37,58	37,83	37,79	38,38	38,90	39,66	40,80
23,7	36,60	36,43	36,72	37,15	37,52	37,68	37,69	38,29	38,82	39,57	40,82
23,8	36,57	36,42	36,68	37,12	37,46	37,54	37,60	38,19	38,74	39,50	40,84
23,9	36,55	36,41	36,64	37,08	37,40	37,42	37,50	38,10	38,66	39,43	40,85
24	36,53	36,39	36,61	37,05	37,32	37,31	37,40	38,00	38,59	39,36	40,87
24,1	36,50	36,38	36,57	37,02	37,25	37,19	37,30	37,90	38,51	39,29	40,89
24,2	36,48	36,37	36,53	36,98	37,18	37,08	37,20	37,81	38,43	39,22	40,78
24,3	36,46	36,35	36,50	36,95	37,10	36,99	37,11	37,71	38,36	39,15	40,65
24,4	36,43	36,34	36,49	36,92	37,02	36,90	37,01	37,62	38,31	39,09	40,53
24,5	36,41	36,33	36,47	36,86	36,95	36,81	36,91	37,52	38,25	39,02	40,40
24,6	36,38	36,31	36,46	36,79	36,87	36,73	36,81	37,42	38,19	38,95	40,28
24,7	36,36	36,30	36,44	36,71	36,80	36,64	36,71	37,33	38,12	38,82	40,15
24,8	36,34	36,29	36,43	36,63	36,72	36,55	36,62	37,23	38,04	38,68	40,03
24,9	36,34	36,27	36,41	36,57	36,64	36,45	36,51	37,16	37,97	38,56	39,90
25	36,33	36,26	36,40	36,52	36,57	36,35	36,40	37,08	37,89	38,48	39,76
25,1	36,33	36,25	36,36	36,47	36,49	36,26	36,29	37,01	37,82	38,39	39,63
25,2	36,32	36,24	36,31	36,42	36,42	36,16	36,18	36,93	37,72	38,31	39,50
25,3	36,31	36,22	36,26	36,37	36,37	36,05	36,07	36,86	37,61	38,23	39,37
25,4	36,30	36,21	36,21	36,31	36,31	35,94	35,98	36,79	37,51	38,15	39,24
25,5	36,29	36,20	36,16	36,26	36,26	35,84	35,92	36,71	37,41	38,07	39,10
25,6	36,28	36,18	36,11	36,21	36,20	35,73	35,85	36,63	37,31	37,99	38,97

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
25,7	36,27	36,14	36,06	36,16	36,15	35,62	35,78	36,53	37,21	37,90	38,84
25,8	36,25	36,09	36,00	36,11	36,09	35,55	35,72	36,43	37,10	37,82	38,71
25,9	36,24	36,04	35,95	36,06	36,03	35,47	35,65	36,33	37,00	37,73	38,62
26	36,23	35,99	35,89	36,01	35,98	35,42	35,57	36,22	36,90	37,63	38,55
26,1	36,22	35,94	35,84	35,95	35,92	35,37	35,49	36,12	36,80	37,53	38,48
26,2	36,20	35,90	35,78	35,90	35,87	35,32	35,39	36,02	36,69	37,43	38,40
26,3	36,19	35,85	35,73	35,84	35,81	35,27	35,30	35,91	36,58	37,32	38,32
26,4	36,19	35,81	35,67	35,79	35,75	35,21	35,24	35,80	36,47	37,22	38,24
26,5	36,18	35,77	35,62	35,73	35,71	35,16	35,18	35,69	36,36	37,11	38,15
26,6	36,15	35,72	35,56	35,68	35,67	35,09	35,11	35,59	36,25	37,01	38,07
26,7	36,10	35,68	35,51	35,62	35,63	35,02	35,05	35,50	36,15	36,90	37,98
26,8	36,05	35,64	35,45	35,57	35,59	34,95	34,99	35,43	36,07	36,80	37,90
26,9	36,01	35,60	35,40	35,51	35,55	34,87	34,92	35,37	35,99	36,72	37,81
27	35,96	35,55	35,34	35,46	35,51	34,80	34,86	35,30	35,91	36,64	37,73
27,1	35,92	35,51	35,29	35,40	35,45	34,73	34,79	35,24	35,83	36,56	37,64
27,2	35,87	35,47	35,23	35,35	35,39	34,65	34,73	35,17	35,75	36,49	37,56
27,3	35,84	35,42	35,19	35,30	35,32	34,58	34,67	35,11	35,68	36,41	37,47
27,4	35,81	35,38	35,15	35,25	35,23	34,51	34,61	35,05	35,61	36,33	37,39
27,5	35,78	35,34	35,10	35,21	35,13	34,45	34,55	35,00	35,54	36,26	37,30
27,6	35,74	35,29	35,06	35,15	35,04	34,38	34,49	34,94	35,47	36,20	37,22
27,7	35,71	35,25	35,02	35,08	34,95	34,31	34,43	34,88	35,39	36,13	37,15
27,8	35,68	35,21	34,98	35,01	34,85	34,24	34,37	34,82	35,32	36,06	37,09
27,9	35,65	35,16	34,93	34,94	34,76	34,18	34,32	34,76	35,25	35,99	37,03
28	35,64	35,12	34,89	34,86	34,67	34,12	34,26	34,71	35,18	35,92	36,97
28,1	35,62	35,08	34,84	34,79	34,58	34,06	34,20	34,65	35,11	35,86	36,91
28,2	35,60	35,03	34,80	34,70	34,48	34,01	34,14	34,59	35,04	35,79	36,84
28,3	35,58	34,99	34,75	34,61	34,39	33,95	34,08	34,53	34,98	35,72	36,78
28,4	35,56	34,95	34,70	34,52	34,30	33,90	34,02	34,47	34,93	35,65	36,72
28,5	35,54	34,90	34,65	34,44	34,21	33,84	33,96	34,42	34,88	35,58	36,66
28,6	35,52	34,85	34,60	34,35	34,11	33,79	33,90	34,36	34,83	35,51	36,60
28,7	35,50	34,80	34,55	34,27	34,02	33,73	33,84	34,30	34,78	35,45	36,53
28,8	35,48	34,74	34,50	34,19	33,93	33,67	33,78	34,24	34,73	35,38	36,47
28,9	35,46	34,69	34,45	34,11	33,83	33,61	33,72	34,18	34,68	35,31	36,41
29	35,44	34,63	34,39	34,03	33,74	33,54	33,66	34,12	34,63	35,24	36,35
29,1	35,37	34,59	34,33	33,94	33,65	33,48	33,61	34,07	34,58	35,17	36,29
29,2	35,30	34,54	34,27	33,86	33,56	33,41	33,55	34,01	34,53	35,11	36,22
29,3	35,24	34,50	34,20	33,78	33,46	33,34	33,49	33,95	34,49	35,04	36,16

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
29,4	35,17	34,46	34,13	33,70	33,37	33,26	33,43	33,89	34,44	34,97	36,10
29,5	35,10	34,42	34,05	33,61	33,28	33,18	33,37	33,83	34,39	34,90	36,04
29,6	35,03	34,38	33,97	33,53	33,18	33,11	33,31	33,78	34,33	34,83	35,98
29,7	34,97	34,32	33,90	33,46	33,10	33,03	33,25	33,72	34,27	34,76	35,91
29,8	34,89	34,27	33,82	33,38	33,01	32,95	33,19	33,66	34,22	34,71	35,83
29,9	34,80	34,21	33,75	33,30	32,92	32,88	33,13	33,60	34,16	34,65	35,76
30	34,72	34,15	33,67	33,22	32,84	32,80	33,07	33,54	34,10	34,60	35,68
30,1	34,63	34,09	33,59	33,15	32,75	32,72	33,01	33,49	34,04	34,54	35,60
30,2	34,55	34,04	33,52	33,07	32,67	32,65	32,95	33,43	33,98	34,48	35,52
30,3	34,46	33,98	33,44	32,99	32,58	32,57	32,89	33,37	33,92	34,43	35,44
30,4	34,38	33,92	33,37	32,92	32,49	32,49	32,83	33,31	33,87	34,37	35,36
30,5	34,29	33,86	33,30	32,84	32,41	32,42	32,77	33,25	33,81	34,32	35,29
30,6	34,21	33,77	33,22	32,76	32,33	32,34	32,69	33,20	33,75	34,26	35,21
30,7	34,12	33,68	33,15	32,69	32,24	32,26	32,62	33,13	33,69	34,20	35,13
30,8	34,04	33,59	33,07	32,61	32,16	32,19	32,54	33,07	33,63	34,13	35,04
30,9	33,94	33,51	33,00	32,53	32,09	32,16	32,46	33,00	33,58	34,06	34,96
31	33,84	33,42	32,93	32,46	32,05	32,12	32,38	32,93	33,51	33,99	34,87
31,1	33,74	33,33	32,85	32,38	32,01	32,08	32,31	32,87	33,44	33,93	34,78
31,2	33,64	33,24	32,78	32,32	31,96	32,05	32,23	32,80	33,38	33,87	34,70
31,3	33,53	33,15	32,70	32,28	31,92	32,01	32,15	32,73	33,31	33,80	34,63
31,4	33,46	33,05	32,63	32,24	31,87	31,97	32,08	32,67	33,24	33,74	34,57
31,5	33,41	32,93	32,56	32,20	31,83	31,94	32,05	32,60	33,17	33,68	34,50
31,6	33,35	32,83	32,49	32,16	31,79	31,90	32,02	32,54	33,10	33,62	34,43
31,7	33,29	32,79	32,44	32,12	31,74	31,87	31,98	32,47	33,04	33,55	34,35
31,8	33,23	32,74	32,40	32,08	31,70	31,84	31,95	32,40	32,97	33,49	34,27
31,9	33,17	32,69	32,36	32,04	31,66	31,80	31,92	32,34	32,90	33,43	34,20
32	33,11	32,63	32,30	32,00	31,61	31,77	31,88	32,27	32,83	33,36	34,12
32,1	33,06	32,57	32,25	31,96	31,57	31,73	31,85	32,21	32,77	33,28	34,04
32,2	33,00	32,52	32,19	31,91	31,52	31,70	31,81	32,19	32,70	33,21	33,97
32,3	32,94	32,46	32,12	31,87	31,48	31,67	31,78	32,16	32,63	33,14	33,89
32,4	32,89	32,40	32,06	31,83	31,44	31,63	31,74	32,13	32,56	33,07	33,81
32,5	32,83	32,35	32,00	31,78	31,39	31,60	31,71	32,10	32,49	33,01	33,74
32,6	32,77	32,29	31,94	31,72	31,35	31,56	31,68	32,08	32,43	32,94	33,66
32,7	32,72	32,23	31,87	31,67	31,30	31,53	31,65	32,05	32,36	32,88	33,58
32,8	32,66	32,17	31,81	31,61	31,26	31,49	31,62	32,02	32,32	32,81	33,51
32,9	32,60	32,12	31,74	31,56	31,21	31,46	31,59	31,99	32,29	32,75	33,43
33	32,55	32,06	31,68	31,50	31,17	31,42	31,55	31,96	32,26	32,68	33,35

