TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BETON NORMAL BERDASARKAN KARAKTERISTIK SIFAT FISIK SEMEN, KUAT TEKAN, DAN ABSORPSI BETON DARI BERBAGAI MEREK SEMEN

EVALUATION OF NORMAL CONCRETE PERFORMANCE BASED ON THE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF CEMENT, COMPRESSIVE STRENGTH, AND CONCRETE ABSORPTION FROM VARIOUS CEMENT BRANDS

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

YANDIKA BARA SETIAWAN
21511151

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BETON NORMAL BERDASARKAN KARAKTERISTIK SIFAT FISIK SEMEN, KUAT TEKAN, DAN ABSORPSI BETON DARI BERBAGAI MEREK SEMEN

EVALUATION OF NORMAL CONCRETE PERFORMANCE BASED ON THE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF CEMENT, COMPRESSIVE STRENGTH, AND CONCRETE ABSORPTION FROM VARIOUS CEMENT BRANDS

Disusun oleh

Yandika Bara Seitawan
21511151

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

Diuji pada tanggal 19 November 2025

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
25/11 2025	25.11.25	
Elvis Saputra, S.T., M.T.	**Astriana Herdawati, S.T., M. Eng.**	**Ir. Suharyatma, M.T.**
NIK: 205111302	**NIK: 165111301**	**NIK: 865110201**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

26/11 2025

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM
NIK: 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 ditemukan 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 dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 19 November 2025

Yang membuat pernyataan,



Yandika Bara Setiawan

(21511151)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Studi Komparatif Karakteristik Fisik dan Mekanik Berbagai Merek Semen Terhadap Kinerja Beton Normal" Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

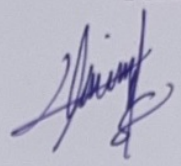
Dalam menyusun Tugas Akhir ini, penulis banyak mengalami halangan, rintangan, serta hambatan yang menyebabkan proses penyelesaian Tugas Akhir ini menjadi terhambat, namun berkat dorongan doa, semangat, motivasi, kritik, dan saran dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing.
3. Ibu Astriana Herdawati S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji I.
4. Bapak Suharyatma Ir., M.T., selaku Dosen Penguji II
5. Terima kasih kepada Ayah, Ibu, Ayuk, dan Adek yang selalu mensuport, dan selalu memberikan banyak dukungan baik secara moral, material, serta bantuan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar, serta diberikan kemudahan segala urusannya.
6. Terimas kasih untuk semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam mengerjakan dan menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis sangat menghargai segala kritik dan saran yang yang membangun. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Yogyakarta, 19 November 2025

Penulis,



Yandika Bara Setiawan

(21511151)

DAFTAR PUSTAKA

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR PUSTAKA vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xvi
ABSTRAK xviii
ABSTRACT xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Masalah 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Tinjauan Pustaka 7
2.2 Penelitian Terdahulu 7
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1 Beton 13
3.1.1 Berdasarkan Mutu Kelas 13
3.1.2 Bedasarkan Jenis Agregat 14
3.1.3 Bedasarkan Metode Pembuatan 14
3.2 Material Campuran Beton 15
3.2.1 Agregat Halus 15
3.2.2 Agregat Kasar 23
3.2.3 Semen 31

3.2.4 Air 35
3.3 Perencanaan Campuran Beton (Mix Design) 36
3.4 Uji *Slump* 46
3.5 Kuat Tekan Beton 47
3.6 Pengujian Absorpsi Beton 48
BAB IV METODE PENELITIAN 50
4.1 Tinjauan Umum 50
4.2 Bahan Penelitian 50
4.3 Peralatan Penelitian 52
4.4 Sampel Pengujian 60
4.5 Pelaksanaan Penelitian 62
4.5.1 Persiapan Peralatan dan Material 62
4.5.2 Pengujian *Properties* Material Campuran 62
4.5.3 Pengujian Agregat 62
4.5.4 Pengujian Parameter Semen (Sifat Fisik) 63
4.5.5 *Trial Mix Design* 64
4.5.6 Uji Slump dan Pemeriksaan 65
4.5.7 Pembuatan Benda Uji 65
4.5.8 Perawatan Benda Uji 67
4.5.9 Kuat Tekan Beton 68
4.5.10 Absorpsi beton 69
4.5.11 Olah Data 69
4.6 Bagan Alir 70
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 73
5.1 Tinjauan Umum 73
5.2 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton 73
5.2.1 Agregat Halus 74
5.2.2 Agregat Kasar 83
5.3 *Mix Design* (Perencanaan Campuran Beton) 91
5.4 Pelaksanaan Pembuatan Sampel *Trial Mix Design* 101
5.5 Hasil Pengujian Slump Test 103
5.6 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial Mix Design* 104

5.7 Pengujian Parameter Semen 105
5.7.1 Hasil Pengujian Kehalusan Semen 105
5.7.2 Hasil Pengujian Konsistensi Normal 109
5.7.3 Hasil Pengujian Waktu Ikat Semen 111
5.8 Hasil Pengujian Beton 118
5.8.1 Analisis Kuat Tekan Beton 118
5.8.2 Analisis Absorpsi Beton 136
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 143
6.1 Kesimpulan 143
6.2 Saran 144
DAFTAR PUSTAKA 146
LAMPIRAN 151

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 11
Tabel 3.1 Batas-batas Gradasi Agregat Halus 20
Tabel 3. 2 Batas-batas Gradasi Agregat Kasar 28
Tabel 3. 3 Susunan Unsur Semen *Portland* 32
Tabel 3. 4 Faktor Modifikasi untuk Standar Deviasi Benda Uji 38
Tabel 3. 5 Kategori Tingkat Mutu Berdasarkan Standar Deviasi (Sr) 38
Tabel 3. 6 Kuat Tekan Rata - Rata 38
Tabel 3. 7 Perkiraan Kekuatan Tekan (Mpa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia 39
Tabel 3. 8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus 40
Tabel 3. 9 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan 42
Tabel 3. 10 Angka Konversi Umur Benda Uji 48
Tabel 4. 1 Rincian Sampel Pengujian Sifat Fisik Semen 61
Tabel 4. 2 Rincian Sampel Pengujian Beton 61
Tabel 4. 4 Klasifikasi Nilai Absorpsi Beton 69
Tabel 5. 1 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus 75
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Analisis Saringan Agregat Halus 78
Tabel 5. 3 Batas Daerah Batas – Batas Besar Butir Agregat Halus 79
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Uji Berat Volume Padat Agregat Halus 81
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Uji Berat Volume Gembur Agregat Halus 82
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Uji Lolos Saringan No. 200 83
Tabel 5. 7 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar 84
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Analisis Saringan Agregat Kasar 87
Tabel 5. 9 Batas Sususan Besar Butir Agregat Kasar 88
Tabel 5.10 Rekapitulasi Uji Berat Volume Padat Agregat Kasar 90
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Uji Berat Volume Gembur Agregat Kasar 91

Tabel 5. 12 Nilai Deviasi Standar Untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan 92
Tabel 5. 13 Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) dengan fas = 0,5 93
Tabel 5. 14 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus 95
Tabel 5. 15 Perkiraan Kebutuhan Air Per-Meter Kubik Beton 96
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton Dalam $1m^3$ 101
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Nilai *Slump Trial Mix Design* 104
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari 105
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Perhitungan Kehalusan Produk Semen Tiga Roda 108
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Perhitungan Kehalusan Produk Semen Dynamix 108
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Perhitungan Kehalusan Produk Semen Grobokan 108
Tabel 5. 22 Hasil Perhitungan Rata – Rata Ketiga Produk Semen 111
Tabel 5. 23 Pengujian Waktu Ikat Semen Produk Semen Tiga Roda 112
Tabel 5. 24 Pengujian Waktu Ikat Semen Produk Semen Dynamix 112
Tabel 5. 25 Pengujian Waktu Ikat Semen Produk Semen Grobokan 113
Tabel 5. 26 Rekapitulasi Perbedaan Suhu Pengujian Waktu Ikat 116
Tabel 5. 27 Rekapitulasi Evaluasi Proses dan Metode Pengujian 117
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Kuat Tekan Produk Semen Tiga Roda 119
Tabel 5. 29 Rekapitulasi Kuat Tekan Produk Semen Dynamix 119
Tabel 5. 30 Rekapitulasi Kuat Tekan Produk Semen Grobokan 120
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Evaluasi Proses dan Metode Pengujian Beton Pada Kuat Tekan 129
Tabel 5. 32 Hasil Uji *Z-Score* Pada Semen Tiga Roda 133
Tabel 5. 33 Hasil Uji *Z-Score* Pada Semen Dynamix 134
Tabel 5. 34 Hasil Uji *Z-Score* Pada Semen Grobokan 134
Tabel 5. 35 Absorpsi Beton Umur 28 Hari Semen Tiga Roda 136
Tabel 5. 36 Absorpsi Beton Umur 28 Hari Semen Dynamix 136
Tabel 5. 37 Absorpsi Beton Umur 28 Hari Semen Grobokan 137

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Batas Gradasi Pasir (Kasar) No. 1 20
Gambar 3. 2 Batas Gradasi Pasir (Sedang) No. 2 21
Gambar 3. 3 Batas Gradasi Pasir (Agak Halus) No. 3 21
Gambar 3. 4 Batas Gradasi Pasir Dalam Daerah No. 4 21
Gambar 3. 5 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Maksimum 10 mm 28
Gambar 3. 6 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Maksimum 20 mm 29
Gambar 3. 7 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Maksimum 40 mm 29
Gambar 3. 8 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen 40
Gambar 3. 9 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm 43
Gambar 3. 10 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm 43
Gambar 3. 11 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm 44
Gambar 3. 12 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah 45
Gambar 3. 13 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton 48
Gambar 4. 1 Agregat Kasar 51
Gambar 4. 2 Agregat Halus 51
Gambar 4. 3 Semen Potland 52
Gambar 4. 4 Timbangan 53
Gambar 4. 5 Saringan Agregat 54
Gambar 4. 6 Mesin Pengguncang/ Penggetar saringan 54
Gambar 4. 7 Oven 55
Gambar 4. 8 Pikonmeter 56
Gambar 4. 9 Sekop 56
Gambar 4. 10 *Concrete Mixer* 57
Gambar 4. 11 Kerucut Abrams 58
Gambar 4. 12 Tongkat Penumbuk 58

Gambar 4. 13 Bekisting 59
Gambar 4. 14 Ember 60
Gambar 4. 15 Diagram Alir Penelitian 71
Gambar 5. 1 Grafik Batas Gradasi pasir (sedang) No. 2 79
Gambar 5. 2 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 10 mm 88
Gambar 5. 3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) (Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm) 94
Gambar 5. 4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm 98
Gambar 5. 5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan 99
Gambar 5. 6 Hasil Slump Test Campuran Beton *Trial Mix Design* 103
Gambar 5. 7 Grafik Perhitungan Gabungan Kehalusan Setiap Produk Semen 109
Gambar 5. 8 Grafik Gabungan Pengujian Waktu Ikat Semen Setiap Produk Semen 113
Gambar 5. 10 Pengadukan Pasta Semen dengan Air 115
Gambar 5. 9 Gambar pengujian semen Grobokan 117
Gambar 5. 11 Grafik Rekapitulasi Perbandingan Kuat Tekan 122
Gambar 5. 12 Sisa Air 100 – 150 ml 125
Gambar 5. 13 Uji Slump 126
Gambar 5. 14 Bukti Campuran Mengalami Segregasi 128
Gambar 5. 15 Grafik Rekapitulasi Perbandingan Absorpsi Setiap Merek Semen 138
Gambar 5. 16 Tampilan Sampel Beton Tiga Roda 140
Gambar 5. 17 Tampilan Sampel Beton Semen Dynamix 140
Gambar 5. 18 Tampilan Sampel Beton Semen Grobokan 140
Gambar L - 1. 1 Matriks Penyelesaian Pekerjaan Tugas Akhir 152
Gambar L - 2. 1 Agregat Halus 154
Gambar L - 2. 2 Agregat Kasar 154
Gambar L - 2. 3 Semen Tipe 1 Jenis OPC *(Ordinary Portland Cement)* 154

Gambar L - 2. 4 Mesin Saringan Agregat Kasar 155
Gambar L - 2. 5 Mesin Saringan Agregat Halus 155
Gambar L - 2. 6 Satu Set Saringan Agregat Kasar 155
Gambar L - 2. 7 Satu Set Saringan Agregat Halus 156
Gambar L - 2. 8 Pan/ Cawan 156
Gambar L - 2. 9 Corong Air 156
Gambar L - 2. 10 Piknometer Pengujian Berat Jenis Agregat Halus 157
Gambar L - 2. 11 Alat Pengujian Berat Jenis Basah Agregat Kasar 157
Gambar L - 2. 12 Oven 157
Gambar L - 2. 13 Timbangan 158
Gambar L - 2. 14 Alat Uji Konsistensi dan Waktu Ikat Semen 158
Gambar L - 2. 15 *Concrete Mixer* 158
Gambar L - 2. 16 Pelat Penampung Hasil *Mixer* 159
Gambar L - 2. 17 Kerucut Abrams 159
Gambar L - 2. 18 Tongkat Penumbuk 159
Gambar L - 2. 19 Penggaris 160
Gambar L - 2. 20 Sekop dan Sendok Semen 160
Gambar L - 2. 21 Ember 160
Gambar L - 2. 22 Bekisting 161
Gambar L - 2. 23 Meja Penggetar *(Vibrator)* 161
Gambar L - 2. 24 Gerrobak Angkut 161
Gambar L - 2. 25 Alat Cetakan Capping 162
Gambar L - 2. 26 Alat Uji Kuat Tekan 162
Gambar L - 3. 1. 1 Perendaman Sampel Beton 165
Gambar L - 3. 2 Uji *Slump* 165
Gambar L - 3. 3 Pembuatan *Capping* 165
Gambar L - 3. 4 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 7 hari Semen Tiga Roda 166
Gambar L - 3. 5 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 7 hari Semen Dynamix 166
Gambar L - 3. 6 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 7 hari Semen Grobokan 166
Gambar L - 3. 7 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 14 hari Semen Tiga Roda 167
Gambar L - 3. 8 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 14 hari Semen Dynamix 167

Gambar L - 3. 9 Sampel 1 Uji Kuat Tekan Umur 14 hari Semen Grobokan 167
Gambar L - 3. 10 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 21 hari Semen Tiga Roda 168
Gambar L - 3. 11 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 21 hari Semen Dynamix 168
Gambar L - 3. 12 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 21 hari Semen Grobokan 168
Gambar L - 3. 13 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 28 hari Semen Tiga Roda 169
Gambar L - 3. 14 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 28 hari Semen Dynamix 169
Gambar L - 3. 15 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 28 hari Semen Grobokan 169
Gambar L - 3. 16 Hasil Uji Pengujian Absorpsi Beton 170

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Matriks Penyelesaian Pekerjaan 151
Lampiran 2 Alat dan Bahan yang digunakan 153
Lampiran 3 Perawatan Benda Uji dan Hasil Pengujian 163

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A = Luas penampang (mm^2)

AG = Berat isi beton – jumlah semen – jumlah air

B = Berat piknometer berisi air (gram)

Bj_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

Bj_{AH} = Berat jenis agregat halus

Bj_{AK} = Berat jenis agregat kasar

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

d = Diameter (cm)

d_1 = Kedalaman penetrasi pada waktu t_1

d_2 = Kedalaman penetrasi pada waktu t_2

FAS = Faktor air semen

f_c' = Kuat tekan beton (MPa)

f_{cr}' = Kuat Tekan Beton Rata – Rata (MPa)

M = Nilai Tambah

M_B = Berat benda uji setelah perendaman

M_B = Berat benda uji dalam keadaan kering

n = Jumlah nilai hasil yang harus diambil

P = Beban maksimal (N)

Sr = Deviasi Standar (MPa)

T = Tinggi (cm)

t = Waktu interpolasi penentuan waktu ikat (menit)

t_1 = Waktu pengukuran atas

t_2 = Waktu pengukuran bawah

V = Volume (cm^3)

W_1 = Berat tabung (gram)

W_2 = Berat tabung + berat pasir (gram)

W_3 = Berat Pasir (gram)

W = Jumlah air yang dibutuhkan (kg/m^3)

W_{AK} = Agregat gabungan – persentase agregat kasar

W_{ah} = Agregat gabungan – persentase agregat halus

W_c = Jumlah semen yang dibutuhkan (kg/m^3)

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg)

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg)

xi = Kuat tekan beton yang di dapat dari masinfg – masing benda uji (MPa)

x = Kuat tekan beton rata – rata (MPa)

%AH = Persentase jumlah agregat halus

%AK = Persentase jumlah agregat kasar

ABSTRAK

Pada proyek konstruksi, pemahaman yang mendalam tentang pengaruh penggunaan berbagai produk semen terhadap kualitas beton menjadi sangat relevan, terutama dalam memahami sifat fisik semen dan pengaruh jangka panjang penggunaan semen terhadap laju umur dan kualitas beton. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakteristik sifat fisik semen pada berbagai merek semen tipe *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan pengaruhnya terhadap kuat tekan dan absoprsi beton pada umur 7 hingga 28 hari.

Metode penelitian ini menggunakan eksperimen laboratorium dengan melakukan pengujian sifat fisik semen (kehalusan semen, konsistensi normal, dan waktu ikat), sifat mekanik (kuat tekan), serta sifat fisik (absoprsi/ penyerapan) beton. Semen yang dijadikan sampel dalam penellitian ini terdiri dari tiga merek semen, yaitu semen Tiga Roda, semen Dynamix, dan semen Grobokan. Analisis data dilakukan dengan membandingan hasil pengujian sifat fisik semen terhadap pengujian kuat tekan dan absorpsi pada laju peningkatan umur beton untuk mencari produk semen manakah yang paling baik dalam memberikan kualitas serta mutu beton yang optimum.

Hasil uji menunjukkan semua merek semen memenuhi standar kehalusan dan konsistensi, namun variasi waktu ikat dipengaruhi oleh ketidaktelitian pengujian dan faktor suhu. Kuat tekan beton dari ketiga semen telah melampaui mutu rencana 25 MPa, namun hasil uji tidak konsisten akibat kesalahan dalam proses pencampuran dan pemadatan beton. Nilai absorpsi beton menunjukkan semen Tiga Roda dan Grobokan memiliki absorpsi sedang, sedangkan semen Dynamix menunjukkan absorpsi tinggi yang diindikasikan oleh segregasi akibat proses pemadatan yang kurang optimal. Kesimpulan menegaskan bahwa meskipun mutu kuat tekan memenuhi standar, inkonsistensi hasil uji dan kontrol proses pemadatan yang buruk menghambat penentuan produk semen terbaik dalam aspek kuat tekan dan absorpsi. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya kontrol ketat terhadap proses pencampuran dan pemadatan untuk menjamin mutu beton yang optimal dalam aplikasi konstruksi.

Kata kunci: Sifat fisik semen, kuat tekan, absoprsi.

ABSTRACT

In construction projects, a deep understanding of the effect of using various cement products on concrete quality is highly relevant, especially in understanding the physical properties of cement and the long-term effect of cement use on the ageing rate and quality of concrete. This study aims to compare the physical properties of cement from various brands of Ordinary Portland Cement (OPC) and their effects on the compressive strength and absorption of concrete at 7 to 28 days of age.

The research method used laboratory experiments to test the physical properties of cement (cement fineness, normal consistency, and setting time), mechanical properties (compressive strength), and physical properties (absorption) of concrete. The cement samples used in this study consisted of three brands of cement, namely Tiga Roda cement, Dynamix cement, and Grobokan cement. Data analysis was carried out by comparing the results of cement physical property testing with compressive strength and absorption testing at increasing concrete ages to determine which cement product was the best in providing optimum concrete quality and performance.

The test results show that all cement brands meet the standards for fineness and consistency, but variations in setting time are influenced by testing inaccuracies and temperature factors. The compressive strength of concrete from all three cements has exceeded the planned quality of 25 MPa, but the test results are inconsistent due to errors in the concrete mixing and compaction process. The concrete absorption values showed that Tiga Roda and Grobokan cement had moderate absorption, while Dynamix cement showed high absorption, indicated by segregation due to a less than optimal compaction process. The conclusion confirms that although the compressive strength meets the standard, the inconsistency of the test results and poor compaction process control hinder the determination of the best cement product in terms of compressive strength and absorption. This study underlines the importance of strict control of the mixing and compaction processes to ensure optimal concrete quality in construction applications.

Keywords: *Physical properties of cement, compressive strength, absorption.*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang paling umum digunakan dalam berbagai proyek pembangunan konstruksi , mulai dari bangunan gedung hingga infrastruktur jalan dan jembatan. Bahan penyusun beton terdiri dari campuran semen, air, dan agregat yang memiliki kemampuan untuk mengeras dan membentuk struktur yang kokoh setelah proses hidrasi, sehingga memberikan rasa aman dalam pemakaian bangunan hunian nanti.

Semen sebagai bahan pengikat utama dalam pembuatan beton memiliki peran penting dalam menentukan sifat mekanik beton, terutama dalam aspek kekuatan durabilitas, serta kecepatan dalam pengerasan. Menurut Kementrian pekerjaan umum direktorat jenderal bina marga, Semen Tipe I jenis *Ordinary Portland Cement (OPC)* menjadi jenis semen yang paling umum digunakan pada proyek pembangunan konstruksi (Irawan, 2021).