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
33,1	32,49	32,00	31,62	31,46	31,12	31,39	31,52	31,93	32,24	32,61	33,28
33,2	32,43	31,95	31,56	31,41	31,07	31,36	31,49	31,90	32,21	32,54	33,23
33,3	32,38	31,89	31,50	31,36	31,02	31,32	31,46	31,87	32,18	32,50	33,20
33,4	32,32	31,83	31,45	31,31	30,98	31,29	31,43	31,84	32,15	32,48	33,17
33,5	32,27	31,77	31,39	31,26	30,93	31,25	31,40	31,82	32,12	32,45	33,13
33,6	32,21	31,72	31,33	31,20	30,88	31,20	31,37	31,79	32,10	32,43	33,10
33,7	32,16	31,66	31,27	31,15	30,85	31,14	31,34	31,76	32,07	32,40	33,07
33,8	32,10	31,60	31,22	31,10	30,82	31,09	31,31	31,74	32,04	32,37	33,04
33,9	32,03	31,55	31,16	31,04	30,78	31,04	31,28	31,71	32,02	32,33	33,01
34	31,96	31,49	31,10	30,98	30,74	30,99	31,25	31,68	31,99	32,30	32,98
34,1	31,88	31,44	31,04	30,91	30,69	30,95	31,22	31,65	31,95	32,27	32,96
34,2	31,81	31,38	30,99	30,84	30,65	30,91	31,18	31,62	31,92	32,23	32,93
34,3	31,73	31,33	30,93	30,78	30,61	30,86	31,14	31,59	31,90	32,21	32,90
34,4	31,66	31,27	30,87	30,71	30,56	30,82	31,10	31,56	31,87	32,18	32,88
34,5	31,57	31,21	30,81	30,64	30,52	30,77	31,05	31,53	31,84	32,15	32,85
34,6	31,48	31,16	30,76	30,57	30,47	30,73	31,01	31,50	31,82	32,12	32,82
34,7	31,38	31,10	30,70	30,51	30,43	30,68	30,97	31,46	31,80	32,09	32,80
34,8	31,29	31,05	30,64	30,44	30,38	30,63	30,93	31,42	31,76	32,06	32,77
34,9	31,20	30,98	30,58	30,37	30,34	30,58	30,90	31,38	31,72	32,02	32,74
35	31,11	30,89	30,53	30,30	30,29	30,53	30,86	31,31	31,67	31,99	32,73
35,1	31,02	30,80	30,47	30,24	30,25	30,49	30,83	31,25	31,63	31,97	32,71
35,2	30,93	30,71	30,41	30,17	30,20	30,44	30,80	31,18	31,59	31,95	32,69
35,3	30,84	30,62	30,34	30,10	30,16	30,40	30,76	31,12	31,55	31,93	32,66
35,4	30,75	30,54	30,27	30,03	30,11	30,35	30,72	31,05	31,51	31,91	32,64
35,5	30,66	30,45	30,20	29,97	30,05	30,31	30,69	30,99	31,45	31,88	32,61
35,6	30,57	30,36	30,12	29,90	30,00	30,28	30,65	30,92	31,39	31,84	32,58
35,7	30,48	30,27	30,05	29,81	29,93	30,24	30,61	30,86	31,33	31,81	32,56
35,8	30,38	30,18	29,98	29,73	29,86	30,19	30,55	30,78	31,28	31,75	32,53
35,9	30,29	30,09	29,91	29,66	29,79	30,14	30,47	30,70	31,22	31,70	32,50
36	30,20	30,01	29,82	29,58	29,72	30,09	30,39	30,63	31,16	31,65	32,48
36,1	30,11	29,92	29,73	29,51	29,65	30,04	30,31	30,58	31,10	31,60	32,45
36,2	30,02	29,83	29,64	29,43	29,57	29,99	30,23	30,52	31,04	31,54	32,42
36,3	29,93	29,74	29,55	29,36	29,50	29,93	30,16	30,47	30,96	31,48	32,37
36,4	29,84	29,65	29,46	29,28	29,43	29,88	30,08	30,40	30,89	31,42	32,31
36,5	29,75	29,56	29,37	29,20	29,36	29,83	30,00	30,33	30,81	31,37	32,26
36,6	29,66	29,47	29,29	29,13	29,28	29,78	29,92	30,26	30,73	31,31	32,20
36,7	29,57	29,38	29,20	29,05	29,21	29,70	29,84	30,18	30,66	31,24	32,15

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
36,8	29,47	29,29	29,11	28,98	29,14	29,61	29,78	30,11	30,58	31,16	32,09
36,9	29,38	29,20	29,02	28,90	29,08	29,52	29,72	30,04	30,50	31,08	32,03
37	29,29	29,11	28,93	28,81	29,03	29,43	29,67	29,97	30,43	31,01	31,98
37,1	29,20	29,02	28,84	28,71	28,98	29,34	29,61	29,90	30,36	30,93	31,93
37,2	29,11	28,92	28,75	28,62	28,94	29,25	29,55	29,83	30,29	30,86	31,87
37,3	29,02	28,83	28,66	28,54	28,89	29,16	29,50	29,75	30,23	30,78	31,80
37,4	28,93	28,74	28,58	28,47	28,81	29,07	29,44	29,69	30,16	30,70	31,73
37,5	28,84	28,65	28,50	28,40	28,74	28,98	29,38	29,62	30,09	30,63	31,66
37,6	28,75	28,57	28,44	28,33	28,67	28,92	29,31	29,55	30,03	30,55	31,59
37,7	28,68	28,50	28,37	28,28	28,59	28,86	29,23	29,48	29,96	30,47	31,51
37,8	28,61	28,44	28,31	28,23	28,53	28,81	29,14	29,41	29,90	30,39	31,43
37,9	28,54	28,37	28,24	28,19	28,48	28,76	29,06	29,35	29,85	30,33	31,36
38	28,47	28,32	28,20	28,14	28,43	28,71	28,98	29,28	29,80	30,26	31,28
38,1	28,43	28,27	28,17	28,09	28,37	28,67	28,91	29,21	29,74	30,20	31,20
38,2	28,39	28,24	28,14	28,04	28,32	28,63	28,84	29,15	29,69	30,14	31,14
38,3	28,36	28,21	28,11	27,99	28,27	28,58	28,77	29,09	29,63	30,10	31,08
38,4	28,35	28,18	28,09	27,94	28,22	28,54	28,69	29,02	29,58	30,05	31,01
38,5	28,34	28,15	28,06	27,89	28,17	28,49	28,62	28,95	29,53	30,00	30,95
38,6	28,33	28,12	28,03	27,84	28,12	28,45	28,55	28,89	29,47	29,96	30,89
38,7	28,32	28,09	28,00	27,79	28,07	28,39	28,48	28,82	29,42	29,91	30,83
38,8	28,31	28,08	27,97	27,74	28,02	28,34	28,40	28,75	29,36	29,86	30,76
38,9	28,30	28,07	27,94	27,69	27,96	28,28	28,34	28,68	29,29	29,82	30,70
39	28,29	28,06	27,92	27,64	27,91	28,22	28,28	28,62	29,23	29,77	30,64
39,1	28,28	28,05	27,90	27,59	27,86	28,16	28,22	28,55	29,16	29,71	30,57
39,2	28,27	28,04	27,89	27,57	27,81	28,10	28,17	28,51	29,10	29,66	30,50
39,3	28,25	28,04	27,89	27,55	27,76	28,04	28,12	28,46	29,05	29,60	30,43
39,4	28,24	28,03	27,85	27,52	27,73	27,98	28,09	28,42	29,00	29,54	30,37
39,5	28,23	28,02	27,82	27,50	27,71	27,95	28,06	28,38	28,96	29,48	30,32
39,6	28,22	28,02	27,78	27,48	27,68	27,92	28,03	28,34	28,91	29,43	30,26
39,7	28,22	28,01	27,75	27,45	27,65	27,89	28,00	28,30	28,87	29,38	30,21
39,8	28,21	28,01	27,71	27,43	27,62	27,85	27,97	28,27	28,84	29,35	30,16
39,9	28,20	28,00	27,68	27,41	27,59	27,82	27,94	28,24	28,81	29,33	30,11
40	28,20	28,00	27,65	27,38	27,56	27,79	27,91	28,20	28,77	29,31	30,06
40,1	28,19	27,99	27,61	27,36	27,53	27,76	27,88	28,17	28,74	29,28	30,02
40,2	28,18	27,99	27,58	27,34	27,50	27,73	27,85	28,14	28,71	29,27	29,98
40,3	28,17	27,98	27,54	27,31	27,47	27,70	27,81	28,10	28,67	29,25	29,94
40,4	28,17	27,98	27,51	27,29	27,44	27,66	27,78	28,07	28,64	29,22	29,91

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
40,5	28,16	27,97	27,48	27,26	27,41	27,63	27,75	28,04	28,61	29,20	29,87
40,6	28,15	27,96	27,44	27,23	27,38	27,60	27,72	28,00	28,57	29,18	29,86
40,7	28,15	27,96	27,41	27,20	27,35	27,57	27,69	27,97	28,54	29,16	29,84
40,8	28,14	27,95	27,37	27,18	27,32	27,54	27,65	27,94	28,51	29,13	29,82
40,9	28,13	27,94	27,33	27,15	27,29	27,50	27,62	27,90	28,48	29,11	29,80
41	28,12	27,91	27,30	27,12	27,27	27,47	27,59	27,87	28,45	29,09	29,78
41,1	28,11	27,87	27,26	27,10	27,24	27,44	27,56	27,83	28,42	29,07	29,76
41,2	28,10	27,83	27,22	27,07	27,21	27,41	27,53	27,80	28,39	29,05	29,74
41,3	28,09	27,79	27,18	27,04	27,19	27,38	27,50	27,76	28,37	29,02	29,71
41,4	28,08	27,76	27,15	27,01	27,16	27,34	27,46	27,73	28,34	29,00	29,69
41,5	28,07	27,72	27,11	26,99	27,13	27,31	27,43	27,70	28,31	28,98	29,67
41,6	28,06	27,68	27,07	26,96	27,10	27,28	27,40	27,67	28,28	28,96	29,65
41,7	28,04	27,64	27,03	26,93	27,08	27,25	27,37	27,64	28,25	28,93	29,63
41,8	28,03	27,60	27,00	26,91	27,05	27,22	27,34	27,62	28,22	28,91	29,61
41,9	28,02	27,56	26,96	26,88	27,02	27,18	27,30	27,60	28,19	28,89	29,59
42	28,01	27,51	26,92	26,85	27,00	27,15	27,27	27,57	28,17	28,87	29,56
42,1	28,00	27,47	26,88	26,83	26,97	27,12	27,24	27,55	28,14	28,85	29,54
42,2	27,99	27,43	26,84	26,80	26,94	27,09	27,21	27,53	28,11	28,82	29,52
42,3	27,95	27,39	26,81	26,77	26,92	27,06	27,19	27,51	28,08	28,80	29,50
42,4	27,90	27,35	26,77	26,74	26,89	27,03	27,16	27,49	28,05	28,78	29,48
42,5	27,86	27,30	26,73	26,72	26,86	27,00	27,14	27,46	28,02	28,75	29,47
42,6	27,82	27,26	26,69	26,69	26,83	26,98	27,11	27,44	27,99	28,72	29,45
42,7	27,78	27,22	26,66	26,66	26,81	26,95	27,09	27,42	27,96	28,70	29,43
42,8	27,73	27,18	26,62	26,64	26,78	26,93	27,06	27,40	27,94	28,67	29,41
42,9	27,69	27,13	26,58	26,61	26,75	26,90	27,03	27,38	27,91	28,65	29,39
43	27,63	27,09	26,55	26,58	26,73	26,88	27,01	27,36	27,88	28,62	29,38
43,1	27,57	27,05	26,52	26,56	26,70	26,86	26,98	27,33	27,85	28,60	29,36
43,2	27,50	27,01	26,50	26,53	26,67	26,83	26,96	27,31	27,82	28,57	29,34
43,3	27,43	26,96	26,47	26,50	26,65	26,81	26,93	27,29	27,79	28,54	29,32
43,4	27,36	26,92	26,44	26,47	26,62	26,78	26,91	27,27	27,76	28,52	29,30
43,5	27,29	26,88	26,42	26,45	26,59	26,76	26,89	27,25	27,73	28,49	29,28
43,6	27,23	26,84	26,39	26,42	26,56	26,73	26,87	27,23	27,70	28,47	29,26
43,7	27,16	26,80	26,36	26,39	26,54	26,71	26,85	27,20	27,68	28,44	29,23
43,8	27,09	26,75	26,34	26,37	26,51	26,69	26,83	27,18	27,65	28,42	29,20
43,9	27,02	26,71	26,31	26,34	26,48	26,66	26,81	27,16	27,62	28,39	29,17
44	26,94	26,67	26,28	26,31	26,46	26,64	26,78	27,14	27,59	28,36	29,14
44,1	26,87	26,62	26,25	26,28	26,43	26,61	26,76	27,12	27,56	28,34	29,11