Seiring berkembangnya teknologi, semakin banyak semen tipe I jenis OPC dengan berbagai produk telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas beton. Namun meskipun berbagai produk semen baru terus diperkenalkan, masih banyak tantangan yang dihadapi dalam memahami sifat fisik semen dan pengaruh jangka panjang penggunaan semen terhadap umur dan kualitas beton. Variasi sifat fisik semen itu sendiri yaitu kehalusan semen, konsistensi semen, dan waktu ikat semen. Variasi sifat fisik semen ini secara langsung memengaruhi kinerja beton normal yang akan dihasilkan, terutama pada aspek sifat mekanik beton yaitu kuat tekan dan sifat fisik beton yaitu absorpsi terhadap perkembangan laju umur beton.

Pada berbagai produk semen di jenis yang sama memiiki karakteristik yang berbeda, sehingga mempengaruhi sifat fisik beton dan mekanik beton. Oleh karena itu, pengujian pada berbagai umur beton menjadi sangat penting untuk memahami

laju perkembangan sifat mekanik beton dan memperkirakan performa beton dalam jangka umur rencana yang ditentukan.

Pada proyek konsturksi, pemahaman yang mendalam tentang pengaruh penggunaan berbagai produk semen terhadap kualitas beton menjadi sangat relevan, terutama dalam menghadapi tuntutan akan struktur beton yang lebih efisien, dan cepat pengerjaannya. Dengan semakin banyaknya inovasi dalam produk semen, sangat penting untuk melakukan penelitian yang dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai bagaimana berbagai produk semen dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik beton, baik pada umur beton awal maupun pada umur beton akhir.

Latar belakang masalah inilah yang diangkat untuk mengetahui komparasi karakteristik sifat fisik berbagai merek semen terhadap kuat tekan dan absorpsi beton dengan perkembangan laju umur beton pada 7 hari hingga 28 hari. Serta mengidentifikasi kualitas produk semen yang paling optimal sesuai kebutuhan pekerjaan proyek, dan menghasilkan mutu beton yang berkualitas.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik sifat fisik semen (kehalusan, konsistensi normal, dan waktu ikat) dari berbagai produk semen?
2. Bagaimana Pengaruh karakteristik sifat fisik semen (kehalusan, konsistensi normal, dan waktu ikat) dari berbagai produk semen terhadap kuat tekan dan absorpsi beton?
3. Produk semen manakah yang memberikan performa terbaik dalam mencapai umur beton dan mutu beton sesuai kebutuhan pekerjaan proyek.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui karakteristik sifat fisik semen (kehalusan, konsistensi normal, dan waktu ikat) dari berbagai produk semen yang dipakai.

2. Untuk mengetahui pengaruh karakteristik sifat fisik semen (kehalusan, konsistensi normal, dan waktu ikat) dari berbagai produk semen terhadap kuat tekan dan absorpsi beton.
3. Untuk mengidentifikasi produk semen manakah yang memberikan performa terbaik dalam mencapai umur beton rencana dan mutu beton sesuai kebutuhan pekerjaan proyek.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dibidang teknologi beton, khususnya dalam pemahaman mengenai pengaruh jenis produk semen terhadap laju umur rencana pada kuat tekan beton, dan absorpsi beton.
2. Memberikan informasi mengenai pemilihan merek semen untuk penggunaan pembangunan konstruksi yang tepat dalam mencapai beton dengan kualitas terbaik sesuai dengan kebutuhan proyek konstruksi tertentu..
3. Menambah pengetahuan berupa proses penelitian beton di laboratorium.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi Batasan masalah agar pokok permasalahan tidak meluas dan supaya dapat terfokus pada satu permasalahan utama. Adapun Batasan masalahnya sebagai berikut:

1. Pengujian yang dilakukan meliputi sifat fisik semen meliputi kehalusan semen, konsistensi semen, waktu ikat semen, sifat mekanik meliputi uji kuat tekan, serta sifat fisik beton meliputi uji absoprsi.
2. Beton yang digunakan merupakan beton normal dengan kuat tekan beton rencana yaitu f'c = 25 MPa. Rencana campuran untuk beton normal mengacu pada SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012. SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa.

3. Bahan material yang digunakan pada penelitian ini antara lain:
   a. Semen

      Semen *portland* yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis semen *portland* tipe I Jenis *Ordinary Portland Cement* (OPC) dengan 3 penggunaan merek semen yang banyak beredar di di pasaran daerah DI Yogyakarta yaitu Semen Tiga Roda, Semen Dynamix, dan Semen Grobokan. Berikut ini penjelasan beberapa mengenai merek semen yang digunakan:

      i. Semen Tiga Roda

         Produk Semen Tiga Roda merupakan produk semen yang diproduksi oleh PT. Inodcement Tunggal Prakarsa (Tbk ('Indocement"). Produksi semen tiga roda mulai beroperasi secara resmi pada Agustus 1975 sampai dengan sekarang. Jumlah pabrik Indocement yang memproduksi semen padang berjumlah 13 pabrik. Sebagian besar pabrik berada di pulau Jawa. Semen tiga roda menjual sekitar 18,7 juta ton semen pertahunnya. Produk semen yang di produksi yaitu *Portland Composite Cement (PCC), Portland Cement (PC tipe I, II, dan V), Oil Well Cement (OWC),* Semen Putih, dan TR-30 Acian Putih.

         (https://sementigaroda.com/about-us, n.d.)

      ii. Semen Dynamix

         Produk Semen Dynamix merupakan produk semen yang diproduksi oleh PT. Solusi Bangun Indonesia. Perseroan mengoperasikan empat pabrik semen di Narogong (Jawa Barat). Cilacap (Jawa Tengah), Tuban (Jawa Timur), dan Lhoknga (Aceh), dengan total kapasitas 14,8 juta ton semen per tahun. Produk dari semen Dynamix yaitu: Semen *portland tipe 1 (OPC) Ordinary Portland Cement*, *portland pozzoland cement (PPC)*, dan *portland composite cement (PCC).*

         (https://www.sig.id/dynamix-serbaguna, n.d.)

iii. Semen Grobokan

Pt. Semen Grobokan adalah produsen semen yang terletak di Kabupaten Grobokan Jawan Tengah, dengan kapasitas produksi semen 8.000 ton perhari atau 2,5 juta ton per tahun. Semen grobokan menjangkau seluruh wilayah Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta dan lupa Jawa pada umumnya. Semen Grookan menjual tipe semen yaitu: jenis *Portland Composite Cement (PCC)* dan Portland Cement Tipe 1 (OPC) *Ordinary Portland Cement.*
(https://www.semen-grobogan.com/id/home, n.d.)

Persyaratan dan ketentuan dalam pemilihan semen pada penelitian ini mengacu pada SNI 2049 – 2015 tentang semen portland. (SNI 2049-2015 - Semen Portland, 2015)

b. Pasir (Agregat Halus)

Persyaratan dan ketentuan dalam pemilihan agregat halus pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal".

c. Kerikil (Agregat Kasar)

Persyaratan dan ketentuan dalam pemilihan agregat kasar pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal".

d. Air

Persyaratan dan ketentuan dalam pemilihan air pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000.

4. Benda uji yang digunakan antara lain:

a. Sampel silinder ukuran diamater 150 mm dan tingi 300 mm.

Persyaratan dan ketentuan dalam pemilihan ukuran benda uji bentuk slinder pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-4804-1998 tentang metode pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat.

b. Jumlah sampel yang digunakan setiap merek semen sebanyak 12 sampel dengan jumlah keseluruhan sebanyak 36 sampel untuk pengujian kuat tekan beton.

c. Jumlah sampel pada pengujian absorpsi setiap merek semen sebanyak 3 sampel, dengan jumlah keseluruhan sebanyak 9 sampel.

Persyaratan dan ketentuan dalam pemilihan jumlah sampel bentuk slinder pada penelitian ini mengacu pada SNI 1974-2011 tentang cara uji tekan beton dengan benda uji silinder.

5. Waktu/umur pengujian

Waktu/umur pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilaksanakan pada umur benda uji 7, 14, 21, dan 28 hari, dengan angka konversi kuat tekan beton ke umur 28 hari. Serta untuk waktu/umur pengujian absorpsi beton dilakukan pada umur benda uji 28 hari.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Taylor dan Procter, tinjauan pustaka merupakan sebuah kegiatan untuk meninjau atau mengkaji kembali berbagai literatur yang telah dipublikasikan oleh akademisi atau peneliti sebelumnya terkait topik yang akan di teliti. Secara umum, tinjauan pustaka adalah ringkasan komprehensif dari penelitian sebelumnya tentang suatu topik yang bertujuan untuk memberikan gambaran umum, identifikasi celah, dan meningkaktan validitas penelitian yang akan dilakukan.

Oleh karena itu, mengambil beberapa penelitian terdahulu merupakan salah satu alasan untuk membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumya. Dengan adanya tinjauan pustaka diharapkan penulis dapat mengetahui perbedaan yang membedakan penelitian ini dengan dengan penelitian terdahulu sehingga meminimalisasi terjadinya kesamaan pada masing masing acuan yang di teliti.

2.2 Penelitian Terdahulu

Menurut Creswell (2014), dalam bukunya *"Research Design: Qualitative, Quantitative, and mixed methods approaches"* menyatakan bahwa penelitian terdahulu membantu peneliti untuk menentukan apakah topik penelitian layak digunakan, memberikan dasar teoritis untuk penelitian, serta membantu dalam merumuskan pertanyaan penelitian dan hipotesis. Pada penelitian terdahulu ini, menyajikan tinjauan komprehensif terhadap penelitian – penelitian terdahulu yang relevan dengan "Analisis Pengaruh Pengunaan Produk Semen Terhadap Laju Umur Beton Pada Nilai Kuat Tekan dan Absorpsi Beton Normal". Penelitian terdahulu ini akan dikelompokkan berdasarkan tujuan dan metodelogi yang dipilih. Berikut ini penjelasan pada masing – masing penelitian terdahulu yang diambil.

1. Darmayanti (2019) melakukan penelitian tentang tinjauan variasi semen terhadap mutu beton berdasarkan kajian sifat kimia, fisika, dan mekanik (metode *destructive* dan *non destrucktive)*

   Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi semen terhadap mutu beton. Dengan pembuatan campuran semen didasarkan pada SNI 756-2012 dan menggunakan benda uji beton berbentuk silinder 15x30 cm dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa.

   Metode penelitian yang dipakai adalah metode ekpsperimental dengan menggunakan beberapa pengujian kimia dan fisika ada semen serta pengujian mekanik pada beton dengan metode *non destructive* (uji *hammer test*) dan metode *destructive* (alat *compression testing machine).*

   Hasil pengujian kimia semen didapatkan kandungan silika (SiO_2) dan besi (Fe_2O_3) pada semen PPC lebih besar daripada semen PCC, sedangkan smeen PCC memiliki kandungan kapu (CaO) yang lebih tinggi. Pengujian fisika semen didapatkan bahwa semen PCC memiliki waktu awal dan akhir lebih lama dibandingkan dengan semen PPC. Pengaruh sifat kimiadan fisik dari semen berbanding lurus dengan kekuatan mutu beton. Peningkatan kekuatan pada semen PCC terjadi saat umur beton awal hingga beton 28 hari sedangkan semen PCC memiliki kekuatan tekan akhir tinggi pada setelah jangka waktu 28 hari. Hasil kuat tekan rata – rata didapatkan PCC dan PPC pada beton umur 7 hari, 28 hari, 42 hari secara berturut – turut sebesar 30,27 MPa, 35,27 MPa, dan 35,93 MPa.

2. Ginting (2019) melakukan penelitian tentang peningkatan kuat tekan beton pada berbagai umur beton dengan bahan perekat *Portlnad Composite Cement*

   Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tentang karakteristik semen PCC sehingga daapt memberikan tambahan informasi kepada masayarakat yang sudah terbiasa dengan semen OPC.

   Metode penelitian yang dipakai adalah metode eksperimen yang dikerjakan di laboratorium. metode eksperimen ini nanti akan dilakukan beberapa pengujian berupa uji kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dengan jumlah masing masing benda uji setiap variasi Adalah 4 buah.

Hasil dari penelitian ini didapat kuat tekan beton yang menggunakan semen PCC pada umur 3 hari mencapai 63%, umur 7 hari mencapai 74%, umur 14 hari mencapai 84%, dan umur 21 hari mencapai 91%. Presentase kuat tekan beton menggunakan semen PCC lebih besar pada umur 3 dan 7 hari dari beton yang menggunakan semen OPC, dan lebih kecil pada umur 14 dan 21 hari. Secara umum presentase peningkatan kuat tekan beton yang menggunakan semen PCC lebih rendah dari beton yang menggunakan PC tipe III dan lebih tinggi dari beton yang menggunakan semen PPC.

3. Muhammad & Kusdian (2021) melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan merek semen terhadap nilai kuat tekan beton.

   Penelitian Muhammad dan Kusdian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kuat tekan pada beton dengan menggunakan berbagai jenis produk semen. Jenis produk semen yang dipakai pada penelitian ialah, Semen Tiga Roda, Semen Gresik, Semen Padang, Semen Holcim, Semen Batu Raja, dan Semen Tonasa.

   Metode penelitian yang dipakai adalah metode eksperimen yang dikerjakan di laboratorium. metode eksperimen ini nanti akan dilakukan beberapa pengujian berupa *slump test* (uji slump), dan uji kuat tekan beton pada umur 7 hari dan 14 hari.

   Hasil dari penelitian di dapatkan bahwa nilai kuat teretinggi diperoleh dari beton dengan menggunakan semen padang dan semen tanosa pada umur 14 hari yang mencapai 12,89 MPa. Sedangkan untuk hasil kuat tekan terendah diperoleh dari beton dengan menggunakan semen holcim pada umur 14 hari yang mencapai 9,78 MPa.

4. Jikriyansyah et al. (2024) melakukan penelitian tentang kajian maturitas beton untuk memprediksi nilai kuat tekan beton dengan penggunaan variasi semen yang beredar di pasaran.

   Penelitian ini memeiliki tujuan yanitu mengkaji nilai maturity pada beton untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dengan variasi merek semen jenis PCC yang beredar di pasaran.

Metode penelitian yang dipakai Adalah metode eksperimental. Untuk mendapatkan nilai *maturity* dilakukan pengukuran suhu pada 1, 3, 7, 14, 21, dan 28 hari serta mengukur kuat tekan secara *destructive test* pada 7, 14, dan 28 hari yang akan dibandingkan dengan hasil kuat tekan beton dengan *non-distructive test.*

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan pada benda uji menghasilkan kuat tekan beton dari nilai *maturity* yang didapat dari 28 hari pengukuran suhu pada variasi merek semen berturut – turut sebesar 4964,43 ^{o}C-jam; 4978,29 ^{o}C-jam; dan 4995,42 ^{o}C-jam. Selisih kuat tekan beton dengan variasi merek semen yang berbeda di pasaran yaitu Semen A, Semen B, dan Semen C masing – masing menghasilkan selisih kuat tekan sebesar 7,38%; 4,40%; dan 3,81%, sedangkan saat beton merumur 28 hari selisihnya sebesar -2,63%; 1,63%; dan – 1,46%. Selisih paling besar terdapat pada beton dengan merek A saat umur 14 hari dengan selisih 7,84%.

5. Catur Hartanti & Harisan Ahmad (2024) melakukan penelitian tentang pengaruh perbandingan merk semen terhadap nilai kuat tekan beton dengan menggunakan proporsi 1:2:3 dan mutu beton K225.

   Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis (merk) semen manakah yang memiliki kuat tekan tinggi. Pembuatan benda uji menggunakan slinder dengan diameter 15x30 cm. masing masing merk akan diuji dengan proporsi 1:2:3 dan mutu beton K225.

   Metode penelitian pada pengujian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium, dengan melakukan pengujian kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

   Dari penelitian yang dilakukan di dapatkan hasil semen Gresik memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan semen Merdeka. Pada umur 7 hari sebesar 1,34%, umur 14 hari sebesar 0,92%, dan umur 28 hari sebesar 1,90%.

Penjelasan tentang penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Keterangan	Penelitian - 1	Penelitian - 2	Penelitian - 3	Peneltian - 4	Peneltian - 5	Peneltian Diampuh
Nama Penulis	Ni Putu Ria Darmayanti	Arusmalem Ginting	Fallih Iqbari Muhammad	Muaham Jikriansyah, et al	Regita Catur Hartanti, et al	Yandika Bara Setiawan
Tahun	2019	2019	2021	2024	2024	2025
Judul	Tinjauan Variasi Semen Terhadap Mutu Beton Berdasarkan Kajian Sifat Kimia, Fisika, dan Mekanik (Metode *Destructive* dan *non destructive*)	Peningkatan kuat tekan pada berbagai umur beton dengan bahan perekat *portland composite cement*	Pengaruh Penggunaan Produk Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton	Kajian maturitas beton untuk memprediksi nilai kuat tekan beton dengan penggunaan variasi semen yang beredar di pasaran	Pengaruh perbandingan merk semen terhadap nilai kuat tekan beton dengan menggunakan proporsi 1:2:3 dan mutu beton K225 journal	Studi komparatif karakteristik fisik dan mekanik berbagai merek semen terhadap kinerja beton normal
Tujuan	Untuk Mengevaluasi pengaruh variasi semen terhadap mutu beton. Dengan pembuatan campuran semen didasarkan pada SNI 756-2012 dan menggunakan benda uji beton berbentuk silinder 15x30 cm dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa.	Untuk mengetahui tentang karakteristik semen *PCC* sehingga dapat memberikan tambahan informasi kepada masyarakat yang sudah terbiasa dengan semen OPC. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Dan jumlah masing benda uji sebanyak 4 buah. Dengan jumlah sampel 20 buah.	Mengetahui Perbedaan kuat tekan pada beton dengan menggunakan berbagai jenis produk semen (Semen Tiga Roda, Semen Gresik, Semen Padang, Semen Holcim, Semen Batu Raja, dan Semen Tonasa)	Mengkaji nilai maturity pada beton untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dengan variasi merek semen jenis PCC yang berada di pasaran dengan pengukuran suhu di umur 1, 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Serta pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari.	Mengetahui jenis (merk) semen manakah yang memiliki kuat tekan tinggi. Pembuatan benda uji menggunakan slinder dengan diameter 15x30 cm. masing masing merk akandij=uji dengan proporsi 1:2:3 dan mutu beton K225.	Mengetahui perbedaan karaktersitik sifat fisik semen dari berbagai produk semen, untuk mengetahui hubungan atau pengaruh karakteristik sifat fisik semen terhadap performa beton (laju perkembangan umur beton) pada hasil pengujian kuat tekan beton dan absorpsi beton serta untuk mengetahui mengetahui produk semen mana yang memberikan performa terbaik dalam mencapai umur beton rencana.

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Keterangan	Penelitian - 1	Penelitian - 2	Penelitian - 3	Peneltian - 4	Peneltian - 5	Peneltian Diampuh
Metode	Uji eksperimental laboratorium	Uji eksperimental laboratorium	Uji eksperimental laboratorium,	Uji eksperimental laboratorium	Uji eksperimental laboratorium	Uji eksperimental laboratorium
Hasil	kandungan silika (SiO_2) dan besi (Fe_2O_3) pada semen PPC lebih besar daripada semen PCC, sedangkan smeen PCC memiliki kandungan kapu (CaO) yang lebih tinggi. Pengujian fisika semen didapatkan bahwa semen PCC memiliki waktu awal dan akhir lebih lama dibandingkan dengan semen PPC. Pengaruh sifat kimia dan fisik dari semen berbanding lurus dengan kekuatan mutu beton. Peningkatan kekuatan pada semen PCC terjadi saat umur beton awal hingga beton 28 hari sedangkan semen PCC memiliki kekuatan tekan akhir tinggi pada setelah jangka waktu 28 hari. Hasil kuat tekan rata – rata didapatkan PCC dan PPC pada beton umur 7 hari, 28 hari, 42 hari secara berturut – turut sebesar 30,27 MPa, 35,27 MPa, dan 35,93 MPa.	kuat tekan beton yang menggunakan semen PCC pada umur 3 hari mencapai 63%, umur 7 hari mencapai 74%, umur 14 hari mencapai 84%, dan umur 21 hari mencapai 91%. Secara umum persentase peningkatan kuat tekan beton yang menggunakan semen PCC lebih rendah dari beton yang menggunakan PC tipe III dan lebih tinggi dari beton yang menggunakan semen PPC.	Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh dari beton dengan menggunakan semen padang dan semen tonasa pada umur beton 14 hari yang mencapai 12,89 MPa. Sedangkan hasil kuat tekan terendah diperoleh dari beton dengan menggunakan semen holcim pada umur 14 hari yang mencapai 9,78 MPa.	Pengukuran suhu pada variasi merek semen berturut-turut sebesar 4964,43 oC jam; 4978,29 oC-jam; dan 4995,42 oC-jam. Beton dengan variasi merek semen yang berada di pasaran yaitu Semen A, Semen B, dan Semen C masing masing menghasilkan selisih kuat tekan sebesar 7,38%; 4,40%; dan 3,81%, sedangkan saat beton berumur 28 hari selisihnya sebesar -2,63%; 1,63%; dan -1,46%. Selisih paling besar terdapat pada beton dengan merek semen A saat umur 14 hari dengan selisih 7,48%.	semen Gresik memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan semen Merdeka. Pada umur 7 hari sebesar 1,34%, umur 14 hari sebesar 0,92%, dan umur 28 hari sebesar 1,90%. Penjelasan tentang penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai	Ketiga merek semen (Tiga Roda, Dynamix, Grobokan) memiliki sifat fisik yang memenuhi standar, termasuk kehalusan dan konsistensi normal semen, namun waktu ikat semen dipengaruhi oleh ketidaktelitian pengujian dan kondisi lingkungan (suhu). Kuat tekan beton umur 28 hari untuk ketiga merek semen sudah melampaui mutu rencana, tetapi terdapat ketidakkonsistenan hasil uji akibat variabilitas pada proses pencampuran dan pemadatan beton. Nilai absorpsi beton menunjukkan semen Tiga Roda dan Grobokan memiliki absorpsi sedang, sedangkan semen Dynamix memiliki absorpsi tinggi yang disebabkan oleh segregasi akibat pemadatan yang kurang optimal. Karena ketidakkonsistenan ini dan masalah pemadatan, hasil pengujian kuat tekan dan absorpsi tidak dapat dijadikan acuan pasti untuk menentukan semen paling optimum. Oleh karena itu, kontrol proses pencampuran dan pemadatan sangat penting untuk menjamin mutu beton yang optimal.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Menurut SNI 7656 : 2012 tentang "Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa" beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan, membentuk massa yang padat, kuat, dan stabil. (SNI 7656:2012 - Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa, 2012)

Secara umum beton dapat dibedakan berdasarkan 3 jenis, yaitu kelas mutu, jenis agregat, dan metode pembuatan, berikut ini adalah penjelasannya.

3.1.1 Berdasarkan Mutu Kelas

1. Beton Kelas I

   Beton kelas I terdiri dari K-100, K-125, K150, K175, dan K-200. Beton kelas ini digunakan dalam pengecoran non structural atau dalam kasus beton yang tidak memerlukan tulangan beton (demix.co.id, 2023).

2. Beton Kelas II

   Beton ini terdiri dari K-225, K-250, dan K-275. Beton kelas ini umumnya digunakan dalam pekerjaan structural, seperti pengecoran lantai, jalan, kolom, pondasi, sloof, dan sejenisnya (demix.co.id, 2023).

3. Beton Kelas III

   Beton kelas ini mencakup K-325, K-350, K-375, K-450, dan K-500. Kelas ini merupakan klasifikasi khusus untuk beton. Contohnya adalah adalah penggunaan beton ini dalam pembuatan balok dan lantai jembatan, landasan pacu, dermaga, flyover atau jalan laying, underpass atau terowongan bawah tanah, dan sejenisnya (demix.co.id, 2023).

3.1.2 Bedasarkan Jenis Agregat

1. Beton Ringan

   Beton struktural yang mengandung agregat ringan sesuai dengan ASTM C330 dan memiliki keseimbangan densitas antara 1440 dan 1840 km/m^3, sesuai yang ditentukan dalam ASTM C567 (*ASTM C33/ C33M -23*, 2006).

2. Beton Normal

   Beton struktural yang mengandung agregat sesuai ASTM C33 dan biasanya memiliki densitas antara 2200 dan 2500 km/m^3 (*ASTM C33/ C33M -23*, 2006).

3. Beton Berat

   Beton struktural yang mengandung agregat sesuai ASTM C33 dan biasanya memiliki densitas diatas 2500 km/m^3 (*ASTM C33/ C33M -23*, 2006).

4. Beton Massa

   Beton yang mempunyai ukuran penampang komponen besar, sehingga memerlukan perlakuan untuk mengatasi panas hidrasi dari semen serta menjaga perubahan volume yang dapat menimbulkan keretakan

3.1.3 Bedasarkan Metode Pembuatan

1. Beton Pracetak

   Beton bertulang adalah beton yang dilengkapi dengan tulangan baja untuk meningkatkan kekuatan tariknya. Tulangan ini dirancang sedemikian rupa sehingga dapat bekerja sama dengan beton dalam menahan beban yang diterima. Beton bertulang banyak digunakan dalam konstruksi bangunan, jembatan, dan struktur lainnya yang memerlukan kekuatan tambahan.

2. Beton Pratekan

   Beton pratekan adalah jenis beton di mana tulangan baja diberi tegangan awal sebelum beton dicor. Proses ini mengurangi potensi tegangan tarik yang terjadi setelah beton menerima beban. Beton pratekan sering digunakan untuk jembatan dan struktur dengan rentang panjang karena kemampuannya menahan beban berat.

3. Beton bertulang adalah beton yang dilengkapi dengan tulangan baja untuk meningkatkan kekuatan tariknya. Tulangan ini dirancang sedemikian rupa sehingga dapat bekerja sama dengan beton dalam menahan beban yang

diterima. Beton bertulang banyak digunakan dalam konstruksi bangunan, jembatan, dan struktur lainnya yang memerlukan kekuatan tambahan.

4. *Ferro – cement*

   Ferro – cement adalah jenis beton yang menggunakan jaring kawat baja sebagai penguat, memberikan kekuatan tarik yang tinggi dan fleksibilitas dalam desain. Ini sering digunakan untuk aplikasi di mana bentuk yang kompleks diperlukan.

5. Beton Serat *(Fiber – Reinforced Concrete)*

   Beton serat mengandung serat (seperti serat kaca, serat plastik, atau serat baja) yang ditambahkan ke dalam campuran untuk meningkatkan ketahanan terhadap retak dan meningkatkan kekuatan tarik.

3.2 Material Campuran Beton

Menurut SNI 7565:2012 tentang "Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa" komposisi material campuran beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambah. Komposisi material campuran beton sangat penting dilakukan karena mempengaruhi kekuatan, ketahanan terhadap lingkungan, waktu pengerasan *(setting time)*, efisiensi biaya, dan lain sebagainya (SNI 7656:2012 - Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa, 2012). Perhitungan perencanaan campuran beton harus didasarkan pada data sifat – sifat bahan yang akan dipergunakan dalam produksi beton. Berikut ini penjelasan tentang material penyusun campuran beton.

3.2.1 Agregat Halus

Berdasarkan SNI 1970:2008, agregat halus adalah agregat yang ukuran butirannya lebih kecil dari 4,75 mm (No. 4). Agregat halus didefiniskan sebagai butiran batuan yang memiliki ukuran maksimum 5 mm atau tertahan di saringan No.4. Agregat Halus biasanya terdiri dari pasir alam yang merupakan hasil disintegrasi alami dari batuan besar atau pasir buatan yang dihasilkan melalui proses pemecahan batu. (SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 2008).

Fungsi utama dari agregat halus dalam campuran beton adalah untuk membentuk mortar yang mengikat agregat kasar. Agregat halus berkontribusi terhadap kekuatan dan kestabilan beton, serta membantu mengisi ruang antara butiran agregat kasar, sehingga meningkatkan kepadatan dan kekuatan beton secara keseluruhan. Secara keseluruhan, agregat halus memainkan peran krusial dalam kualitas dan performa beton, sehingga pemilihan dan pengujian agregat halus sangat penting dalam proses konstruksi.

Adapun syarat – syarat yang diperlukan agar agregat halus layak untuk digunakan sebagai bahan material campuran beton adalah sebagai berikut, dengan acuan (*ASTM C33/ C33M -23*, 2006).

1. Agregat halus tidak boleh lolos atau tertahan pada saringan No. 200 sebanyak 45% dari berat utuh agregat halus,
2. Modulus kehalusannya tidak boleh kurang dari 2,3 dan tidak boleh lebih dari 3,1.
3. agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,8 mm atau 5,00 mm.
4. Terdiri dari butiran tajam dan keras yang bersifat kekal, tidak mudah hancur oleh pengaruh cuaca dan temperature seperti, terik matahari, dan hujan.
5. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering. Jika kadar lumpur lebih tinggi, agregat tersebut perlu dicuci sebelum digunakan dalam campuran beton.
6. Gradasi agregat halus yaitu 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, dan 0,15 mm.
7. Harus memiliki variasi ukuran butiran sesuai dengan spesifikasi gradasi yang ditetapkan, sehingga dapat mengisi rongga – rongga di antara agregat kasar dan mengurangi penggunaan semen.
8. Bentuk agregat halus harus bulat untuk saling mengisi rongga – rongga yang kosong. Batas toleransi bentuk agregat halus selain bulat adalah 15% dari berat total agregat.

Ada beberapa pengujian yang dilakukan pada agregat halus supaya bisa dikatakan layak pemakaian, dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

   Merupakan proses penting untuk menentukan densitas material beton, yang berpengaruh pada kekuatan dan performa struktur. Menurut SNI 1970:2008, berat jenis merupakan perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan, nilai – nilainya adalah tanpa dimensi (SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 2008). Pengujia berat jenis bertujuan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat halus. Untuk penjelasan macam – macam berat jenis tersebut, dapat dilihat penjelasan berikut ini.

   a. Berat Jenis Curah Kering

      Menurut SNI 1970:2008, berat jenis curah kering adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat (termasuk rongga yang impermeabilitas dan permeabilitas di dalam butir partake, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel) pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu (SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 2008). Dari pengertian tersebut dapat diartikan secara singkat bahwa berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25^{o}.

      Perhitungan pengujian berat jenis curah kering pada agregat halus dapat dihitung pada persamaan 3.1.

      $$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{Bk}{B+500-Bt} \quad (3.1)$$

      keterangan:

      Bk : Berat benda uji kering oven (gram)

      B : Berat piknometer berisi air (gram)

      Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 : Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

Menurut SNI 1970:2008, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat (termasuk berat air yang terdapat di dalam rongga akibat perendaman selama (24 ± 4) jam, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel) pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu (SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 2008). Dari pengertian tersebut dapat diartikan secara singkat bahwa berat jenis jenuh permukaan adalah perbandingan antara berat agregat jenuh kering permukaan dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25° C.

Perhitungan pengujian berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) pada agregat halus dapat dihitung pada persamaan 3.2.

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{500}{B+500-Bt} \quad (3.2)$$

keterangan:

Bk : Berat benda uji kering oven (gram)

B : Berat piknometer berisi air (gram)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 : Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

c. Berat Jenis Semu *(Apparent)*

Menurut SNI 1970:2008, berat jenis semu adalah perbandingan antara berat dari satuan volume suatu bagian agregat yang *impermeabel* pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu (SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 2008). Dari pengertian tersebut dapat diartikan secara singkat bahwa berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25° C.

Perhitungan pengujian berat jenis semu pada agregat halus dapat dihitung pada persamaan 3.3.

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (3.3)$$

keterangan:

Bk : Berat benda uji kering oven (gram)

B : Berat piknometer berisi air (gram)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

d. Penyerapan Air

Menurut SNI 1970:2008, penyerapan air adalah penambahan berat dari suatu agregat akibat air yang meresap ke dalam pori – pori, tetapi belum termasuk air yang tertahan pada permukaan luar partikel, dinyatakan sebagai persentase dari berat keringnya. (*SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*, 2008). Agregat dikatakan kering ketika telah dijaga pada suatu temperature (110 ± 5)° C dalam rentang waktu yang cukup untuk menghilangkan seluruh kandungan air yang ada (sampai beratnya tetap). Untuk simpelnya penyerapan air merupakan perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

Perhitungan pengujian penyerapan air pada agregat halus dapat dihitung pada persamaan 3.4.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500 - Bk}{Bk}\ x\ 100\% \quad (3.4)$$

2. Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Menurut SNI 03-1968-1990, analisis saringan adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan, kemudian angka – angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir (SNI 03-1968-1990 - Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar, 1990). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat halus. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam tabel atau grafik. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm), hasil pengujian ini selanjutnya

dapat digunakan dalam penentuan perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton.

Berikut merupakan Tabel 3.1 yaitu batas – batas gradasi agregat halus.

Tabel 3.1 Batas-batas Gradasi Agregat Halus

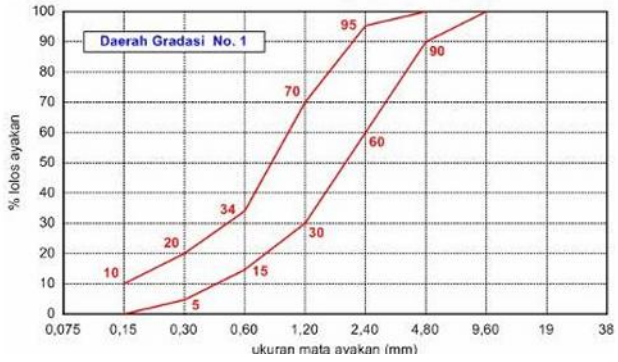
Ukuran Saringan (mm)	Persentase Berat Butir Lolos Saringan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

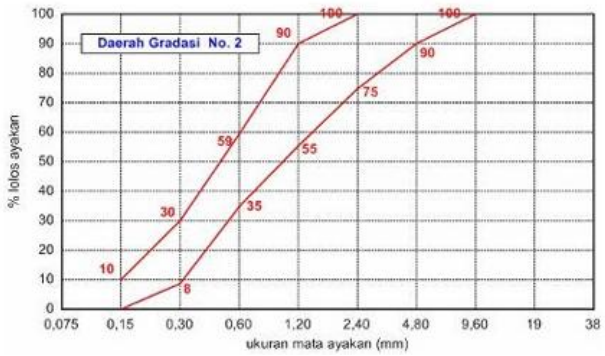
Keterangan:

Daerah I : Pasir Kasar
Daerah II : Pasir Agak Kasar
Daerah III : Daerah Agak Halus
Daerah IV : Pasir Halus

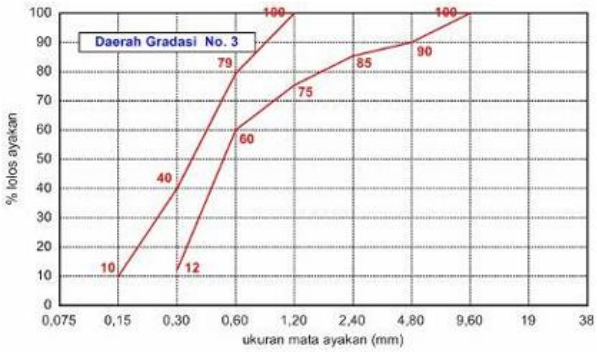
Berikut ini adalah grafik daerah gradasi agregat halus dapat dilihat pada Gambar 3.1 – 3.4.



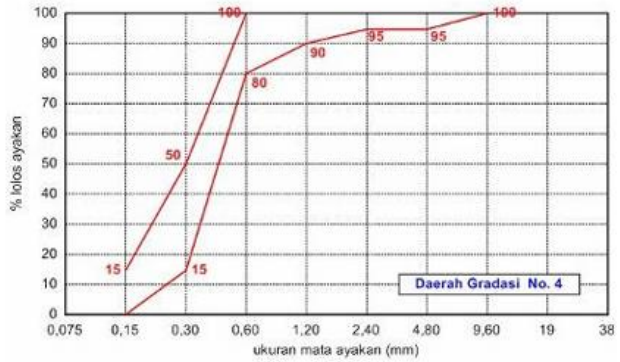
Gambar 3. 1 Batas Gradasi Pasir (Kasar) No. 1



Gambar 3. 2 Batas Gradasi Pasir (Sedang) No. 2



Gambar 3. 3 Batas Gradasi Pasir (Agak Halus) No. 3



Gambar 3. 4 Batas Gradasi Pasir Dalam Daerah No. 4

Berikut ini adalah perhitungan pengujian analisis saringan pada agregat halus dapat dihitung pada persamaan 3.5 – 3.8.

a. Berat Tertinggal (%)

$$= \frac{\text{Berat Tertinggal (tiap ukuran saringan)}}{\sum \text{Berat tertinggal}} \text{ x } 100\% \qquad (3.5)$$

b. Berat Tertinggal Kumulatif

= Berat tertinggal kumulatif (x) + Berat tertinggal kumulatif (x) sebelumnya (3.6)

c. Persen Lolos Kumulatif

= ∑ Berat tertinggal (100) – Berat tertinggal kumulatif (x) (3.7)

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \quad (3.8)$$

3. Pengujian Berat Volume Padat/Gembur Agregat Halus

Berat volume padat merupakan nilai indeks dari massa agregat per-satuan volume dalam kondisi padat, sedangkan yang dimaksud dengan berat volume gembur adalah nilai indeks dari massa agregat per-satuan volume dalam kondisi tidak padat/gembur. Tujuan sebagai acuan dalam pengujian untuk menentukan berat volume padat/gembur agregat halus. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus/pasir dan sejenisnya yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm), hasil pengujian ini selanjutnya dapat digunakan dalam pekerjaan perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton.

Berikut ini adala pengujian berat volume padat/ gembur pada agregat halus dapat dihitung pada persamaan 3.9 – 3.12.

a. Berat pasir (W3)

$W3 = W2 - W1$ (gr/cm$^{3)}$ (3.9)

dengan:

W2 = berat tabung + berat pasir (gr) dan

W1 = berat tabung (gr).

b. Volume tabung

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{tabung}{}^{2} \times t_{tabung} \quad (3.10)$$

Keterangan:

D tabung = diameter dalam tabung (cm) dan

t tabung = tinggi tabung (cm).

c. Berat volume padat

$$= \frac{W3}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (3.11)$$

Keterangan:

W3 = berat pasir padat (gr) dan

V = volume tabung (cm^3).

d. Berat volume gembur

$$= \frac{W3}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (3.12)$$

Keterangan:

W3 = berat pasir gembur (gr)

V = volume tabung (cm^3).

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian ini dilakukan pada agregat halus yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm), dalam pencucian di air. Pengujian ini bertujuan sebagai acuan dalam penentuan persentase kandungan lumpur dalam pasir sebagai syarat untuk bahan konstruksi bangunan.

Berikut ini adalah perhitungan pengujian kandungan lumpur pada agregat halus dapat dihitung pada persamaan 3.13.

Berat Lolos Ayakan No. 200

$$= \frac{W1}{W2} \quad (3.13)$$

Keterangan:

W1 = Berat Agregat Kering Oven (gr)

W2 = Berat agregat kering oven setelah di cuci (gr)

3.2.2 Agregat Kasar

Menurut SNI 1969:2008, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi "alami" dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No. 4) – ukuran butir 40 mm (No. 1 $^1/_2$ inci). (SNI 1969:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar, 2008).

Agregat kasar dapat dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan asal dan proses pembuatannya, yaitu

1. Agregat Alami: Diperoleh dari sumber alam, seperti kerikil yang terbentuk melalui pengikisan alami.
2. Agregat Buatan: Dihasilkan dari proses industri, seperti batu pecah yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu.

Agregat kasar berperan penting dalam menentukan kekuatan dan daya tahan beton, sehingga pemilihan jenis dan kualitas agregat sangat krusial dalam konstruksi. Agregat kasar sangat berfungsi sebagai komponen utama dalam campuran beton dan mortar, dimana agregat kasar dapat menyumbang hingga 75% dari total volume campuran beton.

Adapun syarat – syarat yang diperlukan agar agregat kasar layak untuk digunakan sebagai bahan material campuran beton adalah sebagai berikut, dengan acuan SNI 2847:2013. (03-2847, 2013)

1. Butiran agregat harus keras dan tidak berpori, dengan indeks kekerasan kurang dari 5%.
2. Agregat tidak boleh mudah pecah, saat diuji dengan larutan garam natrium sulfat, bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 12%, dan dengan garam magnesium silfat tidak lebih dari 18%.
3. Agregat tidak boleh mengandung lebih dari 1% lumpur atau butiran halus yang lolos ayakan 0,06 mm, apabila melebihi maka, harus dicuci terlebih dahulu sebelum menggunakannya.
4. Modulus halus butir harus berada dalam kisaran 6- 7,1 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
5. Tidak mengandung zat organic dan bahan alkali.
6. Tingkat keausan untuk beton dengan mutu rendah (< 20 MPa maksimal 50%, untuk beton mutu sedang (21 – 40 MPa) maksimal 40%, sedangkan untuk beton mutu tinggi (>40 MPa) maksimal 27%.
7. Agregat kasar yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan.

8. Ukuran butiran agregat kasar maksimum harus mematuhi persyaratan tertentu yang disebutkan sebagai berikut: ukuran butiran maksimum tidak boleh melebihi 1/5 dari jarak terkecil antara dua sisi cetakan, 1/3 tebal pelat beton, atau 3/4 jarak bersih antar tulangan beton.

Ada beberapa pengujian yang dilakukan pada agregat halus supaya bisa dikatakan layak pemakaian, dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

   Merupakan proses penting untuk menentukan densitas material beton, yang berpengaruh pada kekuatan dan performa struktur. Menurut SNI 1970:2008, berat jenis merupakan perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan, nilai – nilainya adalah tanpa dimensi (SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 2008). Pengujia berat jenis bertujuan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat halus. Untuk penjelasan macam – macam berat jenis tersebut, dapat dilihat penjelasan berikut ini.

   a. Berat Jenis Curah Kering

      Menurut SNI 1970:2008, berat jenis curah kering adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat (termasuk rongga yang impermeabilitas dan permeabilitas di dalam butir partake, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel) pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu (SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 2008). Dari pengertian tersebut dapat diartikan secara singkat bahwa berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25^{o}.

      Perhitungan pengujian berat jenis curah kering pada agregat kasar dapat dihitung pada persamaan 3.14.

      Berat Jenis Curah = $\frac{Bk}{B+500-Bt}$ (3.14)

keterangan:

Bk : Berat benda uji kering oven (gram)

B : Berat piknometer berisi air (gram)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 : Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

Menurut SNI 1970:2008, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat (termasuk berat air yang terdapat di dalam rongga akibat perendaman selama (24 ± 4) jam, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel) pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu (SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 2008). Dari pengertian tersebut dapat diartikan secara singkat bahwa berat jenis jenuh permukaan adalah perbandningan antara berat agregat jenuh kering permukaan dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25^{o} C.

Perhitungan pengujian berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) pada agregat kasar dapat dihitung pada persamaan 3.15.

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{500}{B+500-Bt} \quad (3.15)$$

keterangan:

Bk : Berat benda uji kering oven (gram)

B : Berat piknometer berisi air (gram)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 : Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

c. Berat Jenis Semu *(Apparent)*

Menurut SNI 1970:2008, berat jenis semu adalah perbandingan antara berat dari satuan volume suatu bagian agregat yang *impermeabel* pada suatu temperatur tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu (SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus,

2008). Dari pengertian tersebut dapat diartikan secara singkat bahwa berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25° C.