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
44,2	26,81	26,58	26,23	26,26	26,40	26,59	26,74	27,10	27,53	28,31	29,08
44,3	26,77	26,53	26,19	26,23	26,38	26,57	26,72	27,08	27,50	28,29	29,05
44,4	26,72	26,50	26,16	26,20	26,35	26,54	26,70	27,06	27,47	28,26	29,02
44,5	26,68	26,49	26,12	26,17	26,32	26,52	26,68	27,04	27,44	28,23	28,99
44,6	26,63	26,47	26,09	26,14	26,29	26,49	26,66	27,01	27,42	28,21	28,96
44,7	26,59	26,45	26,08	26,11	26,27	26,47	26,64	26,99	27,39	28,18	28,92
44,8	26,55	26,42	26,07	26,08	26,24	26,44	26,62	26,97	27,36	28,16	28,89
44,9	26,50	26,37	26,06	26,05	26,21	26,42	26,60	26,95	27,33	28,13	28,86
45	26,46	26,33	26,04	26,02	26,19	26,39	26,58	26,93	27,30	28,10	28,82
45,1	26,42	26,28	26,03	25,99	26,16	26,36	26,55	26,91	27,28	28,08	28,79
45,2	26,37	26,24	26,02	25,96	26,13	26,33	26,53	26,88	27,25	28,05	28,75
45,3	26,33	26,20	26,01	25,93	26,10	26,30	26,50	26,86	27,23	28,02	28,71
45,4	26,29	26,15	26,00	25,92	26,07	26,27	26,47	26,83	27,20	27,99	28,68
45,5	26,25	26,11	25,99	25,92	26,04	26,24	26,45	26,81	27,18	27,96	28,64
45,6	26,21	26,07	25,98	25,91	26,01	26,21	26,42	26,78	27,15	27,94	28,60
45,7	26,17	26,03	25,96	25,91	25,98	26,18	26,39	26,75	27,12	27,91	28,57
45,8	26,13	25,99	25,95	25,91	25,95	26,15	26,37	26,73	27,10	27,88	28,53
45,9	26,09	25,94	25,94	25,91	25,92	26,12	26,34	26,70	27,07	27,85	28,49
46	26,04	25,90	25,93	25,90	25,89	26,09	26,32	26,68	27,05	27,83	28,44
46,1	26,00	25,86	25,92	25,90	25,87	26,06	26,29	26,65	27,02	27,80	28,40
46,2	25,96	25,82	25,91	25,90	25,87	26,03	26,26	26,62	26,99	27,77	28,36
46,3	25,92	25,77	25,90	25,90	25,87	26,00	26,24	26,60	26,97	27,74	28,32
46,4	25,88	25,73	25,89	25,89	25,86	25,97	26,21	26,57	26,94	27,71	28,28
46,5	25,84	25,69	25,87	25,89	25,86	25,94	26,18	26,54	26,92	27,68	28,24
46,6	25,80	25,65	25,85	25,89	25,86	25,91	26,16	26,52	26,89	27,65	28,20
46,7	25,76	25,60	25,81	25,89	25,86	25,88	26,13	26,49	26,86	27,62	28,16
46,8	25,72	25,56	25,78	25,88	25,86	25,85	26,11	26,47	26,84	27,59	28,12
46,9	25,67	25,52	25,74	25,87	25,85	25,82	26,08	26,44	26,81	27,56	28,08
47	25,63	25,48	25,71	25,87	25,85	25,79	26,05	26,41	26,79	27,53	28,04
47,1	25,59	25,43	25,67	25,86	25,85	25,78	26,03	26,39	26,76	27,50	28,00
47,2	25,55	25,39	25,64	25,85	25,85	25,78	26,00	26,36	26,73	27,47	27,96
47,3	25,51	25,35	25,60	25,84	25,85	25,77	25,98	26,34	26,71	27,44	27,92
47,4	25,47	25,31	25,57	25,83	25,85	25,77	25,95	26,31	26,68	27,40	27,88
47,5	25,42	25,27	25,53	25,82	25,84	25,77	25,92	26,28	26,66	27,37	27,84
47,6	25,38	25,22	25,50	25,82	25,84	25,76	25,90	26,26	26,63	27,34	27,80
47,7	25,34	25,18	25,46	25,81	25,84	25,76	25,87	26,23	26,60	27,31	27,76
47,8	25,30	25,14	25,43	25,80	25,84	25,76	25,84	26,21	26,58	27,28	27,71

Kadar Fly Ash (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
47,9	25,26	25,10	25,39	25,79	25,84	25,75	25,82	26,18	26,55	27,25	27,66
48	25,22	25,07	25,36	25,78	25,83	25,75	25,79	26,15	26,53	27,22	27,62
48,1	25,17	25,03	25,33	25,77	25,83	25,75	25,77	26,13	26,50	27,19	27,57
48,2	25,13	25,00	25,29	25,77	25,83	25,75	25,75	26,10	26,48	27,16	27,51
48,3	25,09	24,96	25,26	25,74	25,83	25,74	25,75	26,08	26,46	27,13	27,45
48,4	25,05	24,93	25,22	25,71	25,83	25,74	25,75	26,05	26,43	27,10	27,39
48,5	25,01	24,89	25,19	25,68	25,82	25,74	25,75	26,02	26,41	27,07	27,32
48,6	24,97	24,86	25,15	25,64	25,82	25,73	25,75	26,00	26,39	27,03	27,26
48,7	24,92	24,82	25,12	25,61	25,82	25,73	25,75	25,97	26,36	27,00	27,20
48,8	24,88	24,79	25,08	25,58	25,82	25,73	25,75	25,95	26,34	26,97	27,14
48,9	24,84	24,75	25,05	25,55	25,82	25,72	25,75	25,92	26,31	26,93	27,08
49	24,80	24,72	25,01	25,52	25,82	25,72	25,75	25,89	26,29	26,87	27,02
49,1	24,76	24,68	24,98	25,49	25,81	25,72	25,75	25,87	26,26	26,80	26,92
49,2	24,72	24,65	24,94	25,46	25,81	25,72	25,75	25,84	26,24	26,73	26,83
49,3	24,67	24,61	24,91	25,43	25,81	25,71	25,75	25,81	26,19	26,65	26,73
49,4	24,66	24,58	24,88	25,39	25,81	25,71	25,74	25,79	26,13	26,57	26,64
49,5	24,68	24,54	24,85	25,36	25,80	25,71	25,74	25,76	26,07	26,49	26,55
49,6	24,69	24,51	24,82	25,33	25,80	25,70	25,74	25,75	26,01	26,41	26,45
49,7	24,71	24,47	24,80	25,30	25,79	25,70	25,74	25,73	25,96	26,33	26,36
49,8	24,72	24,43	24,77	25,27	25,79	25,70	25,74	25,68	25,90	26,25	26,29
49,9	24,73	24,40	24,74	25,24	25,79	25,70	25,74	25,65	25,84	26,19	26,21
50	24,75	24,38	24,71	25,21	25,77	25,70	25,74	25,61	25,78	26,12	26,13

Lampiran 5 Hasil Prediksi Kuat Tekan Kasus 6

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
0	33,56	33,77	34,19	34,69	35,26	35,99	36,98	37,62	38,20	38,55	37,43
0,1	33,57	33,79	34,21	34,71	35,27	36,01	37,00	37,67	38,26	38,61	37,48
0,2	33,57	33,81	34,23	34,72	35,29	36,02	37,02	37,72	38,31	38,66	37,53
0,3	33,58	33,82	34,24	34,74	35,30	36,04	37,04	37,78	38,37	38,71	37,59
0,4	33,59	33,84	34,26	34,75	35,32	36,05	37,06	37,83	38,42	38,77	37,64
0,5	33,60	33,86	34,28	34,77	35,33	36,06	37,08	37,88	38,47	38,82	37,69
0,6	33,61	33,88	34,29	34,78	35,35	36,08	37,10	37,93	38,53	38,87	37,75
0,7	33,65	33,89	34,31	34,80	35,36	36,10	37,12	37,99	38,59	38,92	37,80
0,8	33,69	33,91	34,33	34,81	35,38	36,11	37,14	38,04	38,64	38,97	37,85
0,9	33,74	33,93	34,35	34,83	35,39	36,13	37,15	38,10	38,70	39,03	37,91
1	33,78	33,94	34,36	34,84	35,41	36,14	37,17	38,15	38,75	39,08	37,96
1,1	33,82	33,96	34,38	34,86	35,42	36,16	37,19	38,20	38,81	39,13	38,01
1,2	33,86	33,98	34,40	34,87	35,44	36,18	37,21	38,26	38,86	39,18	38,07
1,3	33,91	34,00	34,41	34,89	35,45	36,19	37,23	38,31	38,92	39,23	38,12
1,4	33,96	34,01	34,43	34,90	35,47	36,21	37,25	38,35	38,97	39,29	38,17
1,5	34,01	34,03	34,45	34,92	35,48	36,23	37,27	38,39	39,01	39,34	38,23
1,6	34,06	34,05	34,46	34,93	35,50	36,25	37,29	38,43	39,04	39,37	38,28
1,7	34,11	34,06	34,48	34,95	35,51	36,26	37,31	38,48	39,08	39,41	38,32
1,8	34,16	34,08	34,50	34,96	35,53	36,28	37,33	38,52	39,12	39,45	38,35
1,9	34,21	34,10	34,52	34,98	35,54	36,30	37,35	38,56	39,15	39,49	38,39
2	34,26	34,11	34,53	34,99	35,56	36,32	37,37	38,60	39,19	39,52	38,43
2,1	34,31	34,14	34,55	35,01	35,57	36,33	37,39	38,64	39,23	39,56	38,47
2,2	34,36	34,18	34,57	35,02	35,59	36,35	37,42	38,68	39,26	39,60	38,51
2,3	34,41	34,22	34,58	35,04	35,60	36,37	37,44	38,71	39,30	39,63	38,55
2,4	34,45	34,26	34,60	35,05	35,62	36,39	37,46	38,74	39,34	39,67	38,59
2,5	34,50	34,30	34,62	35,07	35,63	36,40	37,48	38,77	39,37	39,71	38,63
2,6	34,55	34,34	34,63	35,08	35,65	36,42	37,50	38,80	39,41	39,75	38,66
2,7	34,60	34,38	34,65	35,10	35,66	36,44	37,52	38,82	39,45	39,78	38,70
2,8	34,65	34,42	34,67	35,11	35,68	36,46	37,54	38,84	39,48	39,82	38,74
2,9	34,70	34,46	34,69	35,13	35,69	36,47	37,56	38,86	39,52	39,86	38,78
3	34,75	34,50	34,70	35,14	35,71	36,49	37,58	38,89	39,56	39,90	38,82
3,1	34,80	34,54	34,72	35,16	35,72	36,51	37,61	38,91	39,59	39,93	38,86
3,2	34,85	34,58	34,74	35,17	35,74	36,53	37,63	38,93	39,63	39,97	38,90
3,3	34,90	34,63	34,75	35,19	35,75	36,54	37,65	38,95	39,67	40,01	38,94
3,4	34,95	34,67	34,77	35,20	35,77	36,56	37,67	38,97	39,70	40,05	38,97