Perhitungan pengujian berat jenis semu pada agregat kasar dapat dihitung pada persamaan 3.16.

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (3.16)$$

keterangan:

Bk : Berat benda uji kering oven (gram)

B : Berat piknometer berisi air (gram)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

d. Penyerapan Air

Menurut SNI 1970:2008, penyerapan air adalah penambahan berat dari suatu agregat akibat air yang meresap ke dalam pori – pori, tetapi belum termasuk air yang tertahan pada permukaan luar partikel, dinyatakan sebagai persentase dari berat keringnya (SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 2008). Agregat dikatakan kering ketika telah dijaga pada suatu temperatur (110 ± 5)° C dalam rentang waktu yang cukup untuk menghilangkan seluruh kandungan air yang ada (sampai beratnya tetap). Untuk simpelnya penyerapan air merupakan perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

Perhitungan pengujian penyerapan air pada agregat kasar dapat dihitung pada persamaam 3.17.

$$\text{Penyerapan} = \frac{500 - Bk}{Bk}\ x\ 100\% \quad (3.17)$$

2. Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Menurut SNI 03-1968-1990, analisis saringan adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan, kemudian angka – angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. (SNI 03-1968-1990 - Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar, 1990).

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat halus. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam tabel atau grafik. Pengujian ini dilakukan pada agregat kasar yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm), hasil pengujian ini selanjutnya dapat digunakan dalam penentuan perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton.

Berikut merupakan Tabel 3.2 yaitu batas – batas gradasi agregat kasar.

Tabel 3. 2 Batas-batas Gradasi Agregat Kasar

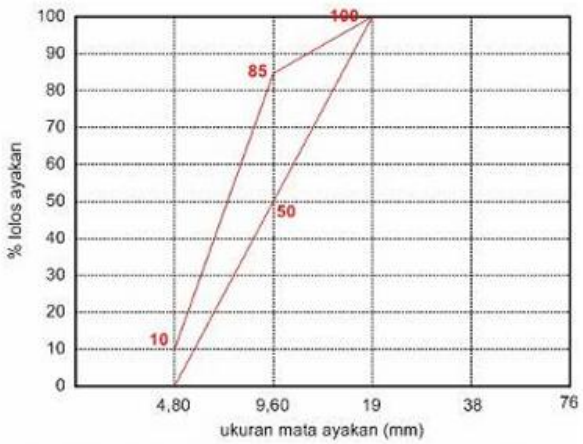
Ukuran Saringan (mm)	40 mm			
	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah
4,8	5	0	10	0
10	35	10	55	25
20	70	30	100	95
40	100	95	100	100

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

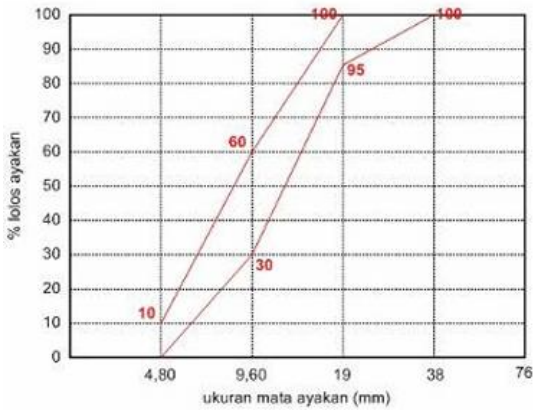
Keterangan:

Daerah I : Pasir Kasar
Daerah II : Pasir Agak Kasar
Daerah III : Daerah Agak Halus
Daerah IV : Pasir Halus

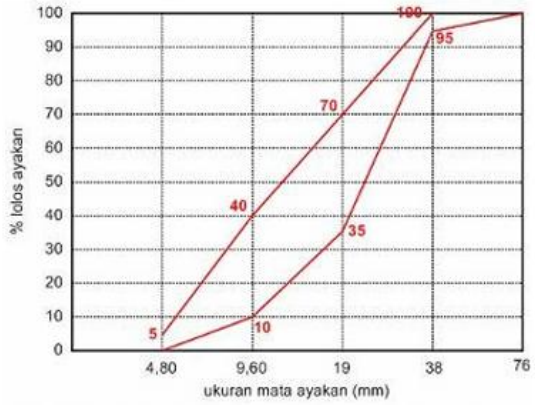
Berikut ini adalah grafik daerah gradasi agregat halus dapat dilihat pada Gambar 3.5 – 3.7.



Gambar 3. 5 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Maksimum 10 mm



Gambar 3. 6 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Maksimum 20 mm



Gambar 3. 7 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Maksimum 40 mm

Berikut ini adala perhitungan pengujian analisis saringan pada agregat kasar dapat dihitung pada persamaam 3.18 – 3.21.

a. Berat Tertinggal (%)

$$= \frac{\text{Berat Tertinggal (tiap ukuran saringan)}}{\sum \text{Berat tertinggal}} \text{ x } 100\% \quad (3.18)$$

b. Berat Tertinggal Kumulatif

= Berat tertinggal kumulatif (x) + Berat tertinggal kumulatif (x) sebelumnya (3.19)

c. Persen Lolos Kumulatif

$= \sum$ Berat tertinggal (100) – Berat tertinggal kumulatif (x) (3.20)

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \quad (3.21)$$

3. Pengujian Berat Volume Padat/Gembur Agregat Kasar

Berat volume padat merupakan nilai indeks dari massa agregat per-satuan volume dalam kondisi padat, sedangkan yang dimaksud dengan berat volume gembur adalah nilai indeks dari massa agregat per-satuan volume dalam kondisi tidak padat/gembur. Tujuan sebagai acuan dalam pengujian untuk menentukan berat volume padat/gembur agregat kasar. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus/pasir dan sejenisnya yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm), hasil pengujian ini selanjutnya dapat digunakan dalam pekerjaan perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton.

Berikut ini adala pengujian berat volume padat/ gembur pada agregat kasar dapat dihitung pada persamaan 3.22 – 3.25.

a. Berat pasir (W3)

$W3 = W2 - W1$ (gr/cm$^{3)}$ (3.22)

dengan:

W2 = berat tabung + berat pasir (gr) dan

W1 = berat tabung (gr)

b. Volume tabung

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{tabung}{}^{2} \times t_{tabung} \quad (3.23)$$

Keterangan:

D tabung = diameter dalam tabung (cm) dan

t tabung = tinggi tabung (cm).

c. Berat volume padat

$$= \frac{W3}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (3.24)$$

Keterangan:

W3 = berat pasir padat (gr) dan

V = volume tabung (cm^3)

d. Berat volume gembur

$$= \frac{W3}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (3.25)$$

Keterangan:

W3 = berat pasir gembur (gr)

V = volume tabung (cm^3)

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian ini dilakukan pada agregat kasar yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm), dalam pencucian di air. Pengujian ini bertujuan sebagai acuan dalam penentuan persentase kandungan lumpur dalam pasir sebagai syarat untuk bahan konstruksi bangunan.

Berikut ini adala perhitungan pengujian kandungan lumpur pada agregat kasar dapat dihitung pada persamaan 3.26.

Berat Lolos Ayakan No. 200

$$= \frac{W1}{W2} \quad (3.26)$$

Keterangan:

W1 = Berat Agregat Kering Oven (gr)

W2 = Berat agregat kering oven setelah di cuci (gr)

3.2.3 Semen

Menurut SNI 2049-2015 tentang "Semen Portland", Semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 2049-2015 - Semen Portland, 2015).

Semen Portland menurut SNI 2049 : 2015 tentnag "Semen Portland" terdiri dari 5 jenis dan penggunaan yang berbeda – beda. Berikut ini jenis dan pengguna semen Portland antar lain (SNI 2049-2015 - Semen Portland, 2015).

1. Jenis I

Semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan – persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis – jenis lain.

2. Jenis II

   Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

3. Jenis III

   Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

4. Jenis IV

   Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.

5. Jenis V

   Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Material penyusun semen Portland terdiri dari bahan yang mengandung kapur, silica, alumunium, dan oksida besi. Adapun persentase tiap oksida dari setiap material penyusun semen dapat dijelaskan pada Tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3. 3 Susunan Unsur Semen *Portland*

Oksida	Persen
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO_2)	17 – 25
Alumina (Al_2O_3)	3 – 8
Besi (Fe_20_3)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur ($S0_3$)	1 – 2
Soda/ Potash ($Na_2O + K_20$)	0,5 – 1

(Sumber: Tjokrodimuljo, 2007)

Semen memiliki beberapa fungsi yang sangat penting dalam pengerasan beton, yaitu merupakan material pengikat yang mengikat agregat kasar, agregat halus, dan bahan lainnya menjadi satu kesatuan beton yang kuat, serta penggunaannya yang benar sangat penting untuk memastikan keberhasilan dan daya tahan struktur bangunan. Untuk memastikan hal tersebut, ada dua parameter pengujian semen yang dilakukan yaitu pengujian sifat fisik semen dan sifat mekanik semen. Dalam penelitian ini hanya dilakukan pengujian sifat fisik semen saja.

Pengujian sifat fisik semen ini sangat penting untuk memastikan kualitas semen yang akan dipakai sesuai dengan karakteristik yang diinginkan supaya dapat memenuhi standar mutu optimal yang di inginkan. Dalam penelitian ini ada tiga parameter sifat fisik semen yang akan diuji meliputi kehalusan semen, konsistensi, dan waktu ikat semen.

1. Kehalusan Semen

   Kehalusan semen mengacu pada ukuran partikel semen yang mempengaruhi laju reaksi hidrasi. Semen dengan kadar kehalusan tinggi akan mempercepat reaksi hidrasi pada beton serta dapat meningkatkan kuat tekan beton khususnya pada umur awal beton. Sebaliknya, untuk semen dengan kadar kehalusannya rendah akan memperlambat reaksi hidrasi pada beton serta dapat memperlambat kuat tekan beton mencapai umur rencana.

   Pengujian kehalusan semen ini dilakukan dengan menggunakan alat uji saringan seperti yang dipakai pada pengujian analisis saringan agregat. Saringan yang dipakai adalah saringan No. 100, No. 200, dan PAN. Berat semen yang dipakai sebesar 500 gram.

   Prosedur pengujian dimulai dari menyiapkan pasta semen sebanyak 500 gram, lalu masukkan kedalam saringan yang telah disusun terdiri dari saringan No. 100, saringan No. 200, dan PAN. Setelah itu guncang menggunakan mesin penggetar selama kurang lebih 10 menit. Lalu timbang berat tertinggal setiap saringannya.

   Acuan dalam pengujian Kehalusan semen ini menggunakan SNI 15 - 2530 - 1991 Pengujian Kehalusan Semen Portland.

   Untuk mencari persentase lolos ayakan, maka dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut.

   a. Berat tertinggal (%)

      $$\frac{Berat\ Saringan\ (i)}{Jumlah\ Berat\ Total} \text{ x } 100\% \qquad (3.27)$$

   b. Berat Tertinggal Kumulatif (%)

      = Berat kumulatif saringan (i) + Berat Tertinggal saringan (i) (3.28)

   c. Persen Lolos Kumulatif (%)

      = 100% - Berat Tertinggal kumulatif (i) (3.29)

2. Konsistensi Semen

Konsistensi normal mengacu pada persentase air yang dibutuhkan untuk membuat pasta semen mencapai nilai konsistensi plastis yang optimal, Dimana pasta masih dapat diaduk dan dibentuk dengan mudah.

Metode pengujian menggunakan alat Vicat untuk menentukan kedalaman penetrasi jarum dalam pasta semen. Prosedur pengujian konsistensi dengan menyediakan pasta semen sebanyak 650 gram. Lalu sediakan air sebanyak sekitar 24 – 30 % dari berat semen sebagai variasi untuk mencari konsistensi yang optimal. Lalu aduklah semen tersebut dengan air hingga merata. Bentuk pasta menjadi bulat seperti bola, dan tempatkan pasta semen ini kedalam cincin konus Vicat yang diletakkan diatas pelat kaca hingga terisi penuh. Pengujian konsistensi semen ini dianggap tercapai apabila jarum Vicat menembus pasta hingga 10 mm dibawah permukaan pasta dalam waktu 30 detik.

Acuan pengujian pada konsistensi normal ini mengacu pada (SNI-03-6826-2002_Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland Dengan Alat Vicat, 2002).

Untuk mencari nilai konsistensi dan berat air optimum, maka dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut.

a. Konsistensi $= \frac{Berat\ air}{Berat\ benda\ uji}\ x\ 100\%$ (3.30)

b. Berat air $= \frac{Konsistensi\ x\ berat\ semen}{100}$ (3.31)

3. Waktu Ikat Semen.

Waktu ikat merupakan durasi yang dibutuhkan semen untuk mencapai perubahan fisik dari yang bersifat plastis hingga bersifat kaku (jarum Vicat tidak bisa menembus pasta semen). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat Vicat. Waktu ikat semen ini mengacu (SNI 03 - 6827 – 2002 Metode Waktu Ikat Semen). Waktu ikat terdiri dari 2 perhitungan yaitu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Berikut ini penjelasan tentang waktu ikat awal dan waktu ikat akhir.

a. Waktu ikat awal

Waktu ikat awal adalah waktu semen mulai kehilangan plastisnya (saat jarum vicat tidak bisa menembus lebih dari 25 mm). Ini menandakan bahwa batas akhir waktu pengerjaan semen yang optimal. Dalam setiap pengujian untuk mendapatkan penetrasi jarum sudah mencapai kedalaman 25 mm (standar waktu ikat), cara yang digunakan adalah dengan menggunakan interpolasi. Berikut ini cara perhitungannya.

$$t = t_1 + \frac{(25 - d_1)x\,(t_2 + t_1)}{(d_2 - d_1)} \qquad (3.32)$$

Keterangan:

t = Waktu interpolasi penentuan waktu ikat (menit)

t_1 = Waktu pengukuran atas (menit)

t_2 = Waktu pengukuran bawah (menit)

d_1 = Kedalaman penetrasi pada waktu t_1 (mm)

d_2 = Kedalaman penetrasi pada waktu t_2 (mm)

25 = Kedalaman penetrasi standar yang dicari (mm)

b. Waktu Ikat Akhir

Waktu ikat akhir merupakan waktu semen mencapai pengerasan akhir, dimana jarum Vicat tidak meninggalkan bekas pada permukaan pasta semen. Standar normal untuk pengujian waktu ikat akhir semen ini berkisar ±4 jam atau 240 menit.

Semen *portland* yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis semen *portland* tipe I *Ordinary Portland Cement* (OPC) dengan 3 merek semen yang banyak beredar di di pasaran daerah DI Yogyakarta yaitu Semen Tiga Roda, Semen Dynamix, dan Semen Gresik.

3.2.4 Air

Air memiliki peranan penting dalam pembuatan beton karena berfungsi sebagai bahan pengikat yang bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta yang

mengikat agregat. Kualitas air harus bersih, dan tidak mengandung lumpur. Pentingnya air dalam pembuatan beton akan berpengaruh pada:

1. Reaksi hidrasi, dimana semen bereaksi dengan air untuk membentuk pasta yang mengikat agregat, tanpa air beton tidak akan mengeras dengan baik.
2. Workability, rasio air semen yang tepat memungkinkan pencampuran, penempatan, dan pemadatan beton dilakukan dengan lebih mudah.
3. Perawatan beton, membantu menjaga kelembaban dan mendukung proses pengerasan yang optimal, agar tidak terjadi retak retak pada beton.

3.3 Perencanaan Campuran Beton *(Mix Design)*

Perencanaan campuran beton, atau yang dikenal dengan istilah *mix design,* merupakan proses untuk menentukan komposisi dan proporsi bahan – bahan penyusun beton agar memenuhi syarat kekuatan, ketahanan, dan *workability* yang diinginkan. Tujuan dari proses ini adalah untuk memastikan bahwa beton yang dihasilkan mampu memenuhi spesifikasi teknis dan ekonomis yang telah ditetapkan. Dalam perencanaan campuran beton pada penelitian mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang "Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal".

Dalam merencanakan beton ada beberapa faktor – faktor pertimbangan yang harus dilakukan mulai dari kuat tekan rata – rata, berat isi beton, pemilihan ukuran agregat, proporsi campuran beton, serta koreksi proporsi campuran. Adapun prosedur perencanaan proporsi campuran beton normal dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Kuat Tekan yang Disyaratkan (f'c)

   Mengacu pada kemampuan beton untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan. Pada penelitian ini patokan yang diukur pada perencanaan beton di umur 28 hari yaitu sebesar 25 MPa.
2. Deviasi Standar (Sr)

   Merupakan ukuran yang digunakan untuk menilai tingkat variasi atau penyimpangan dari kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Ini merupakan salah satu parameter penting dalam kontrol mutu beton, yang membantu memastikan bahwa beton yang digunakan dalam pengujian memenuhi

spesifikasi yang ditetapkan. Semakin besar nilai standar deviasi, semakin besar juga variasi dalam kekuatan beton, dan berlaku untuk sebaliknya.

Standar deviasi pada kuat tekan beton menunjukkan seberapa jauh kuat tekan rata – rata beton dari nilai rata – rata yang diharapkan. Berikut ini adalah perhitungan deviasi standar dengan persamaan 3.33.

$$Sr = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(xi-x)^2}}{n=1} \quad (3.33)$$

Keterangann:

Sr = Standar deviasi (MPa)

xi = Kuat tekan beton yang didapat dari masing – masing benda uji (MPa)

x = Kuat tekan beton rata – rata (MPa)

n = Jumlah nilai hasil yang harus diambil minimum 30 buah yang setiap nilainya diambil minimum rata – rata 2 buah benda uji yang dibuat dari contoh beton yang sama pada umur 28 hari. Dua hasil benda uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi mempunyai persyaratan sebagai berikut.

a. Harus mewakili jenis bahan, prosedur pengendalian mutu dan kondisi yang serupa
b. Harus mewakili mutu kuat tekan beton yang disyaratkan
c. Harus terdiri dari sekurang – kurangnya 30 hasil pengujian berurutan atau dua kelompok pengujian berurutan yang jumlahnya sekurang – kurangnya 30 hasil pengujian seperti yang ditetapkan pada standar SNI.
d. Jika jumlah data yang ada 15 – 29 hasil pengujian secara berurutan, maka deviasi standar benda uji ditentukan sebagai hasil perkalian antara nilai deviasi standar benda uji yang dihitung dan faktor modifikasi. Berikut ini Tabel 3. 4 tentang faktor modifikasi untuk deviasi standar benda ujinya.

Tabel 3. 4 Faktor Modifikasi Untuk Standar Deviasi Benda Uji

Jumlah Pengujian	Faktor Modifikasi Untuk Standar Deviasi Benda Uji
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

(sumber: SNI 2847 : 2013)

Adapun kategori untuk tingkat mutu berdasarkan standar deviasi menurut SNI 2847 : 2013 adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 5 Kategori Tingkat Mutu Berdasarkan Standar Deviasi (Sr)

Standar Deviasi	Tingkat Kontrol Kualitas
2,1 – 2,80	Sangat Baik
2,80 – 3,50	Baik
3,50 – 4,20	Cukup
> 4,20	Jelek

(sumber: SNI 2847 : 2013)

3. Kuat Tekan Rata – Rata (f'cr)

Kekuatan tekan rata – rata perlu (f'cr) yang digunakan sebagai dasar pemilihan proporsi campuran beton ditentukan sebagai Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3. 6 Kuat Tekan Rata - Rata

Kekuatan Tekan Disyaratkan (MPa)	Kekuatan Tekan Rata – Rata (MPa)
$f'c \leq 35$	Gunakan nilai terbesar yang dihitung dari pers. (5.1) dan (5.2) $f'cr = f'c + 1{,}34 .Sr$ (5.1) $f'cr = f'c + 2{,}32 .Sr - 3{,}5$ (5.2)
$f'c > 35$	Gunakan nilai terbesar yang dihitung dari pers. (5.1) dan (5.3) $f'cr = f'c + 1{,}34 .Sr$ (5.1) $f'cr = 0{,}90 . f'c + 2{,}33 .Sr$ (5.2)

(sumber: SNI 2847 : 2013)

4. Menentukan jenis yang akan digunakan pada saat penelitian
5. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus rencana yang akan digunakan pada saat penelitian
6. Nilai Nilai Faktor Air Semen (FAS)

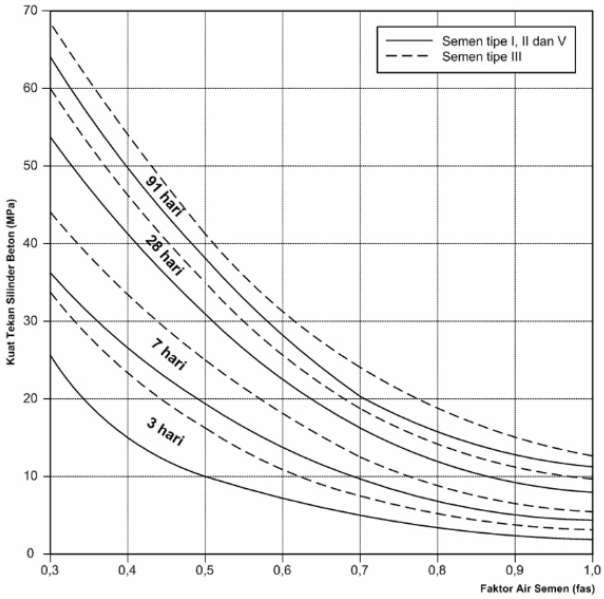
   Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata – rata yang ditargetkan didasarkan:

   a. Hubungan kuat tekan dan faktor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Bila tidak tersedia data hasil penelitian sebagai pedoman dapat dipergunakan Tabel 3.7 dan grafik 1 atau 2 dibawah ini.

Tabel 3. 7 Perkiraan Kekuatan Tekan (Mpa) Beton Dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

Jenis Semen	**Jenis Agregat Kasar**	**Kekuatan Tekan (MPa)**				
		Pada Umur Hari				**Bentuk**
		3	**7**	**28**	**29**	**Benda Uji**
Semen *portland* tipe I	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen *portland* tipe II dan V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen *portland* tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
Semen *portland* tipe III	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(sumber: SNI 03 - 2834 - 2000)



Gambar 3. 8 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

b. Setelah didapatkan FAS dari penentuan Tabel 3.8 dan Gambar 3.1, setelah itu tentukan faktor air semen (FAS) maksimum pada Tabel 3.8 dibawah ini.

Tabel 3. 8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Lokasi		**Jumlah Semen Minimum Per m^3 Beton (kg)**	**Nilai Faktor Air Semen Maksimum**
Beton di dalam ruang bangunan	Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
	Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan	Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
	terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60

Lanjutan Tabel 3. 8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Lokasi		Jumlah Semen Minimum Per m^3 Beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton masuk ke dalam tanah	Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
	Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang kontinu berhubungan	Air tawar		
	Air laut		

(Sumber: SNI 03 - 2834 - 2000)

7. Menentukan Nilai *Slump*

   Slump ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, dipadatkan, dan diratakan.

8. Menentukan Ukuran atau Besar Butir Agregat Maksimum

   Dalam menentukannya, ada beberapa syarat untuk besar butir agregat maksimum yaitu tidak boleh melebihi:

   a. 1/5 jarak terkecil antara bidang – bidang samping dari cetakan
   b. 1/3 dari tebal pelat
   c. ¾ dari jarak bersih minimum di antara batang – batang atau berkas – berkas tulangan

9. Kadar Air Bebas

   Kadar air bebas adalah jumlah air yang ditambahkan ke dalam campuran beton untuk mencapai konsistensi tertentu, tanpa memperhitungkan air yang diserap oleh agregat. Kadar air bebas agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), ditentukan pada persamaan 3.34 dan Tabel 3.9 sebagai berikut.

$$W = \frac{2}{3} \times W_h + \frac{2}{3} \times W_k \qquad (3.34)$$

Keterangan:

W = Jumlah air yang dibutuhkan (kg/m^3),

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus, dan

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agegat kasar.

Tabel 3. 9 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) Yang Dibutuhkan

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	*Slump* (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber: SNI 03 - 2834 - 2000)

10. Menentukan Kebutuhan Semen

Penentuan kebutuhan semen dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.35.

$$W_c = \frac{W}{FAS} \quad (3.35)$$

Keterangan:

W_c = Jumlah semen yang dibutuhkan (kg/m^3),

W = Jumlah air yang dibutuhkan (kg/m^3), dan

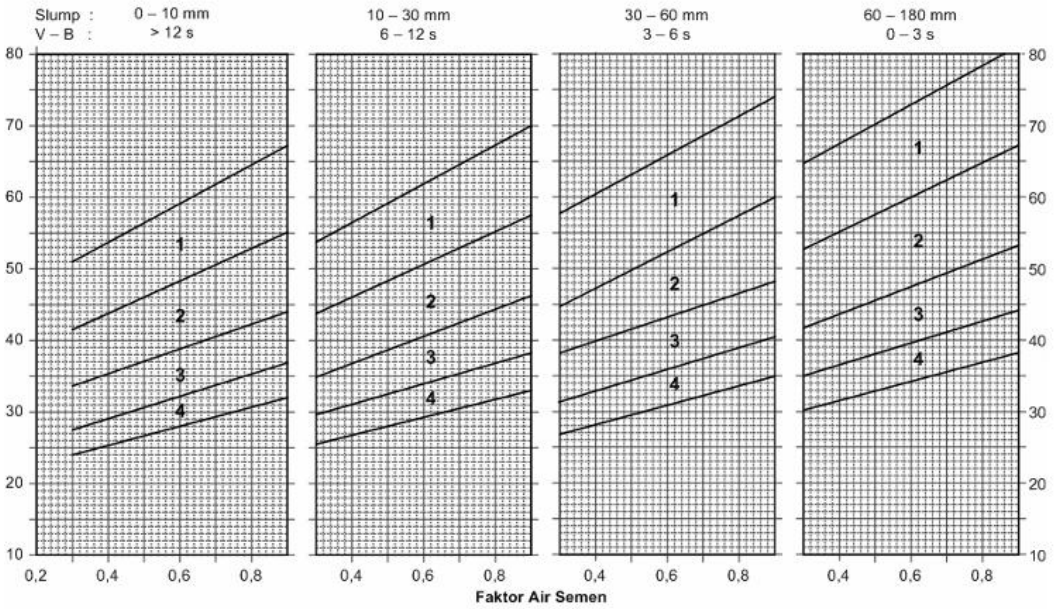
FAS = Nilai faktor air semen yang digunakan.

Apabila jumlah semen tidak memenuhi batasan minimum yang ditetapkan pada Tabel 3.8, maka batasan minimum yang harus dipakai dan perlu melakukan perhitungan ulang untuk nilai FAS.

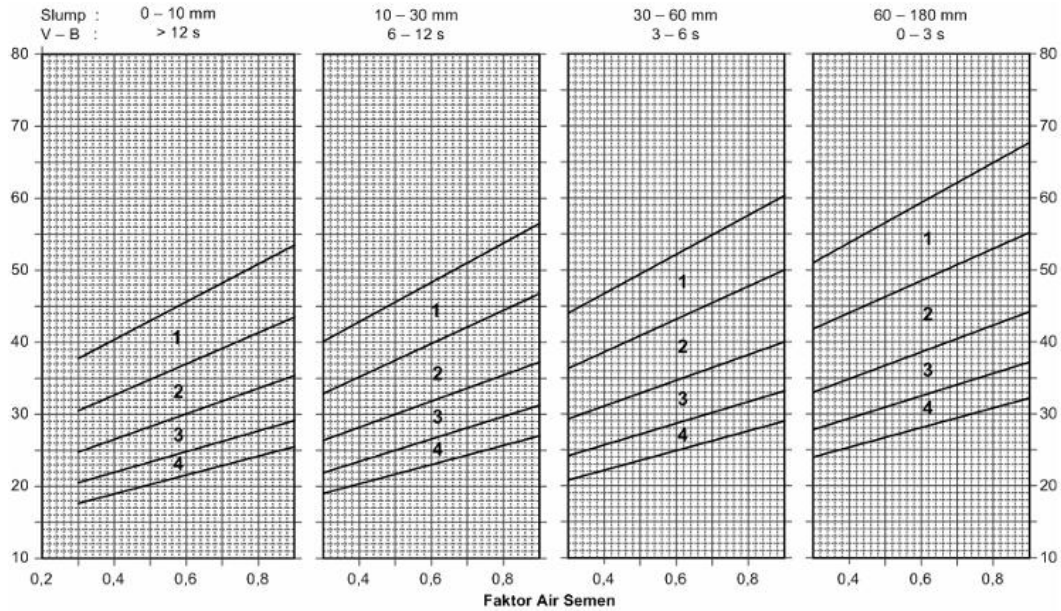
11. Menentukan Persentase Jumlah Agregat Halus

Proses menentukan jumlah agregat halus menurut SNI 03-2834-2000 ditentukan berdasarkan penggunaan besar ukuran agregat maksimum dari agregat kasar, nilai slump, daerah gradasi agregat halus, dan FAS (SNI 03-2834-2000 - Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal). Dari

penggunaan tersebut dapat digunakan untuk menghitung persentase jumlah agregat halus menggunakan grafik pada Gambar 3.9 – Gambar 3.11 sebagai berikut.

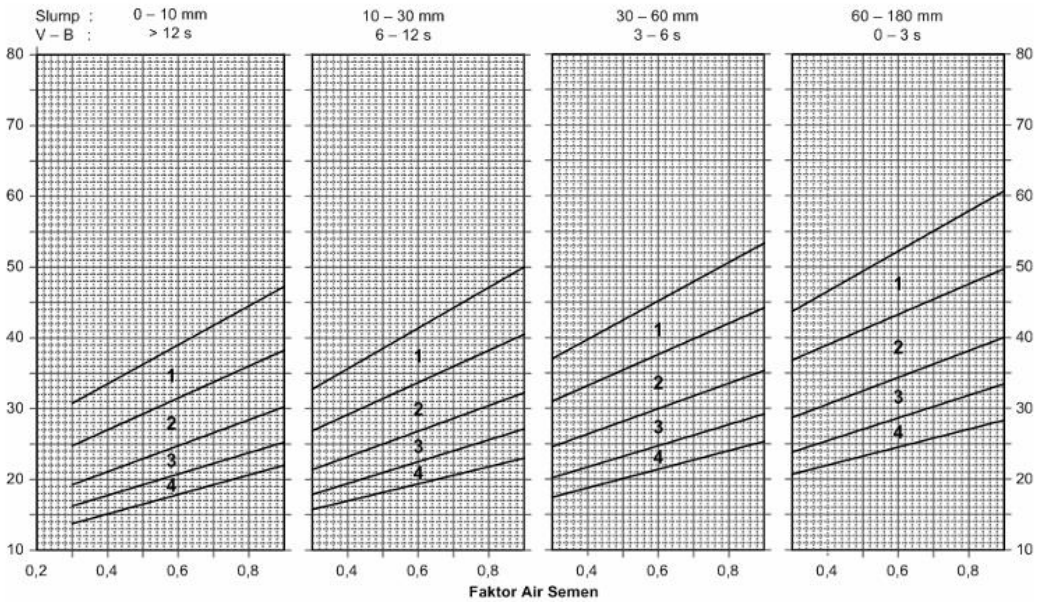


Gambar 3. 9 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm
(Sumber: SNI 03 - 2834 - 2000)



Gambar 3. 10 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

gradasi(Sumber: SNI 03 - 2834 - 2000)



Gambar 3. 11 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm
(Sumber: SNI 03 - 2834 - 2000)

12. Menentukan Berat Jenis Relatif Agregat Gabungan

Merupakan ukuran yang menunjukkan perbandingan antara berat agregat gabungan (yang terdiri dari agregat halus dan agregat kasar) dengan berat air pada volume yang sama. Adapun penentuan berat jenis relatif agregat gabungan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.36 sebagai berikut.

$$Bj_{AG} = (\%AH \times Bj_{AH}) + (\%AK \times Bj_{AK}) \quad (3.36)$$

Keterangan:

Bj_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

Bj_{AH} = Berat agregat halus

Bj_{AK} = Berat jenis agregat kasar

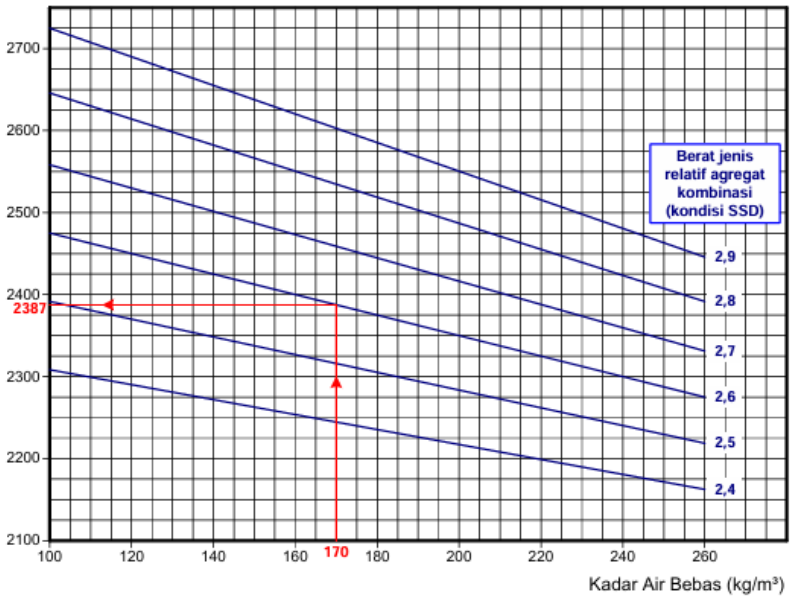
%AH = persentase jumlah agregat halus

%AK = Persentase jumlah agregat kasar

13. Menentukan Berat Isi Beton

Merupakan ukuran yang menunjukkan berat beton per satuan volume. Ini merupakan parameter penting dalam menentukan densitas dan performa

beton dalam aplikasi konstruksi. Untuk menentukan berat isi beton dapat menggunakan grafik pada Gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3. 12 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah
(Sumber: SNI 03 - 2834 - 2000)

14. Penentuan Proporsi Agregat Gabungan

Merupakan perbandingan antara jumlah total volume beton dalam campuran dengan agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton. Berikut ini persamaan 3.37 untuk menentukan proporsi agregat gabungan.

AG = Berat isi beton – jumlah semen – jumlah air (3.37)

15. Penentuan Proporsi Agregat Kasar

Merupakan perbandingan antara jumlah agregat kasar dan total volume beton dalam campuran. Berikut ini persamaan 3.38 untuk menentukan proporsi agregat Kasar.

W_{AK} = Agregat gabungan – Persentase Agregat Kasar (3.38)

16. Penentuan Proporsi Agregat Halus

    Merupakan perbandingan antara jumlah agregat halus dan total volume beton dalam campuran. Berikut ini persamaan 3.39 untuk menentukan proporsi agregat Kasar.

    W_{AH} = Agregat gabungan – Persentase Agregat Halus (3.39)

17. Penentuan Proporsi Campuran

    Merupakan perbandingan antara berbagai bahan penyusun beton yang meliputi, semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Proporsi campuran ditentukan untuk tiap m^3 beton dengan kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD).untuk tiap campuran beton ditentukan dengan mengalikan dengan volume total benda uji.

18. Menghitung Koreksi Proporsi Campuran

    Merupakan proses penyesuaian jumlah bahan – bahan dalam campuran beton, seperti semen, agregat kasar, agregat halus, dan air berdasarkan kondisi aktual agregat yang digunakan. Koreksi proporsi campuran diperlukan untuk kondisi agregat yang tidak dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD). Koreksi dilakukan terhadap kandungan air dalam agregat.

3.4 Uji *Slump*

Merupakan metode yang digunakan untuk mengukur konsistensi atau kekentalan adukan beton segar sebelum digunakan dalam konstruksi. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa campuran beton memiliki sifat *workability* yang sesuai, sehingga memudahkan proses pengecoran. Selain itu tujuan dari pengujian *slump* ini adalah membantu mengidentifikasi campuran beton yang dibuat apakah perlu ditambahkan air atau tidak. Pengujian ini dibantu dengan menggunakan alat kerucut a*brams* dan besi penumbuk untuk memadatkan tiap lapisannya. Nilai *slump* yang ideal menyesuaikan dengan tipe konstruksi yang di inginkan, biasanya nilai *slump* berkisar 6-18 cm.

3.5 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan beban tekan sebelum mengalami kerusakan. Kuat tekan beton diukur dalam satuan megapascal (MPa) dan merupakan beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton sebelum hancur ketika dibebani dengan gaya aksial tertentu. Dalam SNI 03-2834-2000 tentang "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal", kuat tekan terdiri dari dua yaitu antara lain. (SNI 03-2834-2000 - Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, 2000).

1. Kuat tekan beton yang disyaratkan (f'c)
   Kuat tekan yang ditetapkan oleh perencana struktur (berdasarkan benda uji berbentuk silinder diamater 150 mm, tinggi 300 mm).
2. Kuat tekan beton yang ditargetkan (fcr)
   Kuat tekan rata – rata yang diharapkan dapat dicapai yang lebih besar dari f'c. Faktor – faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton antara lain: proporsi campuran (rasio air/semen), tipe semen yang digunakan, agregat, umur beton, dan perawatan beton *(curring)*.

Berikut ini perhitungan kuat tekan beton pada persamaan 3.40 dibawah ini.

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{3.40}$$

Keterangan:

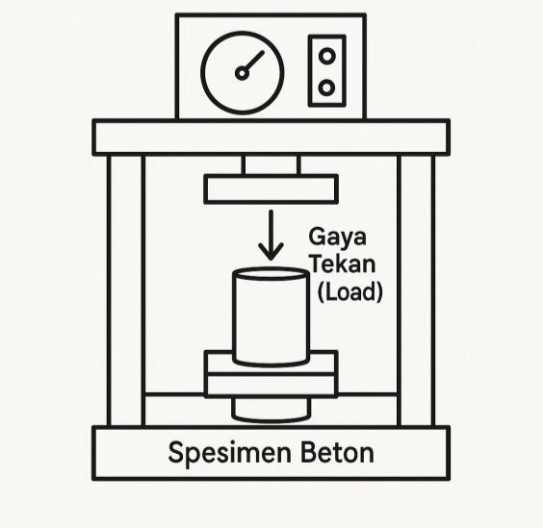
f'c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban Maksimal (N)

A = Luas penampang (mm^2)

(SNI 1974:2011 - Cara UjiTekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, 2011)

Dibawah ini adalah gambar 3.13 ilustrasi pengujian kuat tekan beton.



Gambar 3. 13 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Beberapa ketentuan khusus yang harus diikuti sebagai berikut:

a. Bila tidak terdapat ketentuan lain, konversi kuat tekan beton dari benda uji berbentuk kubus ke benda uji berbentuk silinder, gunakan angka konversi seperti pada tabel 3.10.
b. Pemeriksaan kuat tekan beton pada penelitian ini dilaksanakan pada umur benda uji 7, 14, 21, dan 28 hari, dengan angka konversi kuat tekan beton ke umur 28 hari seperti pada Tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Angka Konversi Umur Benda Uji

Umur Benda Uji	Angka Konversi
7 Hari	0,65
14 Hari	0,88
21 Hari	0,95
28 Hari	1,00

Sumber: FM-UII-AA-FKA-08.08/R0

3.6 Pengujian Absorpsi Beton

Absorpsi merupakan kemampuan suatu bahan untuk menyerap air. Nilai absorpsi sangat berkaitan dengan berat jenis maupun porositas suatu bahan,

karena nilai absorpsi yang besar mengindikasikan banyaknya rongga – rongga yang terdapat dalam material tersebut. Semakin besar nilai absorpsi beton maka, semakin besar penurunan kekuatan beton, karena pori – pori yang ada menyebabkan ikatan antar partikel pada suatu material berkurang (Setiawan, 2022). Pengujian absorpsi beton akan dilakukan pada umur 28 hari.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan suatu prosedur atau langkah – langkah ilmiah yang digunakan untuk memperoleh data dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Metode penelitian memiliki beberapa tujuan yang penting dalam rangka mencapai hasil yang diinginkan dalam suatu penelitian. Mulai dari perumusan masalah, pengumpulan data, pembuatan benda uji, pengujian, analisis data, serta kesimpulan dan saran. Selain daripada itu, metode penelitian bertujuan untuk mengembangkan pengetahuan yang sudah ada, menjawab tantangan zaman, dan memperbaiki kondisi yang ada. Penelitian yang sedang ditelili ini bertujuan untuk melakukan analisis perbandingan 3 merek semen (semen Tiga Roda, semen Dynamix, semen Grobokan) terhadap laju kuat tekan beton pada umur rencana 7, 14, 21, dan 28 hari, serta nilai absorpsi beton pada masing – masing merek semen. Maka diperlukan sebuah studi eksperimental dengan melakukan pengujian di laboratorium. Dalam bab ini akan dijelaskan proses serta tahapan dalam melakukan studi eksperimental pada penelitian ini.

4.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kerikil (Agregat Kasar)

   Persyaratan dan ketentuan dalam pemilihan agregat kasar pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal” (SNI 03-2834-2000 - Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, 2000). Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah batu pecah dengan ukuran maksimal 10 mm dari

Merapi, DI Yogyakarta. Berikut ini adalah gambar agregat kasar yang dipakai pada pengerjaan penelitian yang tercantum dalam Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Agregat Kasar
Sumber: Dokumen Pribadi

2. Pasir (Agregat Halus)

Persyaratan dan ketentuan dalam pemilihan agregat halus pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal". Agregat halus pada penelitian ini berasal dari Merapi, DI Yogyakarta dengan dilakukan analisis saringan agregat halus terlebih dahulu untuk menentukan gradasi agregat. Berikut ini adalah gambar agregat halus yang dipakai pada pengerjaan penelitian yang tercantum dalam Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Agregat Halus
Sumber: Dokumen Pribadi

3. Semen Portland

Semen yang digunakan dalam penelitian ini terdapat 3 merek semen yaitu (Semen Tiga Roda, Semen Dynamix, dan Semen Grobokan). Jenis semen yang dipilih adalah semen Portland tipe 1 *Ordinary Portland Cement (OPC)*. Persyaratan dan ketentuan dalam pemilihan air pada penelitian ini mengacu pada SNI 15-2049-2004 tentang "Semen Portland". Berikut ini adalah gambar Semen Portland yang dipakai pada pengerjaan penelitian yang tercantum dalam Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Semen Potland
Sumber: Dokumen Pribadi

4. Air

Dalam penelitian ini penggunaan air berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Persyaratan dan ketentuan dalam pemilihan air pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000.

4.3 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini yang meliputi proses persiapan, pembuatan, dan pengujian adalah sebagai berikut.

1. Timbangan

Timbangan merupakan alat yang digunakan untuk mengukur berat atau suatu massa benda. Timbangan sangat membantu penelitian untuk mendapatkan data yang akurat dan relevan terutama pada uji agregat. Seperti pengujian

analisis saringan, berat jenis, dan penyerapan agregat. Timbangan memiliki berbagai jenis serta digunakan dalam berbagai macam aplikasi sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Dalam penelitian ini menggunakan timbangan yang berada di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Kapasitas timbangan yang digunakan adalah 2000 gram dan kapasitas 2500 gram dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh (FM-UII-AA-FKA-08.08/R0, 2008c). Berikut ini adalah Gambar 4.4 timbangan yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 4 Timbangan
Sumber: Dokumen Pribadi

2. Saringan Agregat

Saringan agregat merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan setiap ukuran agregat (pasir, kerikil, batu pecah, dll) melalui proses pengayakan, sehingga menjadi berbagai ukuran yang berbeda. Ukuran agregat yang lebih kecil kecil akan lolos pada lubang – lubang pada saringan yang lebih besar, sedangkan ukuran agregat yang lebih besar akan tertahan.