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
3,5	35,00	34,71	34,79	35,22	35,78	36,58	37,69	38,99	39,74	40,08	39,01
3,6	35,05	34,75	34,81	35,23	35,80	36,60	37,71	39,01	39,78	40,12	39,05
3,7	35,10	34,79	34,82	35,25	35,81	36,62	37,74	39,04	39,81	40,16	39,10
3,8	35,15	34,83	34,84	35,27	35,83	36,63	37,76	39,06	39,84	40,20	39,16
3,9	35,20	34,87	34,86	35,29	35,84	36,65	37,78	39,08	39,88	40,23	39,21
4	35,25	34,92	34,87	35,30	35,86	36,67	37,81	39,10	39,91	40,27	39,25
4,1	35,30	34,97	34,89	35,32	35,87	36,69	37,83	39,12	39,94	40,31	39,29
4,2	35,35	35,02	34,91	35,34	35,89	36,70	37,86	39,14	39,97	40,37	39,30
4,3	35,40	35,07	34,92	35,35	35,90	36,72	37,88	39,16	40,00	40,42	39,31
4,4	35,45	35,12	34,94	35,37	35,92	36,74	37,91	39,19	40,04	40,48	39,32
4,5	35,50	35,17	34,96	35,39	35,93	36,76	37,93	39,21	40,07	40,53	39,34
4,6	35,54	35,21	34,98	35,40	35,95	36,77	37,95	39,23	40,10	40,59	39,35
4,7	35,59	35,26	34,99	35,42	35,96	36,79	37,98	39,26	40,13	40,64	39,36
4,8	35,64	35,31	35,03	35,44	35,98	36,81	38,00	39,28	40,17	40,70	39,37
4,9	35,69	35,36	35,07	35,46	35,99	36,83	38,02	39,30	40,22	40,74	39,38
5	35,74	35,41	35,11	35,47	36,01	36,85	38,05	39,33	40,26	40,78	39,39
5,1	35,79	35,46	35,16	35,49	36,02	36,86	38,07	39,35	40,30	40,83	39,41
5,2	35,84	35,51	35,20	35,51	36,04	36,88	38,10	39,37	40,35	40,87	39,42
5,3	35,89	35,56	35,24	35,52	36,05	36,90	38,12	39,39	40,39	40,92	39,43
5,4	35,94	35,61	35,28	35,54	36,07	36,92	38,14	39,42	40,43	40,96	39,44
5,5	35,98	35,66	35,32	35,56	36,08	36,93	38,17	39,44	40,48	40,98	39,45
5,6	36,02	35,71	35,36	35,58	36,10	36,95	38,19	39,46	40,52	40,99	39,46
5,7	36,07	35,76	35,40	35,59	36,11	36,97	38,21	39,49	40,57	41,00	39,48
5,8	36,12	35,81	35,44	35,61	36,13	36,99	38,24	39,51	40,61	41,02	39,49
5,9	36,18	35,86	35,49	35,63	36,14	37,01	38,26	39,54	40,65	41,03	39,50
6	36,24	35,91	35,53	35,64	36,16	37,02	38,28	39,58	40,68	41,04	39,51
6,1	36,30	35,96	35,57	35,66	36,17	37,04	38,31	39,61	40,72	41,05	39,52
6,2	36,37	36,01	35,61	35,68	36,19	37,06	38,33	39,64	40,76	41,06	39,54
6,3	36,43	36,06	35,65	35,70	36,20	37,07	38,36	39,67	40,80	41,07	39,55
6,4	36,49	36,10	35,69	35,71	36,22	37,09	38,39	39,70	40,84	41,08	39,56
6,5	36,55	36,14	35,74	35,73	36,23	37,11	38,42	39,74	40,88	41,09	39,57
6,6	36,61	36,18	35,79	35,75	36,25	37,12	38,45	39,77	40,92	41,10	39,58
6,7	36,67	36,23	35,84	35,76	36,26	37,14	38,49	39,80	40,96	41,10	39,59
6,8	36,73	36,28	35,89	35,78	36,28	37,16	38,52	39,82	40,98	41,11	39,61
6,9	36,79	36,34	35,94	35,80	36,29	37,18	38,55	39,85	41,00	41,12	39,62
7	36,85	36,39	35,99	35,81	36,31	37,21	38,59	39,88	41,02	41,13	39,63
7,1	36,91	36,45	36,04	35,83	36,32	37,24	38,62	39,91	41,03	41,14	39,64

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
7,2	36,97	36,51	36,08	35,85	36,34	37,26	38,65	39,93	41,05	41,15	39,65
7,3	37,03	36,57	36,12	35,87	36,35	37,29	38,69	39,96	41,07	41,16	39,66
7,4	37,09	36,62	36,16	35,89	36,37	37,32	38,72	39,99	41,08	41,17	39,68
7,5	37,16	36,68	36,20	35,93	36,38	37,34	38,75	40,02	41,10	41,18	39,69
7,6	37,23	36,74	36,25	35,97	36,40	37,37	38,78	40,04	41,11	41,19	39,70
7,7	37,30	36,79	36,29	36,01	36,42	37,40	38,81	40,07	41,13	41,20	39,71
7,8	37,37	36,85	36,35	36,05	36,45	37,42	38,84	40,10	41,13	41,21	39,72
7,9	37,44	36,91	36,41	36,10	36,48	37,45	38,87	40,13	41,14	41,22	39,73
8	37,51	36,97	36,47	36,14	36,50	37,48	38,89	40,15	41,14	41,23	39,75
8,1	37,58	37,02	36,52	36,19	36,53	37,50	38,92	40,18	41,15	41,24	39,76
8,2	37,65	37,08	36,58	36,22	36,55	37,53	38,95	40,18	41,15	41,25	39,77
8,3	37,73	37,14	36,64	36,26	36,58	37,56	38,98	40,19	41,16	41,27	39,78
8,4	37,80	37,20	36,69	36,29	36,61	37,58	39,01	40,19	41,16	41,29	39,79
8,5	37,86	37,26	36,75	36,33	36,63	37,61	39,04	40,20	41,17	41,31	39,80
8,6	37,93	37,33	36,81	36,36	36,67	37,64	39,06	40,20	41,17	41,33	39,81
8,7	38,00	37,40	36,87	36,41	36,70	37,67	39,09	40,20	41,17	41,35	39,82
8,8	38,07	37,47	36,93	36,46	36,74	37,70	39,12	40,21	41,17	41,37	39,83
8,9	38,13	37,53	36,99	36,51	36,78	37,73	39,15	40,21	41,16	41,38	39,84
9	38,20	37,60	37,05	36,56	36,81	37,76	39,18	40,22	41,16	41,39	39,85
9,1	38,27	37,67	37,11	36,62	36,82	37,79	39,21	40,22	41,16	41,40	39,86
9,2	38,34	37,74	37,17	36,69	36,85	37,83	39,23	40,23	41,16	41,41	39,86
9,3	38,40	37,80	37,23	36,77	36,87	37,86	39,26	40,23	41,16	41,42	39,87
9,4	38,47	37,87	37,30	36,84	36,89	37,89	39,29	40,24	41,16	41,43	39,88
9,5	38,54	37,94	37,37	36,92	36,92	37,92	39,29	40,24	41,15	41,45	39,89
9,6	38,61	38,01	37,44	36,99	36,95	37,96	39,28	40,25	41,15	41,46	39,90
9,7	38,67	38,07	37,51	37,06	36,99	38,00	39,28	40,25	41,15	41,47	39,91
9,8	38,74	38,14	37,58	37,14	37,04	38,03	39,27	40,26	41,15	41,48	39,92
9,9	38,81	38,21	37,65	37,21	37,11	38,07	39,27	40,26	41,15	41,49	39,93
10	38,88	38,28	37,72	37,29	37,19	38,09	39,27	40,26	41,15	41,50	39,94
10,1	38,93	38,34	37,78	37,36	37,26	38,11	39,26	40,27	41,15	41,51	39,95
10,2	38,99	38,41	37,85	37,43	37,34	38,13	39,26	40,27	41,14	41,52	39,96
10,3	39,05	38,48	37,92	37,51	37,42	38,15	39,25	40,28	41,14	41,53	39,97
10,4	39,11	38,55	37,99	37,59	37,49	38,17	39,25	40,28	41,14	41,54	39,98
10,5	39,17	38,62	38,06	37,67	37,57	38,19	39,24	40,29	41,14	41,55	39,99
10,6	39,23	38,69	38,13	37,75	37,65	38,22	39,24	40,29	41,14	41,56	40,00
10,7	39,29	38,76	38,20	37,83	37,72	38,26	39,24	40,30	41,14	41,57	40,01
10,8	39,35	38,82	38,27	37,92	37,80	38,28	39,23	40,30	41,13	41,58	40,02