Ukuran saringan yang digunakan adalah satu set saringan, yang terdiri dari 38,1 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, dan pan serta tutup saringan (FM-UII-AA-FKA-08.08/R0, 2008a). Berikut ini adalah Gambar 4.5 saringan agregat yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 5 Saringan Agregat
Sumber: Dokumen Pribadi

3. Mesin pengguncang/penggetar saringan

   Berfungsi sebagai proses pengayakan pada saat uji saringan agregat, agar mempermudah pekerjaan. Berikut ini adalah Gambar 4.6 mesin pengguncang/penggetar saringan yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 6 Mesin Pengguncang/ Penggetar saringan
Sumber: Dokumen Pribadi

4. Oven

   Oven adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengeringkan agregat kasar dan agregat halus sebelum dilakukan pengujian fisik dan mekanik. Penggunaan oven bertujuan untuk memastikan bahwa agregat ataupun sampel beton dalam kondisi kering dan stabil sebelum pengujian dilakukan, sehingga hasil tes dapat lebih akurat dan relevan. Suhu pengeringan agregat maupun sampel beton di oven biasanya $(110 \pm 5)^{o}C$, selama beberapa jam

untuk agregat, dan selama beberapa hari untuk sampel beton tergantung dengan dimensi dan jenis sampel beton. Pengeringan dengan oven bertujuan untuk menentukan kadar air yang tergantung pada agregat atau sampel beton, pengujian kuat tekan, serta menghilangkan kelembaman dari sampel beton, dan membantu mengurangi pengaruh kelembaman dalam pengujian yang dapat mempengaruhi keakuratan hasil (FM-UII-AA-FKA-08.08/R0, 2008c). Berikut ini adalah Gambar 4.7 oven yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 7 Oven
Sumber: Dokumen Pribadi

5. Piknometer

Piknometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur massa jenis (densitas) suatu cairan atau padatan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Alat ini berbentuk tabung atau botol yang terbuat dari kaca dan memiliki desain yang memungkinkan pengukuran yang tepat melalui proses penimbngan. Pikonmeter bekerja dengan cara mengukur berat zat yang akan dianalisa, kemudian membandingkannya dengan berat zat referensi yang diketahui massa jenisnya, seperti air. Proses ini melibatkan pengisian piknometer dengan cairan hingga batas tertentu, menimbangnya, kemudian mengulangi prose dengan air untuk mendapatkan perbandingan yang diperlukan (FM-UII-AA-FKA-08.08/R0, 2008c). Berikut ini adalah Gambar 4.8 piknometer yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 8 Piknometer
Sumber: Dokumen Pribadi

6. Sekop

Sekop merupakan alat yang digunakan untuk mencampur adukan beton ataupun memindahkan bahan agregat seperti pasir ataupun kerikil ke dalam truk *mixer* serta memindahkan campuran beton dari tempat pencampurannya ke tempat pengecoran. Sekop biasanya terbuat dari logam ringan dengan pegangan yang ergonomis agar memudahkan pengguna dalam menggunakannya (FM-UII-AA-FKA-08.08/R0, 2008c). Berikut ini adalah Gambar 4.9 sekop yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 9 Sekop
Sumber: Dokumen Pribadi

7. *Concrete Mixer*

Mesin pencampur beton merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mencampur bahan – bahan untuk membuat beton yang berupa agregat kasar,

agregat halus, semen, dan air menjadi campuran yang homogen.mesin pencampur beton ini umumnya terdiri dari sebuah drum atau tabung yang berputar di sekitar porosnya, dan memiliki sudut kemiringan yang dapat diubah tergantung kebutuhan yang memungkinkan bahan untuk dicampur secara efektif (FM-UII-AA-FKA-08.08/R0, 2008c). berikut ini adalah Gambar 4.10 *concrete mixer* yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 10 *Concrete Mixer*
Sumber: Dokumen Pribadi

8. Kerucut Abrams

Kerucut abrams merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai slump beton, yang merupakan indikator dari *workability* atau kemudahan pengerjaan campuran beton. Alat ini berbentuk kerucut dengan ukuran dan spesifikasi tertentu, dan berfungsi untuk menentukan konsistensi adukan beton segar. Ukuran umum dari kerucut ini adalah diameter atas 10 cm (102 mm), diameter bawah 20 cm (203 mm), tinggi 30 cm (305 mm), dengan ketebalan minimal 1,5 mm.

Alat ini digunakan dalam pengujian slump untuk menilai seberapa mudah beton dapat dipindahkan dan dicetak, serta untuk memastikan bahwa campuran memenuhi spesifikasi yang di inginkan. Proses pengujian menggunakan kerucut abrams dilakukan diatas permukaan datar yang tidak menyerap air, lalu kerucut abrams akan di dengan campuran beton dengan adukan beton segar dalam 3 lapisan, masing masing 1/3 tinggi kerucut. Setiap lapisan akan dipadatkan dengan batang penusuk sebanyak 25 hingga 30 kali

untuk memastikan tidak ada rongga udara yang terperangkap. Lalu setelah ketiga lapisan sudah terisi penuh, maka kerucut abrams akan diangkat sehingga beton akan mengalir keluar dari lubang kerucut bawah, setelah itu ukur ketinggian sisa beton yang masih terikat. (FM-UII-AA-FKA-08.08/R0, 2008c). Berikut ini Gambar 4.11 kerucut abrams yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 11 Kerucut Abrams
Sumber: Dokumen Pribadi

9. Tongkat Penumbuk

Tongkat penumbuk ini berfungsi pada saat pengujian slump menggunakan kerucut abrams yang berfungsi untuk memadatkan campuran beton sehingga tidak ada rongga udara (FM-UII-AA-FKA-08.08/R0, 2008b). Berikut ini Gambar 4.12 tongkat penumbuk yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 12 Tongkat Penumbuk
Sumber: Dokumen Pribadi

10. Bekisting Sampel Beton

Bekisting adalah sebuah struktur *temporary* yang berguna untuk cetakan sementara yang digunakan dalam proses pengecoran beton. Bekisting biasanya terbuat dari logam, plastik, ataupun kayu sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan dari cetakan beton. Pada penelitian ini sampel bekisting sampel beton menggunakan cetakan silinder yang berukuran 150 mm dan tinggi 300 mm mengacu pada SNI 03-4810-1998 tentang Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Lapangan (SNI - 03-4810-1998 - Metode Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Lapangan, 1998). Berikut ini Gambar 4.13 bekisting yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 13 Bekisting
Sumber: Dokumen Pribadi

11. Ember

Ember merupakan alat yang digunakan untuk mengangkut bahan material seperti semen, air, agregat kasar, dan agregat halus sehingga dapat mempermudah perpindahannya (FM-UII-AA-FKA-08.08/R0, 2008a). Berikut ini Gambar 4.14 ember yang dipakai dalam pengerjaan penelitian.



Gambar 4. 14 Ember
Sumber: Dokumen Pribadi

4.4 Sampel Pengujian

Jenis sampel pengujian dalam penelitian ini terdiri dari dua sampel yaitu sampel untuk sifat fisik semen dan sampel untuk pengujian sifat mekanik (kuat tekan) dan sifat fisik (absorpsi/penyerapan) beton. Berikut ini adalah penjelasan untuk kedua jenis sampel yang akan diuji.

1. Sifat fisik semen

   Sampel pengujian sifat fisik semen ini dilakukan pada setiap merek semen yang diuji. Sifat fisik semen yang diuji terdiri dari 3 pengujian yaitu uji kehalusan semen, konsistensi semen, dan waktu ikat semen. Acuan yang dipakai pada pengujian parameter semen ini antara lain (SNI 03 - 6827 – 2002 Metode Waktu Ikat Semen, SNI 15 - 2530 - 1991 Pengujian Kehalusan Semen Portland, dan SNI-03-6826-2002 Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland Dengan Alat Vicat. Berikut ini adalah rincian berat sampel yang diperlukan dalam pengujian sifat fisik semen, yang tercantum pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Rincian Sampel Pengujian Sifat Fisik Semen

Variabel	Kehalusan Semen	Konsistensi Normal		Waktu Ikat		Satuan
	Sampel	Sampel		Sampel		
	1	1	2	1	2	
Semen Tiga Roda	500	650	650	650	650	gram
Semen Dynamix	500	650	650	650	650	gram
Semen Grobokan	500	650	650	650	650	gram
Total	1500	1950	1950	1950	1950	gram
	9300					gram

2. Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Beton

Benda uji pada pengujian ini merupakan silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, dengan 3 variasi merek semen. Setiap variasi merek semen terdiri dari 3 benda uji untuk uji kuat tekan setiap umurnya yang terdiri dari 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari. Selain itu terdapat benda uji silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan masing masing merek semen terdiri dari 3 sampel untuk uji absorpsi atau penyerapan beton pada umur 28 hari. Pembuatan benda uji dilakukan di laboratorium berdasarkan SNI 2493:2011-Tata Cara Pembuatan Dan Perawatan Benda Uji Beton Di Laboratorium, 2011. Berikut rincian sampel beton dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Rincian Sampel Pengujian Beton

Variabel	Umur Kuat Tekan				Absorpsi
	7	14	21	28	Umur 28
Semen Tiga Roda	3	3	3	3	3
Semen Dynamix	3	3	3	3	3
Semen Grobokan	3	3	3	3	3
Total	9	9	9	9	9
	45				

4.5 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan meliputi, persiapan, pengujian material agregat, perencanaan campuran *(mix design),* pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian benda uji, olah data, analisis data, pembahasan, serta pelaporan.

4.5.1 Persiapan Peralatan dan Material

Persiapan peralatan dan material meliputi tahapan awal sebelum melakukan penelitian dilaksanakan seperti persiapan bahan, serta peralatan yang digunakan selama penelitian berlangsung.

4.5.2 Pengujian *Properties* Material Campuran

Pengujian *properties* material campuran beton berfungsi untuk mengetahui karakteristik setiap material yang meliputi agregat kasar, agregat halus, dan semen. Dengan dilakukan pengujian ini, juga berfungsi itu untuk memastikan apakah material tersebut memenuhi persyaratan standar sehingga layak dan optimal digunakan pada campuran beton. Dalam tahap pengujian properties material campuran pada penelitian ini terdiri dari 2 pengujian yaitu pengujian agregat dan pengujian parameter semen (sifat fisik).

4.5.3 Pengujian Agregat

Pengujian agregat merupakan tahapan awal dalam membuat suatu perencanaan campuran beton yang bagus. Pengujian ini merupakan proses evaluasi sifat – sifat fisik dan mekanik dari agregat kasar, serta agregat halus. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa agregat memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk kekuatan, daya tahan, dan kinerja material. Dalam penelitian ini pengujian agregat meliputi 4 pengujian sebagai berikut.

1. Uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI 1969 – 2008
2. Uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI 1969 – 2008
3. Uji analisa saringan agregat kasar dan halus berdasarkan (SNI 03-1968-1990 - Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar, 1990)

4. Uji berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar dan halus berdasarkan SNI 03 – 4804 – 1998
5. Uji butiran lolos ayakan No. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) SNI 02-4142-1996 - Metode Pnegujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,75 mm)

4.5.4 Pengujian Parameter Semen (Sifat Fisik)

Pengujian semen ini sangat penting untuk memastikan kualitas semen yang akan dipakai sesuai dengan karakteristik yang diinginkan supaya dapat memenuhi standar mutu optimal yang di inginkan. Dalam penelitian ini ada tiga parameter yang akan diuji meliputi kehalusan semen, konsistensi, dan waktu ikat semen.

1. Kehalusan Semen

   Kehalusan semen mengacu pada ukuran partikel semen yang mempengaruhi laju reaksi hidrasi. Semen dengan kadar kehalusan tinggi akan mempercepat reaksi hidrasi pada beton serta dapat meningkatkan kuat tekan beton khususnya pada umur awal beton. Sebaliknya, untuk semen dengan kadar kehalusannya rendah akan memperlambat reaksi hidrasi pada beton serta dapat memperlambat kuat tekan beton mencapai umur rencana.

   Pengujian kehalusan semen ini dilakukan dengan menggunakan alat uji saringan seperti yang dipakai pada pengujian analisis saringan agregat. Saringan yang dipakai adalah saringan No. 100, No. 200, dan PAN. Berat semen yang dipakai sebesar 500 gram. Pengujian kehalusan semen ini mengacu pada SNI 15 - 2530 - 1991 Pengujian kehalusan semen portland.

2. Konsistensi Semen

   Konsistensi normal mengacu pada persentase air yang dibutuhkan untuk membuat pasta semen mencapai nilai konsistensi plastis yang optimal, Dimana pasta masih dapat diaduk dan dibentuk dengan mudah. Metode pengujian menggunakan alat Vicat untuk menentukan kedalaman penetrasi jarum dalam pasta semen. Pengujian konsitensi normal ini mengacu pada SNI-03-6826-2002 Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland Dengan Alat Vicat.

3. Waktu Ikat Semen

Waktu ikat merupakan durasi yang dibutuhkan semen untuk mencapai perubahan fisik dari yang bersifat plastis hingga bersifat kaku (jarum Vicat tidak bisa menembus pasta semen). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat Vicat.

Waktu ikat awal adalah waktu semen mulai kehilangan plastisnya (saat jarum vicat tidak bisa menembus lebih dari 25 mm). Ini menandakan bahwa batas akhir waktu pengerjaan semen yang optimal. Dalam setiap pengujian untuk mendapatkan penetrasi jarum sudah mencapai kedalaman 25 mm (standar waktu ikat), cara yang digunakan adalah dengan menggunakan interpolasi.

Waktu ikat akhir merupakan waktu semen mencapai pengerasan akhir, dimana jarum Vicat tidak meninggalkan bekas pada permukaan pasta semen. Standar normal untuk pengujian waktu ikat akhir semen ini berkisar ±4 jam atau 240 menit. Pengujian waktu ikat ini mengacu berdasarkan kepada SNI 03 – 6827 – 2002 Metode Waktu Ikat Semen.

4.5.5 *Trial Mix Design*

Perencanaan campuran beton *(trial mix beton)* di penelitian ini mengacu pada SNI 2834 - 2000 tentang " Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal". Trial mix design ini dilakukan setelah selesai melakukan pengujian properties material agregat kasar, agregat halus, dan semen. Perencanaan trial mix design ini digunakan untuk mendapatkan proporsi komposisi campuran beton yang optimal. Proporsi tersebut disesuaikan dengan faktor air semen dan nilai slump yang di inginkan agar beton memiliki performa sesuai dengan standar.

Setelah didapatkan komposisi perencanaan campuran beton, selanjutnya bahan – bahan ditimbang secara akurat berdasarkan komposisi perencanaan campuran beton, dan dicampur menggunakan mesin *concrete mixer* (molen) hingga homogen. Campuran beton yang telah dibuat, kemudian dimasukkan kedalam bekisting dan dipadatkan oleh meja penggetar *(vibrator)*. Setelah satu hari pembuatan, sampel beton akan dilepas dari bekisting, dan akan dilakukan perawatan beton yaitu dengan cara perendaman hingga pada umur rencana. Satu

hari sebelum pengujian sampel beton akan diangkat dari perendaman dan di diamkan selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian kuat tekan pada trial mix design akan dilakukan pada umur 7 hari. Hasil nilai kuat tekan trial mix design akan dilakukan konversi dengan nilai pembagi sebesar 0,65 untuk mendapatkan nilai kuat tekan optimum (umur 28 hari). Apabila hasil trial mix design tidak memenuhi standar yang diinginkan, maka komposisi campuran dapat dikoreksi dan diuji ulang sampai diperoleh hasil optimal. Jika hasil trial mix design sudah memenuhi maka sudah bisa untuk melakukan pembuatan sampel uji yang sesungguhnya.

4.5.6 Uji *Slump* dan Pemeriksaan

Uji *slump* dilakukan untuk mengukur konsitensi atau tingkat kelecakan beton segar, yang merupakan indikator kemudahan pengerjaan dan kualitas pencampuran beton.uji slump ini penting agar beton yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan pekerjaan konstruksi dan tidak mengalami segregasi atau pemisahan material. Selain itu tujuan dari pengujian *slump* ini adalah membantu mengidentifikasi campuran beton yang dibuat apakah perlu ditambahkan air atau tidak. Pengujian ini dibantu dengan menggunakan alat kerucut a*brams* dan besi penumbuk untuk memadatkan tiap lapisannya. Nilai *slump* yang ideal menyesuaikan dengan tipe konstruksi yang di inginkan, biasanya nilai *slump* berkisar 6-18 cm. Uji slump ini akan menentukan apakah campuran tersebut telah sesuai atau tidak sesuai dengan rencana.

Setelah beton dicetak dan dilakukan perendaman selama 6 hari, di hari ke 7 beton akan dilakukan pemeriksaan pengujian kuat tekan beton untuk mengetahui apakah nilai hasil uji kuat tekan pada sampel beton sesuai rencana atau tidak. Apabila tidak sesuai maka perlu dilakukan perhitungan atau analisis ulang pada trial mix design.

4.5.7 Pembuatan Benda Uji

Ada beberapa tahapan dalam pembuatan benda uji, meliputi sebagai berikut.

1. Persiapan alat – alat

   Alat yang dipergunakan untuk membuat campuran beton yaitu: mixer beton, timbangan kasar/ halus, gelas ukur, cetakan silinder, talam, alat uji slump, penggaris, ember, sekop/ cetok, pipet penyedot, dan lain lain.

2. Persiapan cetakan/bekisting
   a. Bersihkan cetakan dari kerak/ sisa – sisa beton atau kotoran lain dengan skrap.
   b. Kencangkan pengunci/ baut cetakan agar ukurannya tidak berubah dan tidak bocor, kemudian bagian dalam yang akan diisi beton akan diolesi oli dengan menggunakan kuas agar cetakan mudah dibuka.
   c. Persiapan tempat untuk menaruh benda uji (permukaan rata dan terlindung) agar diperoleh hasil uji yang maksimal.

3. Proses pembuatan beton
   a. Kondisikan agregat halus/kasar dalam keadaan SSD *(Saturated Surface Dry)* agar dalam pengerjaan pencampuran beton tidak perlu menambah atau mengurangi air (jumlah air sesuai rencana)
   b. Timbang setiap bahan sesuai perhitungan, serta tambahkan 10 – 25 % setiap bahan untuk mengantisipasi kekurangan akibat menempel pada dinding mixer, dll.
   c. Campur/masukkan ke dalam mixer beton secara kering sedikit demi sedikit/secukupnya, kemudian masukkan air, dan seterusnya.
   d. Sebaiknya sisakan air sedikit pada waktu pencampuran bahan pembentuk beton, sebagai koreksi
   e. Setelah campuran homogen, tuang adukan ke talam dan segera dilakukan uji slump
   f. Apabila nilai slump telah memenuhi/sesuai rencana, langsung masukkan adukan beton kedalam cetakan yang telah disiapkan, dengan cara masukkan/ isi cetakan setiap 1/3 dari tinggi cetakan, kemudian tusuk 25 kali secara merata, sampai penuh. Pemadatan dapat juga dilakukan dengan menggunakan vibrator/ meja getar dan atau dengan palu karet yang dipukulkan pada bagian luar cetakan.

g. Setelah terisi penuh, ratakan permukaan beton dengan cetok/alat perata lain agar permukaan rata, sehingga pada saat uji desak seluruh permukaan menerima gaya desak yang sama
h. Timbang beton + cetakan dalam kondisi basah
i. Tunggu selama 1 jam awal, kemudian ambil air yang keluar dari beton (air yang tidak bereaksi dengan semen) dengan menggunakan pipet, peristiwa ini disebut dengan *bleeding.*
j. Catat dan sertakan dalam laporan jumlah air (mililiter/cc) yang keluar tersebut
k. Setelah 24 jam, buka cetakan dengan hati – hati dan beri tanda/ kode agar tidak tertukar dengan benda uji lain.
l. Rawat benda uji dengan cara direndam dalam air atau tutup dengan karung basah atau dengan cara disiram air selama umur perawatan
m. Keringkan benda uji, dengan cara 24 jam sebelum pengujian di keluarkan dari rendaman atau buka tutup karung basah atau dihentikan penyiraman

4.5.8 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji pada penelitian ini mengacu berdasarkan SNI 03 – 4810 – 1998, serta SNI 2493 – 2011 tentang "Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium". Cetak benda uji sedekat mungkin dengan ke tempat penyimpanan selama 24 jam pertama. Jika tidak memungkinkan untuk mencetak benda uji dekat dengan tempat penyimpanan, pindahkan benda uji ke tempat penyimpanan sesegera mungkin setelah diratakan. Letakkan cetakan pada permukaan kaku, bebas dari getaran dan gangguan lainnya. Setelah beton di diamkan selama 24 jam, maka segera dikeluarkan dari cetakannya, dan diberi label atau kode. Setelah itu dilakukan perawatan beton dengan merendam sampel beton kedalam kolam perendaman selama 28 hari. Perawatan beton untuk pengujian kuat tekan dibawah umur 28 hari akan dilakukan dengan cara menutup balok beton dengan karung goni basah.

4.5.9 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan pada penelitian ini akan mengacu pada SNI 1974 : 2011 tentang "Cara Uji Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder". Pengujian kuat tekan benda uji akan dilakukan setiap umur rencana yang telah ditentukan. Kuat tekan benda uji dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima selama pengujian dengan luas penampang benda uji (SNI 1974:2011 - Cara Uji Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, 2011). Hasil pengujian ini nanti selain digunakan untuk menentukan hasil pekerjaan yang memenuhi spesifikasi, namun juga digunakan untuk perbandingan laju kuat tekan beton setiap umur pada masing – masing merek semen yang diuji. Adapun tahapan pengujian dari kuat tekan beton antara lain sebagai berikut.

a. Ambil benda uji yang akan ditentukan kuat tekannya dari bak perendaman/ pemasangan (curring) 24 jam sebelum pengujian, kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lap.
b. Timbang dan ukur benda uji.
c. Lapislah (caping) permukaan atas benda uji silinder dengan mortar belerang.
d. Letakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris.
e. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan.
f. Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur, dan catat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
g. Gambarkan bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji.

Untuk menghitung kuat tekan dari hasil pengujian tersebut, maka digunakan persamaan rumus pada 4.1

$$f'c = \frac{P}{A} \qquad (4.1)$$

Dengan keterangan :

P = Beban maksimum

A = Luas penampang benda uji

4.5.10 Absorpsi beton

Absorpsi merupakan kemampuan suatu bahan untuk menyerap air. Nilai absorpsi sangat berkaitan dengan berat jenis maupun porositas suatu bahan, karena nilai absorpsi yang besar mengindikasikan banyaknya rongga – rongga yang terdapat dalam material tersebut. Semakin besar nilai absorpsi beton maka, semakin besar penurunan kekuatan beton, karena pori – pori yang ada menyebabkan ikatan antar partikel pada suatu material berkurang (Setiawan, 2022).

Pengujian absorpsi beton akan dilakukan pada umur 28 hari. Berikut ini adalah metode pengujian absorpsi beton berdasarkan SNI 03-2834-2000 antara lain.

a. Mengukur berat benda uji dalam keadaan kering oven (Mk)
b. Merendam benda uji dalam air selama umur rencana yang ditentukan (28 hari).
c. Mengukur berat benda uji setelah direndam (Mb)
d. Menghitung nilai absorpsi dengan rumus:

   Absorpsi $= (\frac{Mb-Mk}{Mk})$ x 100% (4.2)

   Keterangan:

   Mb = Berat benda uji setelah perendaman

   Mk = Berat benda uji dalam keadaan kering
e. Melakukan klasifikasi nilai absorpsi yang sudah di uji.

Tabel 4. 3 Klasifikasi Nilai Absorpsi Beton

Kategori	Angka
Absorpsi Rendah	< 3%
Absorpsi Sedang	3% - 5%
Absorpsi Tinggi	> 5%

Sumber: SNI 03-6433-2000

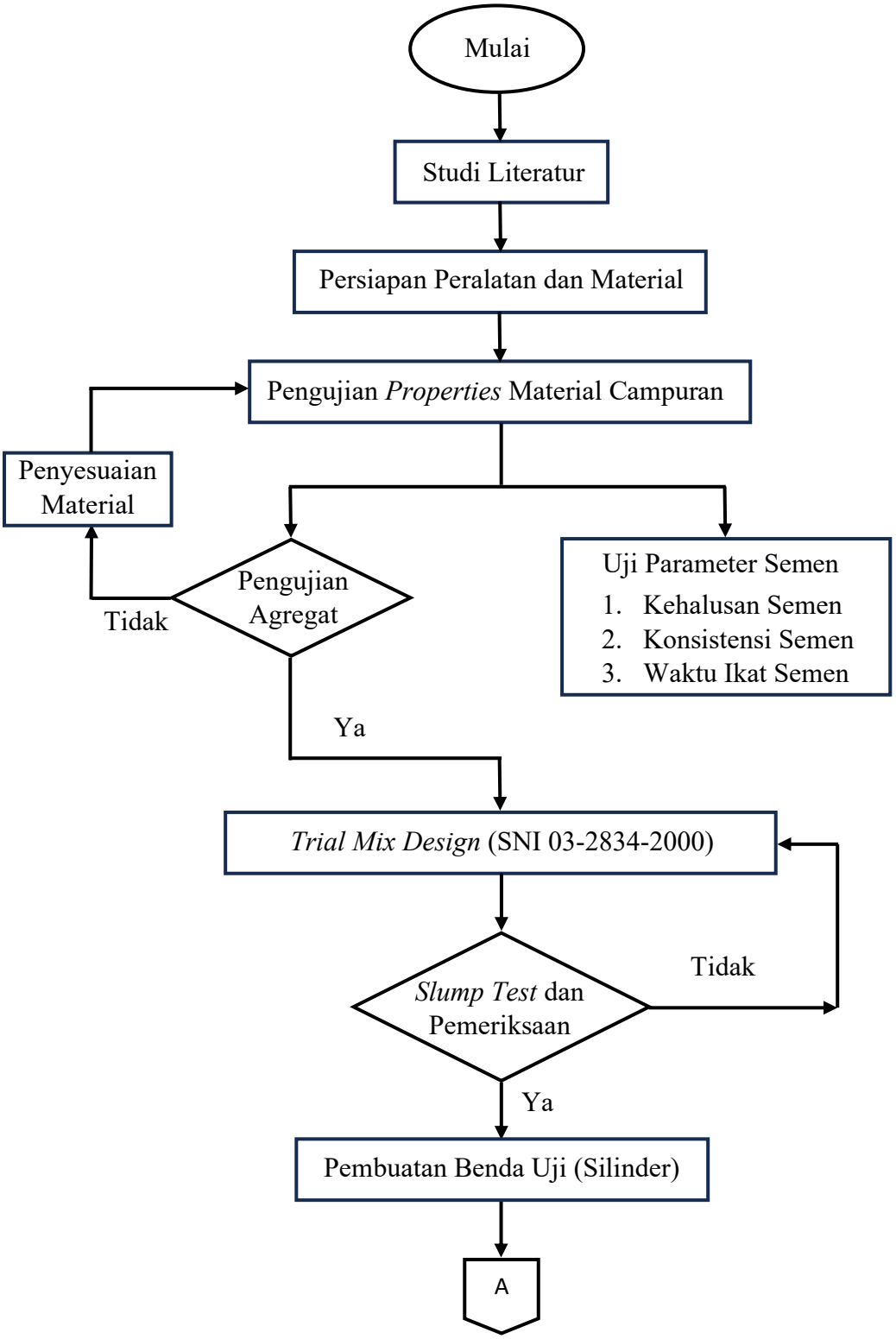
4.5.11 Olah Data

Olah data hasil pengujian merupakan tahap penting dalam metode penelitian yang bertujuan untuk mengolah, menganalisis data yang telah diperoleh dari pengujian beton, dalam hal ini pengujian kuat tekan dan absorpsi/penyerapan beton.

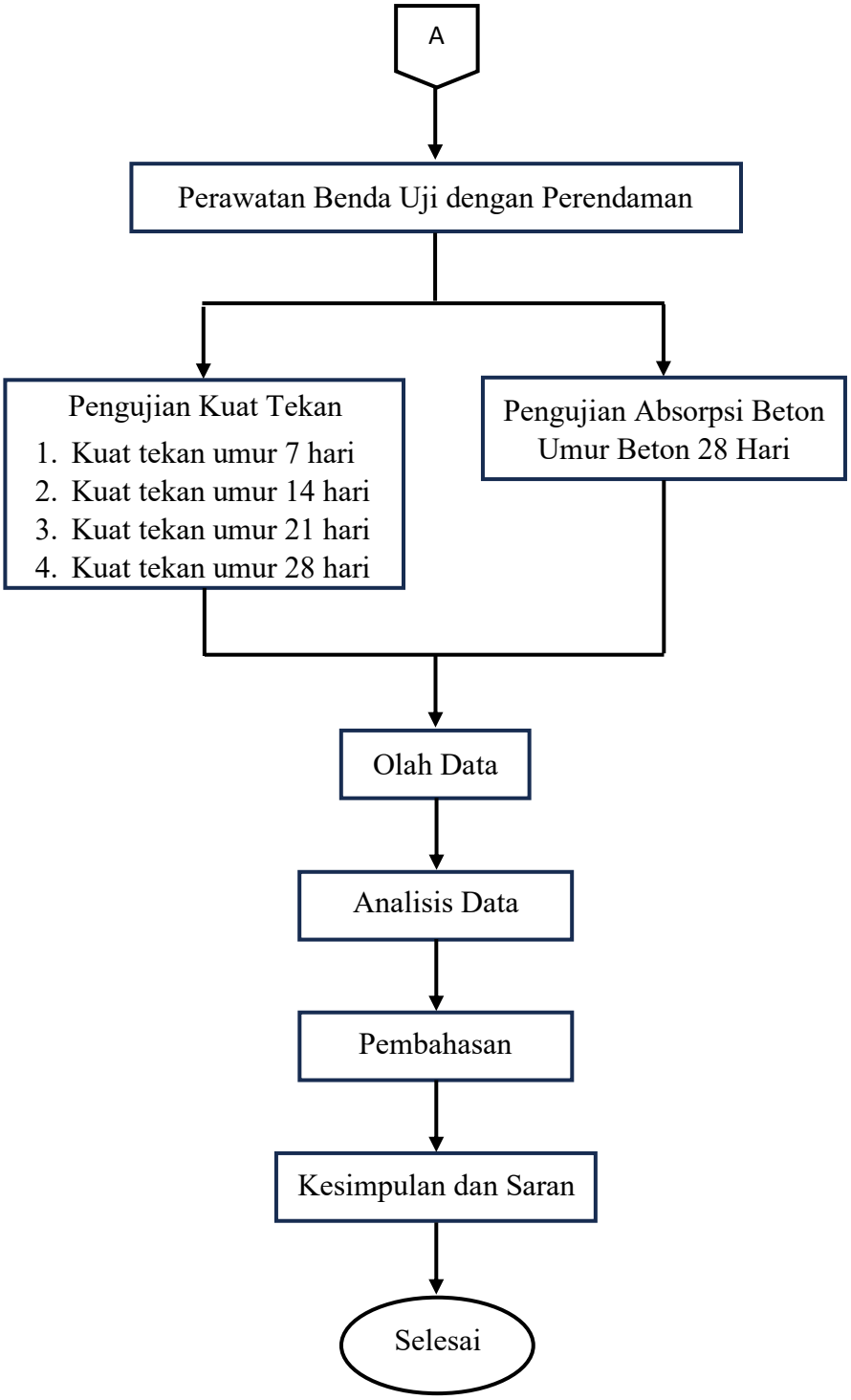
Proses olah data dimulai dengan pengumpulan dan pencatatan hasil pengujian dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah analisis. Selanjutnya, dilakukan perbandingan hasil pengujian dengan standar mutu yang berlaku untuk menentukan apakah beton sudah memenuhi spesifikasi, sehingga hasil penelitian menjadi valid dan dapat dipertanggungjawabkan.

4.6 Bagan Alir

Untuk menunjang penelitian ini agar lebih terarah serta dilaksanakan dalam sistematis yang jelas, sehingga diperlukan pembuatan bagan alir *(flowchart)* berikut ini adalah bagan alir pelaksanaan penelitian dilihat pada Gambar 4. 15.



Gambar 4. 15 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.15 Diagram Alir Peneliti

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Tinjauan umum perlu dilakukan sebagai langkah awal untuk memberikan gambran menyeluruh mengenai konsep dasar dan karakteristik beton serta produk semen yang digunakan dalam campuran beton. Dengan memahami tinjauan umum ini, peneliti dapat mengetahui faktor – faktor yang mempengaruhi sifat fisik dan mekanik beton, khususnya kuat kuat tekan dan absorpsi yang berkaitan erat dengan laju umur beton. Selain itu, tinjauan umum juga membantu memperjelas konteks penelitian dengan menguraikan peran semen sebagai bahan pengikat utama dalam beton dan bagaimana penggunaan berbagai merek semen yang berbeda dapat mempengaruhi performa beton dari segi kekuatan desak, dan absorpsi beton. Dengan demikian, tinjauan umum menjadi dasar penting dalam menyusun kerangka pemikiran dan landasan teori yang mendukung analisis pengaruh penggunaan produk semen terhadap kualitas beton, sehingga penelitian dapat dilakukan secara sistematis dan terarah.

5.2 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

Hasil pengujian bahan penyusun beton sangat penting dilakukan untuk menganalisis dan memahami bagaimana karakteristik bahan – bahan tersebut, khususnya produk semen mempengaruhi sifat fisik dan mekanik beton seperti kuat tekan dan absorpsi beton. Dengan membahas hasil pengujian bahan penyusun beton, peneliti dapat mengevaluasi kualitas bahan penyusun beton dan mengidentifikasi faktor – faktor yang berkontribusi terhadap laju umur beton. Hal ini juga memungkinkan untuk menghubungkan data empiris dengan teori – teori yang ada serta standar yang berlaku, sehingga dapat memberikan penjelasan ilmiah mengenai pengaruh penggunaan produk semen terhadap kualitas beton. Selain itu, pembahasan ini menjadi dasar untuk menarik kesimpulan yang valid, dan

memberikan rekomendasi teknis dalam penggunaan produk semen guna meningkatkan durabilitas dan kekuatan beton normal sesuai dengan tujuan penelitian.

5.2.1 Agregat Halus

Pengujian terhadap agregat halus mencakup beberapa parameter, diantaranya berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, berat volume padat dan gembur, serta pengujian kadar lumpur agregat halus melalui saringan no. 200. Berikut adalah hasil-hasil pengujian pada agregat halus.

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

   Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam agregat halus/ pasir. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus/ pasir yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm), hasil pengujian ini dapat digunakan dalam pengerjaan perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton, dan lain sebagainya. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus ini berdasarkan SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus, 2008. Berikut ini hasil dari perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus yang telah dilakukan pengujian di laboratorium, dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

   a. Berat Jenis Curah $= \frac{Bk}{B + 500 - Bt}$

      $= \frac{493}{658 + 500 - 969}$

      = 2,606 gram

   b. Berat Jenis Kering Permukaan $= \frac{500}{B + 500 - Bt}$

      $= \frac{500}{658 + 500 - 969}$

      = 2,646 gram

   c. Berat Jenis Semu $= \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$

      $= \frac{493}{658 + 493 - 969}$

      = 2,714 gram

d. Penyerapan Air $= \frac{500 - Bk}{Bk}$ x 100%

$= \frac{500 - 493}{493}$ x 100%

= 1,525 %

Tabel 5. 1 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata - rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak (Bk), gr	490	495	493
Berat kondisi jenuh kering muka (SSD), gr	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt), gr	967	971	969
Berat piknometer berisi air (B), gr	657	659	658
Berat jenis curah	2,579	2,633	2,606
Berat jenis SSD	2,632	2,660	2,646
Berat jenis semu	2,722	2,705	2,714
Penyerapan air	2,041 %	1,010 %	1,525 %

Dari hasil analisis serta pengujian di laboratorium, didapatkan nilai rata – rata dari berat jenis curah, berat jenis kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air berturut – turut sebesar 2,606 gram, 2,646 gram, 2,714 gram, dan 1,525 %. Maka dari itu berdasarkan hasil tersebut dapat diinterpretasi sebagai berikut.

a. Nilai penyerapan air rata – rata didapatkan sebesar 1,525 %, hal ini menunjukkan bahwa penyerapan sudah sesuai dengan standar SNI seperti 03-2834-2000 yaitu nilai penyerapan harus ≤ 2,5%.
b. Nilai berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) didapatkan sebesar 2,646 gram, hal ini menunjukkan bahwa nilai SSD agregat halus yang di uji masih berada dalam nilai normal yaitu (2,4 – 2,7) berdasarkan Tjokrodimuljo, (2007).

Dari interpretasi kedua penjelasan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang diuji termasuk kedalam kategori berat jenis agregat normal.

2. Analisis Saringan Agregat Halus

Pengujian ini digunakan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan saringan. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus/ pasir dan sejenisnya yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm), hasil pengujian ini dapat digunakan dalam pengerjaan perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton, dan lain sebagainya. Proses pengujian analisis saringan agregat halus ini menggunakan benda uji seberat 2000 gram. Serta satu set saringan: 9,5 mm (3/8") – pan saringan. Berikut ini hasil dari perhitungan analisis saringan pada agregat halus yang telah dilakukan pengujian di laboratorium.

a. Berat Tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ tertinggal\ (gr)}{\sum berat\ tertinggal}\ x\ 100\%$

Saringan ukuran 4,75 mm $= \frac{0}{2000}\ x\ 100\%$

$= 0\%$

Saringan ukuran 2,36 mm $= \frac{135}{2000}\ x\ 100\%$

$= 6{,}750\%$

Saringan ukuran 1,18 mm $= \frac{310}{2000}\ x\ 100\%$

$= 15{,}500\%$

Saringan ukuran 0,60 mm $= \frac{550}{2000}\ x\ 100\%$

$= 27{,}500\%$

Saringan ukuran 0,30 mm $= \frac{462}{2000}\ x\ 100\%$

$= 23{,}100\%$

Saringan ukuran 0,15 mm $= \frac{380}{2000}\ x\ 100\%$

$= 19{,}0\%$

Pan saringan $= \frac{163}{2000}\ x\ 100\%$

$= 8{,}150\%$

b. Berat Tertinggal Kumulatif

Persentase berat tertinggal kumulatif

= beart tertinggal kumulatif (i) + berat tertinggal (i)

Saringan ukuran 4,75 mm = 0 + 0

= 0%

Saringan ukuran 2,36 mm = 0 + 6,700

= 6,700%

Saringan ukuran 1,18 mm = 6,600% + 15,500%

= 22,250%

Saringan ukuran 0,60 mm = 22,250% + 27,50%

= 49,750%

Saringan ukuran 0,30 mm = 49,750% + 23,100%

= 72,850%

Saringan ukuran 0,15 mm = 72,850% + 19,000%

= 91,850%

Pan saringan = 91,850% + 8,150%

= 100%

c. Persen Lolos Kumulatif

Persentase berat tertinggal kumulatif

$= \sum berat\ tertinggal - berat\ tertinggal\ kumulatif\ (i)$

Saringan ukuran 4,75 mm = 100% – 0%

= 100%

Saringan ukuran 2,36 mm = 100% – 6,750%

= 93,250%

Saringan ukuran 1,18 mm = 100% – 22,250%

= 77,750%

Saringan ukuran 0,60 mm = 100% – 49,750%

= 50,250%

Saringan ukuran 0,30 mm = 100% – 72,850%
= 27,150%
Saringan ukuran 0,15 mm = 100% – 91,850%
= 8,150%
Pan saringan = 100% – 100%
= 0%

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil perhitungan yang telah di rekapitulasi dalam bentuk tabel menggunakan perhitungan pemrograman excel di laptop. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi analisis saringan agregat halus yang tercantum dalam Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Analisis Saringan Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
4,75	0	0,000	0,000	100,000
2,36	135	6,750	6,750	93,250
1,18	310	15,500	22,250	77,750
0,60	550	27,500	49,750	50,250
0,30	462	23,100	72,850	27,150
0,15	380	19,000	91,850	8,150
Pan	163	8,150	100,000	0,000
Jumlah	2000	100,000	243,450	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

MHB $= \frac{\sum Persentase\ berat\ tertinggal\ kumulatif}{100}$

$= \frac{243,450}{100}$

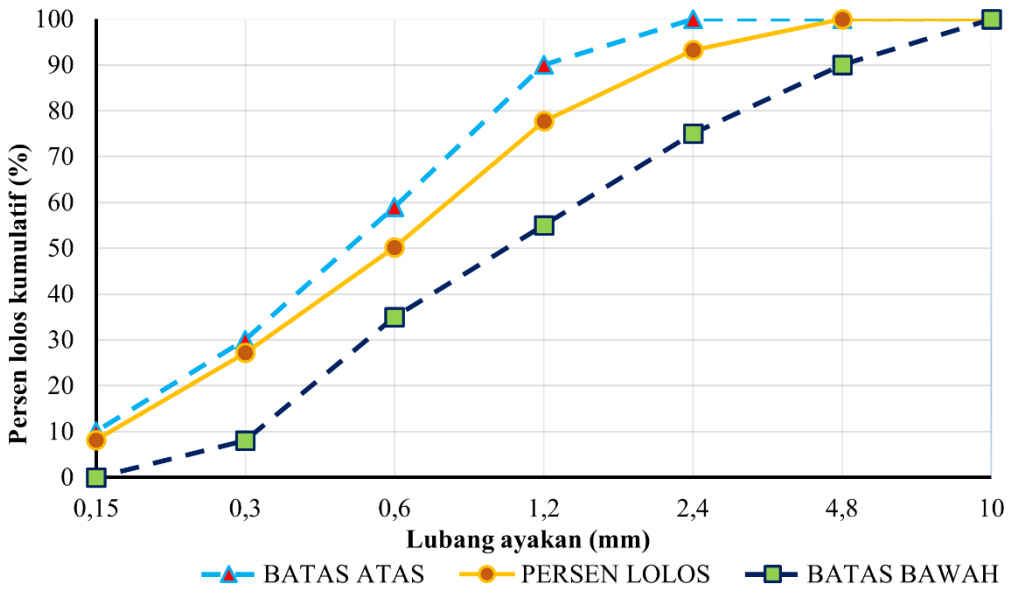
= 2,435

Berdasarkan perhitungan modulus halus butir (MHB) yang telah dihitung yaitu sebesar 2,435, didapatkan bahwa nilai modulus halus butir agregat halus yang telah diuji sudah sesuai dengan SNI 03-1968-1990 yaitu dalam rentang 1,50 – 3,80, termasuk dalam gradasi 2 yaitu kategori pasir sedang. Penentuan gradasi agregat halus ini dapat dilihat pada Tabel 5.3 serta grafik Gambar 5.1 berikut ini.