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
10,9	39,41	38,84	38,32	38,00	37,88	38,28	39,21	40,31	41,13	41,59	40,03
11	39,46	38,87	38,35	38,08	37,95	38,29	39,19	40,31	41,13	41,60	40,05
11,1	39,49	38,90	38,37	38,16	38,03	38,29	39,17	40,31	41,13	41,61	40,07
11,2	39,51	38,93	38,39	38,24	38,11	38,30	39,15	40,32	41,13	41,62	40,09
11,3	39,53	38,95	38,43	38,32	38,19	38,30	39,13	40,32	41,13	41,63	40,11
11,4	39,55	38,98	38,49	38,39	38,26	38,31	39,11	40,33	41,12	41,64	40,13
11,5	39,57	39,00	38,54	38,45	38,34	38,32	39,09	40,33	41,12	41,65	40,15
11,6	39,59	39,02	38,60	38,52	38,42	38,33	39,07	40,34	41,12	41,66	40,17
11,7	39,61	39,04	38,66	38,58	38,49	38,34	39,06	40,34	41,12	41,67	40,19
11,8	39,63	39,06	38,72	38,64	38,57	38,34	39,04	40,34	41,12	41,68	40,21
11,9	39,65	39,08	38,79	38,71	38,65	38,35	39,03	40,33	41,12	41,69	40,23
12	39,67	39,10	38,85	38,77	38,70	38,36	39,02	40,31	41,12	41,70	40,25
12,1	39,69	39,12	38,91	38,84	38,77	38,37	39,01	40,29	41,12	41,72	40,27
12,2	39,71	39,16	38,97	38,90	38,80	38,40	39,01	40,27	41,12	41,73	40,29
12,3	39,73	39,22	39,04	38,97	38,83	38,44	39,01	40,25	41,12	41,73	40,31
12,4	39,75	39,27	39,10	39,03	38,86	38,48	39,00	40,23	41,12	41,74	40,33
12,5	39,77	39,33	39,16	39,10	38,89	38,52	39,00	40,21	41,11	41,75	40,35
12,6	39,79	39,39	39,22	39,16	38,92	38,55	38,99	40,20	41,09	41,75	40,37
12,7	39,81	39,45	39,28	39,23	38,95	38,59	38,99	40,18	41,07	41,75	40,39
12,8	39,83	39,51	39,35	39,29	38,98	38,63	38,98	40,16	41,04	41,73	40,41
12,9	39,85	39,57	39,41	39,36	39,01	38,67	38,98	40,14	41,01	41,72	40,42
13	39,88	39,63	39,47	39,42	39,04	38,70	38,97	40,13	40,98	41,70	40,44
13,1	39,91	39,68	39,53	39,49	39,07	38,72	38,97	40,11	40,95	41,69	40,46
13,2	39,98	39,75	39,60	39,55	39,10	38,75	38,96	40,10	40,92	41,68	40,48
13,3	40,04	39,81	39,66	39,61	39,12	38,78	38,95	40,09	40,89	41,66	40,50
13,4	40,11	39,88	39,72	39,67	39,15	38,81	38,95	40,09	40,86	41,65	40,52
13,5	40,18	39,95	39,79	39,70	39,17	38,84	38,94	40,08	40,83	41,64	40,54
13,6	40,25	40,02	39,85	39,73	39,20	38,87	38,94	40,07	40,81	41,62	40,56
13,7	40,32	40,10	39,91	39,76	39,22	38,89	38,94	40,06	40,80	41,59	40,57
13,8	40,39	40,17	39,98	39,79	39,25	38,92	38,94	40,06	40,79	41,56	40,59
13,9	40,46	40,25	40,04	39,82	39,28	38,94	38,94	40,05	40,78	41,54	40,61
14	40,54	40,32	40,11	39,85	39,30	38,96	38,94	40,04	40,78	41,51	40,62
14,1	40,61	40,40	40,19	39,87	39,33	38,98	38,94	40,03	40,77	41,49	40,62
14,2	40,69	40,47	40,26	39,90	39,36	39,00	38,93	40,03	40,77	41,47	40,63
14,3	40,76	40,55	40,34	39,93	39,39	39,02	38,93	40,02	40,76	41,44	40,64
14,4	40,84	40,62	40,41	39,96	39,42	39,04	38,93	40,01	40,75	41,42	40,66
14,5	40,91	40,70	40,49	39,99	39,45	39,07	38,93	40,00	40,75	41,41	40,66

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
14,6	40,99	40,77	40,56	40,04	39,48	39,09	38,94	40,00	40,74	41,40	40,65
14,7	41,06	40,85	40,64	40,09	39,51	39,13	38,94	39,99	40,74	41,40	40,64
14,8	41,14	40,92	40,71	40,14	39,56	39,17	38,98	39,98	40,73	41,39	40,63
14,9	41,22	41,00	40,76	40,18	39,61	39,21	39,01	39,98	40,73	41,39	40,63
15	41,29	41,08	40,80	40,23	39,66	39,25	39,05	39,97	40,72	41,38	40,62
15,1	41,37	41,15	40,85	40,28	39,71	39,30	39,09	39,96	40,72	41,38	40,61
15,2	41,44	41,23	40,90	40,33	39,76	39,34	39,13	39,95	40,71	41,37	40,61
15,3	41,52	41,30	40,95	40,38	39,81	39,38	39,18	39,94	40,70	41,36	40,60
15,4	41,59	41,38	41,00	40,43	39,86	39,43	39,22	39,93	40,70	41,36	40,59
15,5	41,67	41,45	41,05	40,48	39,91	39,47	39,27	39,92	40,69	41,35	40,60
15,6	41,74	41,53	41,10	40,53	39,96	39,51	39,31	39,91	40,69	41,35	40,60
15,7	41,82	41,60	41,15	40,58	40,01	39,55	39,36	39,90	40,68	41,34	40,61
15,8	41,89	41,68	41,20	40,62	40,06	39,60	39,40	39,90	40,68	41,34	40,62
15,9	41,97	41,75	41,24	40,67	40,11	39,64	39,45	39,89	40,67	41,33	40,62
16	42,04	41,83	41,29	40,72	40,16	39,68	39,49	39,89	40,66	41,33	40,63
16,1	42,12	41,90	41,34	40,77	40,21	39,73	39,53	39,89	40,66	41,32	40,64
16,2	42,19	41,95	41,39	40,82	40,26	39,77	39,58	39,89	40,65	41,31	40,65
16,3	42,24	42,00	41,44	40,87	40,31	39,81	39,62	39,89	40,64	41,31	40,66
16,4	42,29	42,05	41,49	40,92	40,36	39,85	39,67	39,89	40,64	41,30	40,67
16,5	42,34	42,10	41,54	40,97	40,41	39,90	39,71	39,89	40,64	41,30	40,68
16,6	42,39	42,15	41,59	41,01	40,46	39,94	39,76	39,89	40,64	41,29	40,69
16,7	42,43	42,19	41,64	41,06	40,51	39,98	39,80	39,90	40,65	41,29	40,70
16,8	42,48	42,24	41,68	41,11	40,56	40,02	39,85	39,90	40,65	41,28	40,71
16,9	42,53	42,29	41,73	41,16	40,61	40,07	39,89	39,90	40,65	41,27	40,72
17	42,58	42,34	41,78	41,21	40,66	40,11	39,93	39,91	40,65	41,27	40,74
17,1	42,63	42,39	41,83	41,26	40,71	40,15	39,98	39,91	40,65	41,27	40,76
17,2	42,68	42,44	41,88	41,31	40,76	40,20	40,02	39,93	40,65	41,28	40,78
17,3	42,73	42,49	41,93	41,36	40,81	40,24	40,07	39,95	40,65	41,29	40,81
17,4	42,77	42,54	41,98	41,40	40,86	40,28	40,11	39,97	40,66	41,29	40,84
17,5	42,81	42,59	42,03	41,45	40,91	40,32	40,16	40,01	40,66	41,30	40,86
17,6	42,83	42,63	42,08	41,50	40,96	40,37	40,21	40,05	40,67	41,31	40,88
17,7	42,85	42,68	42,12	41,55	41,01	40,41	40,25	40,08	40,68	41,32	40,91
17,8	42,87	42,73	42,17	41,60	41,06	40,45	40,29	40,12	40,68	41,32	40,93
17,9	42,90	42,78	42,22	41,65	41,11	40,50	40,33	40,16	40,69	41,33	40,95
18	42,92	42,83	42,27	41,70	41,16	40,54	40,37	40,20	40,69	41,34	40,97
18,1	42,94	42,88	42,32	41,75	41,21	40,58	40,41	40,24	40,70	41,35	41,00
18,2	42,94	42,93	42,37	41,79	41,26	40,62	40,45	40,27	40,71	41,36	41,02

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
18,3	42,95	42,95	42,42	41,84	41,31	40,67	40,48	40,31	40,71	41,36	41,05
18,4	42,96	42,97	42,47	41,89	41,36	40,71	40,52	40,35	40,72	41,37	41,07
18,5	42,97	43,00	42,52	41,94	41,41	40,75	40,56	40,39	40,73	41,38	41,10
18,6	42,97	43,02	42,56	41,99	41,46	40,80	40,60	40,43	40,73	41,39	41,12
18,7	42,98	43,04	42,61	42,04	41,51	40,84	40,64	40,46	40,74	41,40	41,15
18,8	42,99	43,06	42,66	42,09	41,56	40,88	40,68	40,50	40,74	41,40	41,17
18,9	43,00	43,09	42,71	42,14	41,61	40,93	40,72	40,54	40,75	41,41	41,20
19	43,00	43,11	42,76	42,18	41,66	40,97	40,76	40,58	40,76	41,42	41,22
19,1	43,01	43,13	42,81	42,23	41,71	41,02	40,79	40,62	40,76	41,43	41,25
19,2	43,02	43,15	42,86	42,28	41,75	41,06	40,83	40,65	40,77	41,43	41,27
19,3	43,03	43,17	42,91	42,33	41,80	41,10	40,87	40,69	40,78	41,44	41,30
19,4	43,03	43,20	42,96	42,38	41,85	41,15	40,91	40,73	40,79	41,45	41,32
19,5	43,04	43,22	43,00	42,43	41,89	41,19	40,96	40,78	40,80	41,46	41,35
19,6	43,05	43,24	43,05	42,48	41,94	41,23	41,00	40,82	40,82	41,47	41,37
19,7	43,06	43,26	43,10	42,53	41,99	41,28	41,04	40,87	40,83	41,47	41,40
19,8	43,06	43,29	43,15	42,58	42,03	41,32	41,09	40,92	40,85	41,48	41,42
19,9	43,07	43,31	43,20	42,62	42,08	41,36	41,13	40,96	40,87	41,50	41,45
20	43,08	43,33	43,25	42,67	42,13	41,41	41,18	41,01	40,89	41,52	41,48
20,1	43,09	43,35	43,30	42,72	42,17	41,45	41,22	41,06	40,90	41,53	41,52
20,2	43,10	43,37	43,34	42,77	42,22	41,50	41,27	41,11	40,92	41,55	41,55
20,3	43,10	43,40	43,36	42,82	42,27	41,54	41,31	41,16	40,95	41,57	41,59
20,4	43,11	43,42	43,39	42,87	42,31	41,58	41,35	41,21	40,99	41,59	41,62
20,5	43,12	43,44	43,41	42,92	42,36	41,63	41,37	41,26	41,03	41,60	41,66
20,6	43,13	43,46	43,43	42,97	42,41	41,68	41,40	41,31	41,07	41,62	41,67
20,7	43,13	43,48	43,45	43,01	42,45	41,74	41,42	41,36	41,11	41,64	41,69
20,8	43,14	43,51	43,48	43,06	42,50	41,76	41,45	41,41	41,15	41,66	41,71
20,9	43,15	43,53	43,50	43,11	42,55	41,78	41,47	41,46	41,19	41,67	41,72
21	43,16	43,55	43,52	43,16	42,60	41,80	41,50	41,51	41,23	41,69	41,74
21,1	43,16	43,57	43,54	43,21	42,64	41,83	41,52	41,56	41,27	41,71	41,75
21,2	43,17	43,60	43,56	43,26	42,69	41,85	41,55	41,60	41,31	41,73	41,77
21,3	43,18	43,62	43,59	43,31	42,74	41,88	41,58	41,63	41,35	41,74	41,79
21,4	43,19	43,64	43,61	43,36	42,79	41,90	41,60	41,65	41,39	41,76	41,80
21,5	43,19	43,66	43,63	43,40	42,83	41,93	41,63	41,68	41,44	41,78	41,82
21,6	43,20	43,68	43,65	43,45	42,88	41,96	41,65	41,70	41,49	41,80	41,84
21,7	43,21	43,69	43,67	43,50	42,93	41,98	41,68	41,72	41,54	41,81	41,85
21,8	43,22	43,69	43,70	43,55	42,97	42,01	41,70	41,75	41,59	41,83	41,87
21,9	43,22	43,70	43,72	43,60	43,02	42,04	41,73	41,77	41,63	41,85	41,88

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
22	43,23	43,71	43,74	43,65	43,07	42,06	41,75	41,80	41,66	41,87	41,90
22,1	43,24	43,72	43,76	43,70	43,12	42,09	41,78	41,82	41,68	41,88	41,92
22,2	43,25	43,73	43,79	43,75	43,17	42,12	41,81	41,84	41,70	41,90	41,93
22,3	43,25	43,73	43,81	43,77	43,22	42,14	41,84	41,87	41,73	41,92	41,95
22,4	43,26	43,74	43,83	43,80	43,26	42,17	41,86	41,89	41,75	41,94	41,97
22,5	43,27	43,75	43,85	43,82	43,29	42,20	41,89	41,92	41,77	41,95	41,98
22,6	43,28	43,76	43,87	43,84	43,31	42,24	41,92	41,94	41,80	41,96	42,00
22,7	43,28	43,76	43,90	43,87	43,34	42,27	41,95	41,97	41,82	41,95	42,01
22,8	43,29	43,77	43,92	43,89	43,37	42,30	41,97	41,99	41,84	41,95	42,03
22,9	43,28	43,78	43,94	43,92	43,39	42,33	42,00	42,01	41,87	41,94	42,05
23	43,28	43,79	43,96	43,94	43,42	42,36	42,03	42,04	41,89	41,94	42,07
23,1	43,28	43,79	43,99	43,97	43,45	42,39	42,06	42,06	41,91	41,94	42,09
23,2	43,28	43,80	44,01	43,99	43,47	42,42	42,08	42,09	41,94	41,96	42,11
23,3	43,27	43,79	44,02	44,01	43,50	42,45	42,11	42,11	41,96	41,97	42,12
23,4	43,26	43,78	44,03	44,02	43,51	42,48	42,14	42,13	41,98	41,99	42,12
23,5	43,25	43,77	44,03	44,03	43,52	42,51	42,17	42,16	42,01	42,01	42,11
23,6	43,23	43,77	44,04	44,04	43,53	42,52	42,19	42,18	42,03	42,02	42,11
23,7	43,22	43,76	44,04	44,04	43,54	42,54	42,22	42,21	42,05	42,04	42,11
23,8	43,20	43,75	44,05	44,05	43,55	42,56	42,25	42,23	42,08	42,05	42,10
23,9	43,19	43,74	44,06	44,06	43,56	42,58	42,28	42,25	42,10	42,07	42,10
24	43,17	43,73	44,06	44,06	43,57	42,59	42,30	42,28	42,12	42,09	42,10
24,1	43,16	43,72	44,07	44,05	43,58	42,61	42,33	42,30	42,15	42,10	42,09
24,2	43,15	43,71	44,07	44,03	43,59	42,63	42,36	42,33	42,17	42,12	42,09
24,3	43,13	43,70	44,08	44,02	43,57	42,65	42,38	42,35	42,19	42,14	42,09
24,4	43,12	43,69	44,08	44,01	43,55	42,66	42,40	42,37	42,22	42,16	42,08
24,5	43,10	43,69	44,09	44,00	43,54	42,68	42,41	42,40	42,24	42,17	42,08
24,6	43,09	43,68	44,10	43,98	43,52	42,70	42,42	42,42	42,26	42,19	42,08
24,7	43,07	43,66	44,10	43,97	43,51	42,71	42,43	42,45	42,29	42,21	42,07
24,8	43,06	43,65	44,11	43,96	43,49	42,73	42,45	42,47	42,31	42,22	42,07
24,9	43,04	43,63	44,12	43,94	43,47	42,75	42,46	42,50	42,33	42,24	42,07
25	43,03	43,62	44,12	43,93	43,46	42,77	42,47	42,52	42,36	42,26	42,06
25,1	43,02	43,61	44,11	43,92	43,44	42,78	42,49	42,54	42,38	42,28	42,06
25,2	43,00	43,59	44,10	43,91	43,42	42,80	42,50	42,55	42,40	42,29	42,04
25,3	42,99	43,58	44,10	43,89	43,41	42,82	42,51	42,56	42,43	42,31	42,03
25,4	42,97	43,56	44,09	43,88	43,39	42,84	42,52	42,58	42,45	42,33	42,01
25,5	42,96	43,55	44,08	43,87	43,37	42,85	42,54	42,59	42,48	42,35	42,00
25,6	42,94	43,53	44,07	43,86	43,36	42,87	42,55	42,60	42,50	42,36	41,99

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
25,7	42,93	43,52	44,04	43,84	43,34	42,89	42,56	42,61	42,53	42,38	41,97
25,8	42,92	43,50	44,01	43,83	43,32	42,89	42,58	42,62	42,55	42,40	41,96
25,9	42,91	43,49	43,98	43,82	43,31	42,87	42,59	42,63	42,57	42,42	41,95
26	42,90	43,47	43,95	43,80	43,29	42,86	42,60	42,64	42,60	42,44	41,96
26,1	42,89	43,46	43,92	43,79	43,28	42,85	42,61	42,65	42,63	42,45	41,96
26,2	42,88	43,45	43,89	43,78	43,26	42,83	42,63	42,66	42,65	42,47	41,97
26,3	42,87	43,43	43,86	43,77	43,24	42,82	42,64	42,67	42,68	42,48	41,98
26,4	42,84	43,42	43,83	43,75	43,23	42,81	42,65	42,68	42,70	42,50	41,99
26,5	42,80	43,40	43,80	43,74	43,21	42,79	42,63	42,69	42,73	42,51	42,00
26,6	42,76	43,39	43,77	43,72	43,19	42,78	42,61	42,70	42,75	42,53	42,01
26,7	42,71	43,37	43,74	43,71	43,18	42,73	42,60	42,71	42,76	42,54	42,02
26,8	42,67	43,36	43,70	43,69	43,16	42,68	42,56	42,72	42,78	42,56	42,02
26,9	42,62	43,35	43,67	43,67	43,14	42,62	42,50	42,73	42,80	42,57	42,03
27	42,58	43,33	43,63	43,66	43,11	42,57	42,44	42,71	42,82	42,59	42,04
27,1	42,53	43,32	43,60	43,64	43,06	42,52	42,39	42,68	42,84	42,60	42,05
27,2	42,49	43,27	43,57	43,62	43,00	42,47	42,33	42,65	42,86	42,62	42,06
27,3	42,44	43,20	43,53	43,61	42,95	42,41	42,27	42,64	42,87	42,63	42,07
27,4	42,40	43,13	43,50	43,59	42,89	42,36	42,22	42,63	42,89	42,65	42,07
27,5	42,33	43,06	43,47	43,57	42,84	42,31	42,16	42,63	42,91	42,66	42,08
27,6	42,20	43,00	43,43	43,56	42,79	42,26	42,12	42,62	42,93	42,68	42,09
27,7	42,07	42,94	43,40	43,54	42,73	42,20	42,08	42,61	42,95	42,70	42,10
27,8	41,94	42,89	43,36	43,52	42,68	42,15	42,05	42,60	42,95	42,71	42,11
27,9	41,81	42,84	43,33	43,51	42,62	42,10	42,02	42,59	42,95	42,73	42,12
28	41,68	42,78	43,30	43,49	42,57	42,05	42,01	42,59	42,95	42,74	42,13
28,1	41,55	42,68	43,26	43,48	42,51	41,99	42,01	42,58	42,95	42,76	42,14
28,2	41,42	42,54	43,23	43,42	42,46	41,94	42,00	42,57	42,95	42,77	42,15
28,3	41,30	42,41	43,17	43,36	42,40	41,89	42,00	42,56	42,95	42,79	42,16
28,4	41,18	42,30	43,10	43,30	42,35	41,84	41,99	42,55	42,94	42,80	42,18
28,5	41,06	42,19	43,05	43,22	42,29	41,81	41,99	42,54	42,94	42,79	42,19
28,6	40,94	42,06	43,00	43,17	42,24	41,78	41,98	42,54	42,94	42,79	42,20
28,7	40,81	41,94	42,89	43,13	42,20	41,78	41,98	42,53	42,94	42,78	42,22
28,8	40,69	41,82	42,77	43,08	42,16	41,79	41,97	42,52	42,93	42,78	42,23
28,9	40,59	41,70	42,65	43,03	42,13	41,79	41,97	42,51	42,93	42,77	42,24
29	40,55	41,57	42,54	42,99	42,09	41,80	41,97	42,50	42,92	42,77	42,26
29,1	40,52	41,45	42,43	42,94	42,05	41,80	41,97	42,50	42,91	42,76	42,26
29,2	40,49	41,33	42,32	42,89	42,01	41,81	41,96	42,49	42,90	42,76	42,26
29,3	40,44	41,21	42,20	42,80	41,98	41,81	41,96	42,48	42,89	42,74	42,25

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
29,4	40,38	41,08	42,09	42,65	41,99	41,82	41,96	42,48	42,87	42,73	42,24
29,5	40,31	40,96	41,98	42,50	42,00	41,83	41,96	42,47	42,86	42,72	42,23
29,6	40,22	40,87	41,88	42,34	42,01	41,85	41,96	42,46	42,84	42,71	42,22
29,7	40,12	40,78	41,78	42,18	42,02	41,86	41,95	42,45	42,83	42,69	42,20
29,8	40,01	40,68	41,68	42,02	42,04	41,87	41,95	42,43	42,82	42,68	42,19
29,9	39,91	40,59	41,58	41,86	42,05	41,88	41,95	42,42	42,81	42,67	42,17
30	39,81	40,49	41,49	41,70	42,05	41,89	41,94	42,41	42,80	42,66	42,16
30,1	39,70	40,39	41,38	41,64	42,05	41,89	41,94	42,39	42,79	42,64	42,15
30,2	39,59	40,28	41,26	41,58	42,06	41,90	41,93	42,38	42,78	42,63	42,14
30,3	39,48	40,14	41,14	41,52	42,02	41,91	41,93	42,36	42,77	42,62	42,14
30,4	39,38	40,00	41,01	41,46	41,98	41,91	41,92	42,35	42,76	42,61	42,13
30,5	39,27	39,87	40,89	41,41	41,94	41,92	41,91	42,33	42,74	42,59	42,12
30,6	39,17	39,73	40,76	41,35	41,90	41,93	41,91	42,32	42,72	42,58	42,12
30,7	39,06	39,59	40,65	41,31	41,85	41,93	41,91	42,30	42,69	42,57	42,11
30,8	38,95	39,42	40,63	41,28	41,81	41,94	41,91	42,29	42,67	42,56	42,06
30,9	38,85	39,26	40,60	41,25	41,77	41,91	41,91	42,27	42,65	42,55	42,01
31	38,75	39,11	40,55	41,22	41,73	41,87	41,90	42,25	42,63	42,54	41,96
31,1	38,65	39,01	40,49	41,19	41,68	41,83	41,89	42,23	42,61	42,51	41,91
31,2	38,56	38,91	40,43	41,16	41,62	41,80	41,89	42,21	42,59	42,45	41,86
31,3	38,46	38,81	40,38	41,14	41,57	41,76	41,88	42,19	42,57	42,40	41,82
31,4	38,38	38,73	40,32	41,11	41,55	41,72	41,88	42,17	42,55	42,35	41,77
31,5	38,31	38,71	40,26	41,09	41,52	41,68	41,88	42,15	42,53	42,30	41,72
31,6	38,24	38,69	40,20	41,07	41,50	41,65	41,85	42,13	42,50	42,24	41,67
31,7	38,17	38,67	40,15	41,06	41,47	41,61	41,81	42,11	42,44	42,19	41,62
31,8	38,10	38,65	40,10	41,04	41,44	41,57	41,77	42,06	42,38	42,14	41,57
31,9	38,03	38,63	40,05	41,02	41,42	41,57	41,72	42,00	42,32	42,09	41,53
32	37,97	38,61	40,00	41,00	41,39	41,56	41,68	41,94	42,26	42,04	41,48
32,1	37,91	38,60	39,95	40,97	41,37	41,56	41,64	41,88	42,20	41,99	41,45
32,2	37,91	38,61	39,90	40,95	41,34	41,55	41,60	41,82	42,13	41,93	41,44
32,3	37,92	38,62	39,86	40,92	41,33	41,55	41,59	41,76	42,07	41,88	41,42
32,4	37,93	38,63	39,81	40,90	41,32	41,55	41,58	41,70	42,01	41,84	41,40
32,5	37,93	38,63	39,76	40,87	41,31	41,54	41,57	41,64	41,95	41,82	41,39
32,6	37,94	38,62	39,71	40,85	41,29	41,54	41,56	41,58	41,89	41,80	41,37
32,7	37,95	38,62	39,66	40,82	41,28	41,53	41,55	41,56	41,84	41,78	41,35
32,8	37,95	38,61	39,64	40,80	41,27	41,52	41,54	41,53	41,81	41,76	41,34
32,9	37,96	38,61	39,64	40,78	41,26	41,51	41,53	41,51	41,78	41,73	41,32
33	37,97	38,61	39,63	40,75	41,24	41,51	41,52	41,48	41,75	41,71	41,30

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
33,1	37,98	38,60	39,62	40,71	41,22	41,50	41,51	41,46	41,73	41,68	41,29
33,2	37,98	38,60	39,61	40,67	41,20	41,49	41,50	41,43	41,70	41,65	41,27
33,3	37,99	38,59	39,61	40,63	41,19	41,48	41,49	41,40	41,67	41,63	41,25
33,4	38,00	38,59	39,60	40,59	41,17	41,48	41,48	41,38	41,64	41,60	41,23
33,5	38,00	38,58	39,59	40,59	41,15	41,47	41,48	41,35	41,61	41,57	41,22
33,6	38,01	38,58	39,58	40,60	41,13	41,46	41,47	41,33	41,58	41,55	41,20
33,7	38,00	38,58	39,58	40,60	41,11	41,44	41,46	41,30	41,55	41,52	41,18
33,8	37,99	38,57	39,57	40,60	41,09	41,42	41,45	41,28	41,53	41,49	41,17
33,9	37,98	38,57	39,56	40,61	41,07	41,40	41,44	41,25	41,50	41,47	41,15
34	37,98	38,56	39,55	40,61	41,06	41,38	41,43	41,23	41,47	41,44	41,13
34,1	37,97	38,56	39,55	40,61	41,05	41,36	41,42	41,20	41,44	41,41	41,12
34,2	37,96	38,56	39,54	40,61	41,07	41,33	41,40	41,18	41,41	41,39	41,10
34,3	37,96	38,55	39,53	40,61	41,09	41,31	41,37	41,16	41,38	41,36	41,08
34,4	37,95	38,55	39,53	40,61	41,10	41,29	41,34	41,14	41,35	41,33	41,07
34,5	37,94	38,54	39,52	40,61	41,12	41,27	41,31	41,11	41,33	41,31	41,05
34,6	37,93	38,54	39,51	40,61	41,13	41,25	41,28	41,09	41,30	41,28	41,03
34,7	37,93	38,53	39,50	40,61	41,15	41,24	41,25	41,07	41,27	41,25	41,02
34,8	37,92	38,53	39,50	40,61	41,16	41,22	41,22	41,04	41,24	41,23	41,00
34,9	37,92	38,53	39,49	40,61	41,17	41,21	41,19	41,00	41,21	41,20	40,98
35	37,91	38,51	39,48	40,61	41,18	41,19	41,16	40,96	41,18	41,17	40,97
35,1	37,91	38,50	39,48	40,61	41,19	41,18	41,13	40,93	41,15	41,15	40,95
35,2	37,90	38,49	39,47	40,61	41,21	41,18	41,10	40,89	41,13	41,12	40,93
35,3	37,90	38,47	39,46	40,61	41,22	41,17	41,07	40,85	41,10	41,09	40,91
35,4	37,89	38,46	39,45	40,61	41,23	41,17	41,04	40,82	41,07	41,07	40,90
35,5	37,89	38,45	39,45	40,61	41,23	41,16	41,01	40,78	41,04	41,04	40,89
35,6	37,88	38,43	39,44	40,61	41,23	41,17	40,98	40,74	40,99	41,02	40,87
35,7	37,87	38,42	39,43	40,61	41,23	41,17	40,95	40,71	40,95	40,99	40,86
35,8	37,87	38,41	39,43	40,61	41,23	41,18	40,93	40,68	40,90	40,96	40,85
35,9	37,86	38,40	39,42	40,61	41,23	41,19	40,91	40,65	40,86	40,94	40,83
36	37,86	38,38	39,41	40,61	41,23	41,19	40,88	40,62	40,81	40,91	40,82
36,1	37,85	38,37	39,40	40,61	41,23	41,20	40,86	40,59	40,77	40,88	40,80
36,2	37,85	38,36	39,40	40,61	41,23	41,20	40,83	40,57	40,72	40,86	40,77
36,3	37,84	38,34	39,40	40,61	41,22	41,21	40,81	40,54	40,68	40,83	40,74
36,4	37,84	38,33	39,40	40,61	41,22	41,21	40,79	40,51	40,63	40,79	40,71
36,5	37,83	38,32	39,39	40,61	41,22	41,20	40,76	40,48	40,59	40,74	40,68
36,6	37,83	38,30	39,39	40,61	41,22	41,20	40,74	40,45	40,54	40,70	40,65
36,7	37,82	38,29	39,39	40,61	41,22	41,19	40,72	40,42	40,50	40,66	40,62

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
36,8	37,81	38,28	39,38	40,61	41,22	41,18	40,69	40,39	40,45	40,62	40,59
36,9	37,81	38,26	39,38	40,61	41,22	41,18	40,67	40,37	40,41	40,57	40,56
37	37,79	38,25	39,38	40,61	41,22	41,17	40,65	40,34	40,37	40,53	40,54
37,1	37,78	38,24	39,38	40,61	41,22	41,16	40,63	40,31	40,33	40,49	40,51
37,2	37,76	38,23	39,37	40,61	41,22	41,15	40,62	40,28	40,29	40,44	40,48
37,3	37,74	38,21	39,37	40,61	41,22	41,15	40,61	40,26	40,25	40,40	40,44
37,4	37,72	38,20	39,37	40,61	41,22	41,14	40,60	40,23	40,21	40,36	40,40
37,5	37,70	38,19	39,37	40,61	41,21	41,13	40,59	40,21	40,17	40,32	40,37
37,6	37,69	38,17	39,36	40,62	41,21	41,13	40,58	40,19	40,14	40,28	40,33
37,7	37,67	38,16	39,36	40,62	41,21	41,12	40,57	40,17	40,11	40,24	40,29
37,8	37,65	38,15	39,36	40,62	41,21	41,11	40,56	40,14	40,07	40,20	40,25
37,9	37,63	38,13	39,36	40,61	41,21	41,11	40,55	40,12	40,04	40,16	40,22
38	37,62	38,12	39,35	40,61	41,21	41,10	40,54	40,10	40,01	40,12	40,18
38,1	37,60	38,11	39,35	40,61	41,21	41,09	40,53	40,08	39,97	40,07	40,14
38,2	37,58	38,10	39,35	40,60	41,20	41,09	40,52	40,05	39,94	40,02	40,10
38,3	37,56	38,08	39,34	40,60	41,19	41,08	40,51	40,03	39,91	39,96	40,04
38,4	37,55	38,06	39,34	40,60	41,18	41,07	40,50	40,01	39,87	39,91	39,97
38,5	37,53	38,04	39,34	40,59	41,17	41,05	40,49	39,98	39,84	39,86	39,90
38,6	37,51	38,02	39,33	40,59	41,15	41,03	40,48	39,96	39,81	39,81	39,83
38,7	37,49	38,00	39,32	40,59	41,13	41,01	40,47	39,95	39,77	39,76	39,76
38,8	37,47	37,97	39,30	40,58	41,11	40,98	40,46	39,95	39,74	39,71	39,70
38,9	37,46	37,95	39,29	40,58	41,09	40,96	40,46	39,94	39,71	39,66	39,63
39	37,44	37,93	39,27	40,58	41,06	40,94	40,46	39,93	39,68	39,60	39,56
39,1	37,42	37,91	39,26	40,57	41,04	40,92	40,45	39,92	39,65	39,55	39,49
39,2	37,41	37,88	39,24	40,57	41,02	40,90	40,45	39,91	39,63	39,50	39,42
39,3	37,39	37,86	39,23	40,55	41,00	40,88	40,45	39,90	39,60	39,45	39,35
39,4	37,37	37,84	39,21	40,54	40,98	40,86	40,44	39,89	39,57	39,37	39,28
39,5	37,35	37,82	39,19	40,53	40,96	40,83	40,44	39,88	39,54	39,29	39,21
39,6	37,34	37,79	39,18	40,52	40,93	40,81	40,43	39,87	39,49	39,22	39,14
39,7	37,32	37,76	39,16	40,51	40,91	40,79	40,42	39,86	39,44	39,16	39,08
39,8	37,30	37,74	39,14	40,50	40,89	40,77	40,42	39,85	39,38	39,10	39,01
39,9	37,29	37,71	39,11	40,48	40,87	40,75	40,41	39,84	39,33	39,04	38,94
40	37,27	37,69	39,08	40,47	40,85	40,73	40,40	39,83	39,27	38,98	38,87
40,1	37,25	37,66	39,06	40,46	40,83	40,71	40,40	39,82	39,22	38,92	38,80
40,2	37,24	37,63	39,03	40,45	40,81	40,68	40,39	39,82	39,18	38,87	38,73
40,3	37,22	37,61	39,01	40,44	40,78	40,66	40,38	39,81	39,16	38,81	38,67
40,4	37,20	37,58	38,98	40,43	40,76	40,64	40,38	39,80	39,13	38,75	38,60

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
40,5	37,18	37,56	38,96	40,42	40,74	40,62	40,37	39,79	39,11	38,69	38,53
40,6	37,17	37,53	38,93	40,41	40,72	40,60	40,36	39,78	39,09	38,64	38,46
40,7	37,15	37,51	38,90	40,39	40,70	40,58	40,36	39,77	39,06	38,58	38,40
40,8	37,13	37,49	38,88	40,38	40,68	40,56	40,35	39,76	39,04	38,52	38,33
40,9	37,11	37,48	38,85	40,37	40,66	40,53	40,34	39,75	39,02	38,46	38,26
41	37,10	37,46	38,83	40,36	40,63	40,51	40,34	39,74	38,99	38,41	38,20
41,1	37,08	37,44	38,80	40,34	40,61	40,49	40,33	39,73	38,97	38,35	38,13
41,2	37,05	37,43	38,78	40,32	40,59	40,47	40,32	39,72	38,95	38,28	38,05
41,3	37,03	37,41	38,75	40,30	40,57	40,45	40,31	39,71	38,92	38,21	37,96
41,4	37,01	37,40	38,72	40,27	40,55	40,43	40,31	39,70	38,90	38,15	37,87
41,5	36,99	37,38	38,70	40,25	40,53	40,41	40,29	39,69	38,87	38,08	37,78
41,6	36,97	37,36	38,67	40,22	40,51	40,38	40,26	39,69	38,85	38,03	37,69
41,7	36,95	37,35	38,65	40,20	40,48	40,36	40,24	39,68	38,83	38,01	37,60
41,8	36,93	37,33	38,62	40,17	40,46	40,34	40,22	39,67	38,80	37,98	37,50
41,9	36,91	37,31	38,60	40,15	40,44	40,32	40,20	39,66	38,78	37,95	37,41
42	36,89	37,30	38,57	40,12	40,42	40,30	40,18	39,65	38,76	37,93	37,33
42,1	36,87	37,28	38,55	40,09	40,40	40,28	40,16	39,64	38,74	37,90	37,25
42,2	36,84	37,26	38,52	40,07	40,38	40,26	40,14	39,63	38,72	37,87	37,17
42,3	36,82	37,25	38,50	40,04	40,35	40,23	40,11	39,63	38,70	37,85	37,10
42,4	36,80	37,23	38,47	40,02	40,33	40,21	40,09	39,63	38,68	37,82	37,04
42,5	36,78	37,21	38,45	39,99	40,30	40,19	40,07	39,62	38,66	37,79	37,00
42,6	36,76	37,20	38,42	39,97	40,27	40,17	40,05	39,62	38,64	37,77	36,96
42,7	36,74	37,18	38,40	39,94	40,24	40,15	40,03	39,62	38,62	37,74	36,92
42,8	36,72	37,16	38,38	39,91	40,21	40,13	40,01	39,61	38,60	37,71	36,88
42,9	36,70	37,15	38,35	39,88	40,18	40,11	39,99	39,61	38,58	37,69	36,84
43	36,68	37,13	38,33	39,84	40,15	40,09	39,96	39,59	38,56	37,66	36,81
43,1	36,66	37,11	38,30	39,81	40,12	40,06	39,94	39,58	38,54	37,63	36,79
43,2	36,63	37,10	38,28	39,78	40,09	40,04	39,92	39,56	38,52	37,61	36,77
43,3	36,61	37,08	38,25	39,75	40,06	40,02	39,90	39,55	38,50	37,58	36,75
43,4	36,59	37,07	38,23	39,72	40,03	40,00	39,88	39,54	38,48	37,55	36,73
43,5	36,57	37,05	38,21	39,69	40,01	39,98	39,86	39,52	38,46	37,53	36,71
43,6	36,55	37,03	38,18	39,66	39,98	39,96	39,84	39,51	38,44	37,50	36,68
43,7	36,53	37,02	38,16	39,62	39,95	39,94	39,81	39,49	38,42	37,47	36,65
43,8	36,52	37,00	38,13	39,59	39,92	39,91	39,79	39,48	38,40	37,45	36,62
43,9	36,50	36,98	38,11	39,56	39,89	39,89	39,77	39,46	38,38	37,42	36,59
44	36,48	36,97	38,08	39,53	39,86	39,87	39,75	39,45	38,37	37,39	36,56
44,1	36,46	36,95	38,06	39,50	39,83	39,86	39,73	39,43	38,35	37,37	36,53

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
44,2	36,44	36,93	38,04	39,47	39,80	39,84	39,71	39,42	38,33	37,36	36,51
44,3	36,41	36,92	38,01	39,44	39,77	39,82	39,69	39,40	38,32	37,34	36,48
44,4	36,39	36,90	37,99	39,41	39,74	39,81	39,66	39,38	38,30	37,33	36,46
44,5	36,37	36,88	37,96	39,38	39,71	39,79	39,64	39,35	38,29	37,31	36,44
44,6	36,34	36,87	37,94	39,35	39,68	39,77	39,62	39,32	38,27	37,30	36,42
44,7	36,32	36,85	37,91	39,32	39,65	39,76	39,60	39,30	38,26	37,28	36,40
44,8	36,30	36,83	37,89	39,29	39,61	39,74	39,58	39,27	38,24	37,27	36,38
44,9	36,27	36,82	37,87	39,26	39,58	39,72	39,56	39,24	38,23	37,25	36,35
45	36,25	36,80	37,84	39,23	39,55	39,70	39,54	39,21	38,21	37,24	36,33
45,1	36,23	36,79	37,82	39,20	39,52	39,68	39,51	39,18	38,20	37,22	36,32
45,2	36,21	36,77	37,79	39,17	39,49	39,65	39,49	39,16	38,18	37,21	36,30
45,3	36,18	36,75	37,77	39,14	39,46	39,64	39,47	39,13	38,17	37,19	36,29
45,4	36,17	36,74	37,74	39,11	39,43	39,61	39,45	39,10	38,15	37,18	36,27
45,5	36,15	36,72	37,72	39,08	39,39	39,58	39,44	39,07	38,14	37,16	36,25
45,6	36,14	36,70	37,70	39,05	39,36	39,56	39,42	39,04	38,13	37,15	36,24
45,7	36,13	36,69	37,67	39,02	39,33	39,53	39,40	39,02	38,12	37,13	36,22
45,8	36,11	36,67	37,65	38,98	39,30	39,50	39,39	38,99	38,11	37,12	36,21
45,9	36,10	36,65	37,62	38,95	39,27	39,47	39,37	38,96	38,11	37,11	36,19
46	36,08	36,64	37,60	38,92	39,24	39,45	39,35	38,93	38,10	37,10	36,18
46,1	36,07	36,62	37,57	38,89	39,21	39,42	39,33	38,91	38,09	37,10	36,16
46,2	36,05	36,60	37,55	38,86	39,17	39,39	39,32	38,88	38,08	37,09	36,15
46,3	36,04	36,59	37,53	38,83	39,14	39,36	39,30	38,85	38,08	37,08	36,14
46,4	36,02	36,57	37,50	38,80	39,11	39,34	39,29	38,82	38,07	37,07	36,14
46,5	36,01	36,55	37,48	38,77	39,08	39,31	39,27	38,79	38,06	37,06	36,13
46,6	35,99	36,54	37,45	38,74	39,05	39,28	39,26	38,77	38,05	37,06	36,12
46,7	35,98	36,52	37,43	38,71	39,02	39,25	39,24	38,74	38,05	37,05	36,11
46,8	35,96	36,51	37,40	38,67	38,99	39,23	39,23	38,71	38,04	37,04	36,11
46,9	35,95	36,50	37,38	38,64	38,95	39,20	39,21	38,67	38,03	37,05	36,10
47	35,93	36,49	37,36	38,61	38,92	39,17	39,20	38,64	38,02	37,05	36,09
47,1	35,92	36,47	37,33	38,58	38,89	39,14	39,18	38,61	38,02	37,05	36,09
47,2	35,90	36,46	37,31	38,54	38,86	39,11	39,16	38,58	38,01	37,06	36,08
47,3	35,89	36,45	37,28	38,51	38,83	39,08	39,15	38,56	38,00	37,06	36,07
47,4	35,87	36,43	37,26	38,48	38,80	39,05	39,13	38,53	37,99	37,06	36,08
47,5	35,86	36,42	37,23	38,44	38,77	39,01	39,11	38,50	37,99	37,07	36,08
47,6	35,84	36,41	37,21	38,41	38,73	38,98	39,09	38,47	37,99	37,07	36,08
47,7	35,83	36,39	37,19	38,38	38,70	38,95	39,06	38,44	38,00	37,07	36,09
47,8	35,81	36,38	37,16	38,35	38,67	38,92	39,02	38,42	37,99	37,07	36,09

Kadar Blast Furnace Slag (%)	Kuat Tekan dengan 0% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,1% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,2% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,3% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,4% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,5% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,6% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,7% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,8% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 0,9% Sp (MPa)	Kuat Tekan dengan 1% Sp (MPa)
47,9	35,80	36,37	37,14	38,31	38,64	38,88	38,99	38,39	37,98	37,08	36,09
48	35,78	36,35	37,12	38,28	38,61	38,85	38,95	38,36	37,98	37,08	36,10
48,1	35,77	36,34	37,10	38,25	38,58	38,82	38,91	38,34	37,97	37,08	36,10
48,2	35,75	36,33	37,07	38,22	38,55	38,78	38,88	38,31	37,96	37,09	36,10
48,3	35,74	36,31	37,05	38,18	38,51	38,75	38,84	38,29	37,95	37,09	36,10
48,4	35,72	36,30	37,03	38,15	38,48	38,72	38,79	38,26	37,94	37,09	36,10
48,5	35,71	36,29	37,01	38,12	38,45	38,69	38,74	38,23	37,93	37,10	36,10
48,6	35,69	36,27	36,98	38,09	38,42	38,65	38,70	38,21	37,92	37,10	36,10
48,7	35,68	36,26	36,96	38,05	38,39	38,62	38,65	38,18	37,90	37,10	36,10
48,8	35,66	36,24	36,94	38,02	38,36	38,59	38,60	38,16	37,89	37,10	36,10
48,9	35,65	36,23	36,92	37,99	38,33	38,56	38,55	38,13	37,88	37,10	36,10
49	35,63	36,22	36,89	37,96	38,30	38,52	38,51	38,10	37,86	37,10	36,10
49,1	35,62	36,20	36,86	37,92	38,26	38,49	38,46	38,08	37,85	37,10	36,10
49,2	35,60	36,19	36,83	37,89	38,23	38,46	38,41	38,05	37,83	37,10	36,10
49,3	35,59	36,17	36,80	37,86	38,20	38,42	38,36	38,03	37,80	37,10	36,10
49,4	35,58	36,16	36,77	37,83	38,17	38,37	38,32	38,02	37,78	37,10	36,10
49,5	35,57	36,15	36,74	37,79	38,14	38,32	38,27	38,01	37,76	37,10	36,10
49,6	35,56	36,14	36,72	37,76	38,11	38,27	38,22	38,00	37,73	37,10	36,11
49,7	35,55	36,13	36,69	37,73	38,08	38,21	38,17	37,98	37,71	37,10	36,11
49,8	35,54	36,12	36,66	37,70	38,04	38,16	38,14	37,96	37,69	37,09	36,11
49,9	35,51	36,11	36,63	37,66	38,01	38,11	38,10	37,94	37,66	37,09	36,11
50	35,49	36,10	36,60	37,63	37,98	38,05	38,06	37,92	37,64	37,08	36,11