Tabel 5. 3 Batas Daerah Batas – Batas Besar Butir Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Persen butir agregat lolos ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50

Sumber: SNI 2834 (2000)



Gambar 5. 1 Grafik Batas Gradasi pasir (sedang) No. 2

3. Berat Volume Padat dan Gembur

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat volume padat dan gembur agregat halus. Berat volume padat merupakan nilai indek dari massa agregat per-satuan volume dalam kondisi padat. Berat volume gembur adalah nilai indek dari massa agregat per-satuan volume dalam kondisi tidak padat/ gembur. Pengujian ini dilakukan supaya mempermudah perhitungan kebutuhan agregat dalam campuran beton, terutama jika pengukuran dilakukan berdasarkan volume. Selain itu pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besaranya rongga udara diantara butir – butir agregat yang mempengaruhi proporsi air dan semen dalam campuran beton serta kepadatan dan kekuatan beton yang dihasilkan. Acuan pengujian berat volume padat dan gembur ini berdasarkan (SNI 03-4804-1998 - Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat, 1998). Berikut ini hasil dari perhitungan berat volume padat dan gembur pada agregat halus yang telah dilakukan pengujian di laboratorium, dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut ini.

a. Berat volume padat

Berat Tabung (W1)	= 5215 gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	= 8144 gram
Berat Agregat (W3)	= 8144 – 5215
	= 2929 gram
Diameter (d)	= 10,400 cm
Tinggi (t)	= 19,900 cm
Volume (V)	$= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$
	$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10{,}4^2 \times 19{,}9$
	= 1690,471 cm^3
Berat volume gembur	$= \frac{Berat\ Agregat}{Volume}$
	$= \frac{2929\ gram}{1690{,}471\ cm3}$
	= 1,733 gram/ cm^3

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Uji Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W1), gr	5254	5176	5215
Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gr	8230	8058	8144
Berat agregat (W3), gr	2976	2882	2929
Diameter tabung (d), cm	10,500	10,300	10,400
Tinggi tabung (t), cn	19,800	20,000	19,900
Volume tabung (V), cm^3	1714,485	1666,458	1690,471
Berat volume padat, gr/cm^3	1,736	1,729	1,733

b. Berat volume gembur

Berat Tabung (W1) = 5215 gram

Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) = 7666 gram

Berat Agregat (W3) = 7666 – 5215

= 2451 gram

Diameter (d) = 10,400 cm

Tinggi (T) = 19,900 cm

Volume (V) $= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10{,}4^2 \times 19{,}9$

$= 1690{,}471\ cm^3$

Berat volume gembur $= \frac{Berat\ Agregat}{Volume}$

$= \frac{2451\ gram}{1690{,}471\ cm3}$

$= 1{,}450\ gram/\ cm^3$

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Uji Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W1), gr	5254	5176	5215
Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gr	7703	7629	7666
Berat agregat (W3), gr	2449	2453	2451
Diameter tabung (d), cm	10,500	10,300	10,400
Tinggi tabung (t), cn	19,800	20,000	19,900
Volume tabung (V), cm^3	1714,485	1666,458	1690,471
Berat volume padat, gr/cm^3	1,428	1,472	1,450

Berdasarkan perhitungan berat volume padat dan gembur yang telah dihitung didapatkan untuk nilai volume padat agregat halus sebesar 1,733 gram/ cm^3, dan untuk nilai volume gembur agregat halus sebesar 1,450 gram/ cm^3. Nilai volume padat dan gembur agregat halus yang telah diuji sudah sesuai dengan SNI 03-4840-1998 yaitu dalam rentang 1,4 gram/ cm^3 – 1,9 gram/ cm^3.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan persentase kandungan lumpur dalam pasir sebagai syarat untuk bahan konstruksi. Selain itu tujuan dilakukan pengujian lolos saringan No. 200 adalah untuk memastikan agregat memenuhi standar kualitas, Dimana kadar maksimum bahan yang lolos saringan No.200 untuk agregat halus adalah maksimum 5%. Pengujian ini mengacu pada SNI-03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 Mm). Berikut ini hasil dari perhitungan pengujian lolos saringan No. 200 pada agregat halus yang telah dilakukan pengujian di laboratorium, dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Berat agregat kering oven (W1) = 500 gram

Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2) = 478,500 gram

Berat lolos saringan No.200 $= \frac{W1-W2}{W1} \times 100\%$

$= \frac{500-478,5}{500} \times 100\%$

$= 4,30\%$

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Uji Lolos Saringan No. 200

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gr	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah di cuci (W2), gr	474	483	478,50
Berat yang lolos ayakan No. 200	5,20%	3,40%	4,30%

Berdasarkan perhitungan lolos saringan No. 200 yang telah dihitung didapatkan sebesar 4,30%. Nilai lolos saringan No.200 agregat halus yang telah diuji sudah sesuai dengan SNI 03-4142-1996 yaitu dalam rentang (<5%) / maksimum 5%.

5.2.2 Agregat Kasar

Pengujian terhadap agregat kasar mencakup beberapa parameter, diantaranya berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, serta berat volume padat dan gembur. Berikut adalah hasil-hasil pengujian pada agregat kasar.

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

   Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam agregat halus/pasir. Pengujian ini dilakukan pada agregat kasar yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm), hasil pengujian ini dapat digunakan dalam pengerjaan perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton, dan lain sebagainya. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus ini berdasarkan SNI 1969:2008 - Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Berikut ini hasil dari perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus yang telah dilakukan pengujian di laboratorium, dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

   a. Berat Jenis Curah $= \frac{Bk}{Bj - Ba}$

   $= \frac{4869}{5000 - 3353{,}250}$

   = 2,961 gram

b. Berat Jenis Kering Permukaan $= \frac{Bj}{Bj - Ba}$

$= \frac{5000}{5000 - 3353{,}250}$

= 3,040 gram

c. Berat Jenis Semu $= \frac{Bk}{Bk - Ba}$

$= \frac{4869}{4869 - 3353{,}250}$

= 3,213 gram

d. Penyerapan Air $= \frac{Bj - Bk}{Bk}$ x 100%

$= \frac{5000 - 4869}{4869}$ x 100%

= 2,70 %

Tabel 5. 7 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata - rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat kerikil kering mutlak (Bk), gr	4826	4912	4869
Berat kondisi jenuh kering muka (Bj), gr	5000	5000	5000
Berat keranjang berisi kerikil dalam air (Ba), gr	3299	3408	3353,250
Berat jenis curah	2,836	3,085	2,961
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,939	3,141	3,040
Berat jenis semu	3,159	3,266	3,213
Penyerapan air	3,605%	1,792%	2,699%

Dari hasil analisis serta pengujian di laboratorium, didapatkan nilai rata – rata dari berat jenis curah, berat jenis kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air berturut – turut sebesar 2,961 gram, 3,040 gram, 3,213 gram, dan 2,699 %. Maka dari itu berdasarkan hasil tersebut dapat diinterpretasi sebagai berikut.

a. Nilai penyerapan air rata – rata didapatkan sebesar 2,699 %, hal ini menunjukkan bahwa penyerapan sudah sesuai dengan standar SNI 03-1969-1990 yaitu berkisar .

Dari interpretasi kedua penjelasan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang diuji termasuk kedalam kategori berat jenis agregat normal.

2. Analisis Saringan Agregat Kasar

Pengujian ini digunakan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan saringan. Pengujian ini dilakukan pada agregat kasar yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm), hasil pengujian ini dapat digunakan dalam pengerjaan perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton, dan lain sebagainya. Proses pengujian analisis saringan agregat halus ini menggunakan benda uji seberat 2000 gram. Serta satu set saringan: 38,1 mm ($1\frac{1}{2}$") – pan saringan. Berikut ini hasil dari perhitungan analisis saringan pada agregat kasar yang telah dilakukan pengujian di laboratorium.

a. Berat Tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ tertinggal\ (gr)}{\sum berat\ tertinggal}\ x\ 100\%$

Saringan ukuran 38,1 mm $= \frac{0}{5000}\ x\ 100\%$

$= 0\%$

Saringan ukuran 19 mm $= \frac{28}{5000}\ x\ 100\%$

$= 0{,}560\%$

Saringan ukuran 9,5 mm $= \frac{1350}{5000}\ x\ 100\%$

$= 27\%$

Saringan ukuran 4,75 mm $= \frac{3211}{5000}\ x\ 100\%$

$= 64{,}220\%$

Saringan ukuran 2,36 mm $= \frac{326}{5000}\ x\ 100\%$

$= 6{,}520\%$

Saringan ukuran 1,18 mm $= \frac{40}{5000}\ x\ 100\%$

$= 0{,}800\%$

Pan saringan $= \frac{45}{5000}\ x\ 100\%$

$= 0{,}900\%$

b. Berat Tertinggal Kumulatif

Persentase berat tertinggal kumulatif

= beart tertinggal kumulatif (i) + berat tertinggal (i)

Saringan ukuran 38,1 mm = 0 + 0

= 0%

Saringan ukuran 19 mm = 0 + 0,560

= 0,560%

Saringan ukuran 9,5 mm = 0,560% + 27%

= 27,560%

Saringan ukuran 4,75 mm = 27,560% + 64,220%

= 91,780%

Saringan ukuran 2,36 mm = 91,780% + 6,520%

= 98,300%

Saringan ukuran 1,18 mm = 98,300% + 0,800%

= 99,100%

Pan saringan = 99,100% + 0,900%

= 100%

c. Persen Lolos Kumulatif

Persentase berat tertinggal kumulatif

$= \sum berat\ tertinggal - berat\ tertinggal\ kumulatif\ (i)$

Saringan ukuran 38,1 mm = 100% – 0%

= 100%

Saringan ukuran 19 mm = 100% – 0,560%

= 99,440%

Saringan ukuran 9,5 mm = 100% – 27,560%

= 72,440%

Saringan ukuran 4,75 mm = 100% – 91,780%

= 8,220%

Saringan ukuran 2,36 mm = 100% – 98,300%
= 1,700%
Saringan ukuran 1,18 mm = 100% – 99,100%
= 0,900%
Pan saringan = 100% – 100%
= 0%

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil perhitungan yang telah di rekapitulasi dalam bentuk tabel menggunakan perhitungan pemrograman excel di laptop. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi analisis saringan agregat halus yang tercantum dalam Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Analisis Saringan Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
38,1	0,000	0,000	0,000	100
19	28	0,560	0,560	99,440
9,5	1350	27,000	27,560	72,440
4,75	3211	64,220	91,780	8,220
2,36	326	6,520	98,300	1,700
1,18	40	0,800	99,100	0,900
Pan	45	0,900	100	0,000
Jumlah	5000	100	614,600	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum Persentase\ berat\ tertinggal\ kumulatif}{100}$$
$$= \frac{614{,}600}{100}$$
$$= 6{,}146$$

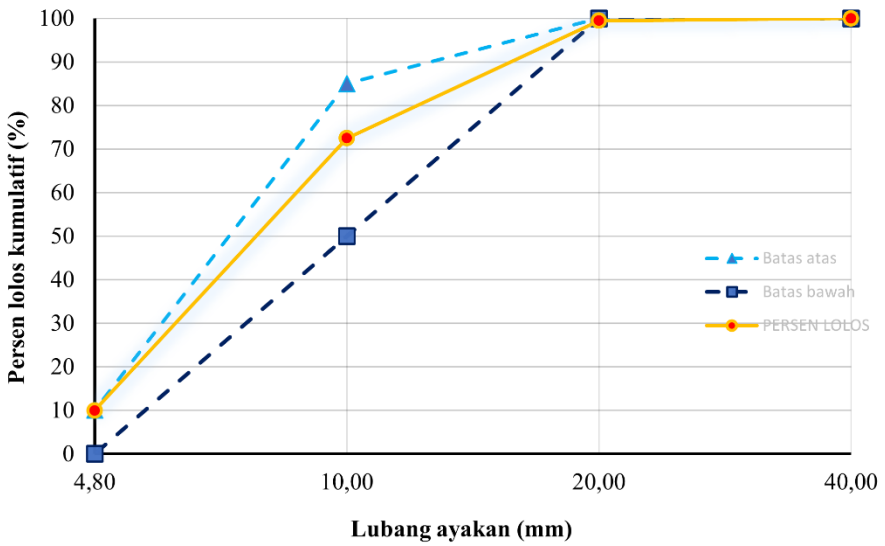
Berdasarkan perhitungan modulus halus butir (MHB) yang telah dihitung yaitu sebesar 6,146, didapatkan bahwa nilai modulus halus butir agregat kasar

yang telah diuji sudah sesuai dengan SNI 03-1968-1990 yaitu dalam rentang 5 – 8, termasuk dalam persen butir agregat lolos ayakan 10 mm. Penentuan gradasi agregat kasar ini dapat dilihat pada Tabel 5.9 serta grafik Gambar 5.2 berikut ini.

Tabel 5. 9 Batas Sususan Besar Butir Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Persen butir agregat lolos ayakan / besar butiran maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
10	10 – 35	25 – 55	50 – 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

Sumber: SNI 2834 (2000)



Gambar 5. 2 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 10 mm

3. Berat volume padat dan gembur

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat volume padat dan gembur agregat kasar. Berat volume padat merupakan nilai indek dari massa agregat per-satuan volume dalam kondisi padat. Berat volume gembur adalah nilai

indek dari massa agregat per-satuan volume dalam kondisi tidak padat/ gembur. Pengujian ini dilakukan supaya mempermudah perhitungan kebutuhan agregat dalam campuran beton, terutama jika pengukuran dilakukan berdasarkan volume. Selain itu pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya rongga udara diantara butir – butir agregat yang mempengaruhi proporsi air dan semen dalam campuran beton serta kepadatan dan kekuatan beton yang dihasilkan. Acuan pengujian berat volume padat dan gembur ini berdasarkan (SNI 03-4804-1998 - Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat, 1998). Berikut ini hasil dari perhitungan berat volume padat dan gembur pada agregat kasar yang telah dilakukan pengujian di laboratorium, dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut ini.

a. Berat volume padat

Berat Tabung (W1)	= 5215 gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	= 7841 gram
Berat Agregat (W3)	= 7841 – 5215
	= 2626 gram
Diameter (d)	= 10,400 cm
Tinggi (t)	= 19,900 cm
Volume (V)	$= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$
	$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10{,}4^2 \times 19{,}9$
	= 1690,471 cm^3
Berat volume gembur	$= \frac{Berat\ Agregat}{Volume}$
	$= \frac{2626\ gram}{1690{,}471\ cm3}$
	= 1,553 gram/ cm^3

Tabel 5.10 Rekapitulasi Uji Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W1), gr	5254,000	5176,000	5215,000
Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gr	7940,000	7742,000	7841,000
Berat agregat (W3), gr	2686,000	2566,000	2626,000
Diameter tabung (d), cm	10,500	10,300	10,400
Tinggi tabung (t), cn	19,800	20,000	19,900
Volume tabung (V), cm^3	1714,485	1666,458	1690,471
Berat volume padat, gr/cm^3	1,567	1,540	1,553

b. Berat volume gembur

Berat Tabung (W1) = 5215 gram

Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) = 7500 gram

Berat Agregat (W3) = 7500 – 5215

= 2285,500 gram

Diameter (d) = 10,400 cm

Tinggi (t) = 19,900 cm

Volume (V) $= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10{,}4^2 \times 19{,}9$

$= 1690{,}471\ cm^3$

Berat volume gembur $= \frac{Berat\ Agregat}{Volume}$

$= \frac{2285{,}500\ gram}{1690{,}471\ cm3}$

$= 1{,}352\ gram/\ cm^3$

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Uji Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W1), gr	5254,000	5176,000	5215,000
Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gr	7554,000	7447,000	7500,500
Berat agregat (W3), gr	2300,000	2271,000	2285,500
Diameter tabung (d), cm	10,500	10,300	10,400
Tinggi tabung (t), cn	19,800	20,000	19,900
Volume tabung (V), cm^3	1714,485	1666,458	1690,471
Berat volume padat, gr/cm^3	1,342	1,363	1,352

Berdasarkan perhitungan berat volume padat dan gembur yang telah dihitung didapatkan untuk nilai volume padat agregat halus sebesar 1,553 gram/ cm^3, dan untuk nilai volume gembur agregat halus sebesar 1,352 gram/ cm^3. Nilai volume padat dan gembur agregat halus yang telah diuji sudah sesuai dengan SNI 03-4840-1998 yaitu dalam rentang 1,39 gram/ cm^3 – 1,69 gram/ cm^3.

5.3 *Mix Design* (Perencanaan Campuran Beton)

Perhitungan *mix design* (perencanaan campuran beton) mengacu kepada SNI 2847 – 2000. Berikut ini adalah tahapan perhitungan perencanaan campuran beton.

1. Menetapkan kuat tekan beton (f'c) pada umur beton 28 hari

   Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah sebesar 25 MPa.

2. Menetapkan nilai deviasi standar (S)

   Pengambilan nilai deviasi standar didapatkan berdasarkan acuan SNI – 03 – 2834 – 2000. Berikut ini adalah Tabel 5.12 tentang nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan.

Tabel 5. 12 Nilai Deviasi Standar Untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

(sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari tabel tersebut, karena pengujian yang akan dilakukan oleh mahasiswa masih dalam kategori amatir atau pemula maka nilai deviasi standar yang diambil adalah tingkat pengendalian mutu pekerjaan "jelek" dengan Sd 7,0 Mpa.

3. Menghitung Nilai Tambah (M)

   M = 1,64 x Sd

   M = 1,64 x 7,0

   M = 11,48 MPa ≈ 12 MPa

4. Menghitung Kuat Tekan Rata – Rata yang Ditargetkan (f'cr)

   f'cr = f'c + M

   = 25 + 12

   = 37 Mpa

5. Faktor Kekuatan Tekan (MPa) beton dengan faktor air semen 0,5

   Faktor ini diambil berdasarkan acuan SNI 03-2834-2000. Semen yang akan digunakan adalah semen portland tipe 1/ OPC, jenis agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah, kuat tekan yang ditargetkan (f'cr) sebesar 37 MPa. Berdasarkan data tersebut, maka dapat menentukan perkiraan kuat tekan beton dengan faktor air semen 0,5 pada Tabel 5.13 dibawah ini.

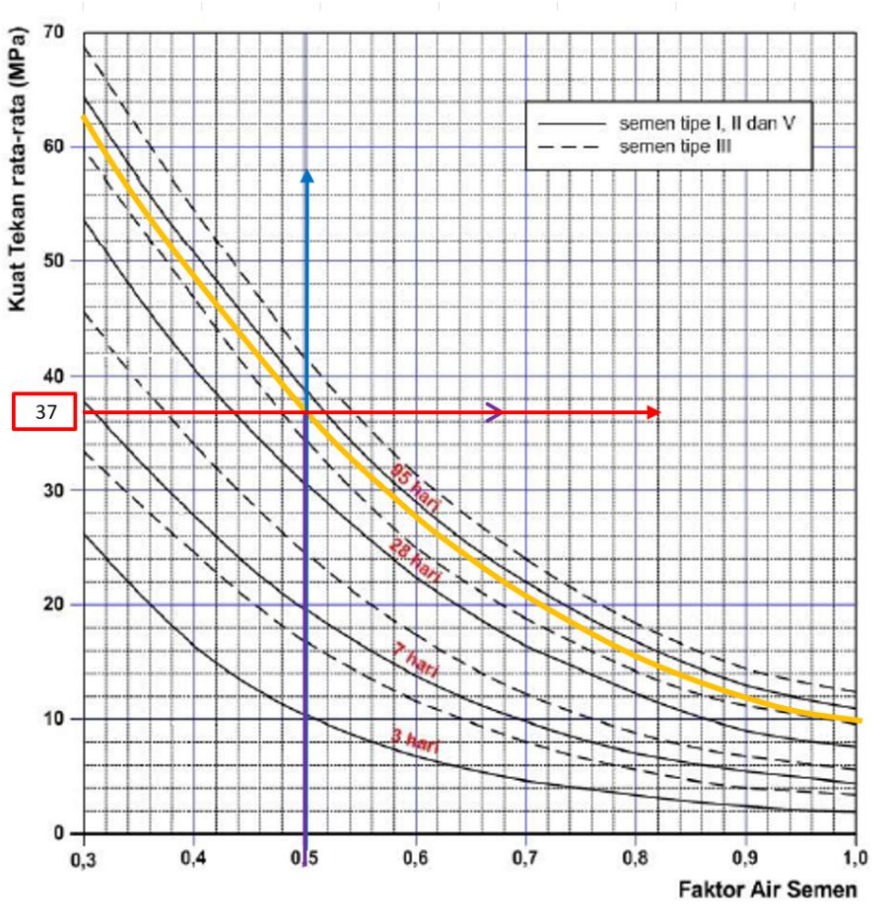
Tabel 5. 13 Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) dengan fas = 0,5

Jenis semen	Jenis agregat kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk benda uji
		3	7	28	91	
Semen portland tipe I	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen portland tipe II dan V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen portland tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

6. Menentukan Faktor Air Semen dengan Menggunakan data f'cr dan Tabel 5.13.
   a. Tarik garis secara vertikal ke arah atas melalui faktor air semen (fas) = 0,5 sampai memotong kurva yang melebihi kuat tekan yang di dapat pada Tabel 5.13.
   b. Tarik secara horizontal nilai kuat tekan yang di dapat pada Tabel 5.13 ke arah kanan sampai berpotongan dengan garis vertikal yang sudah dibuat pada point a.
   c. Setelah berpotongan kemudian, buat garis parabola (curva) di tempat titik pertemuan antara point a dan b.
   d. Setelah didapatkan garis parabola (curva) yang baru, kemudian gunakan kuat tekan silinder yang direncanakan yaitu f'cr = 37 MPa.
   e. Kemudian, tarik secara horizontal dari f'cr sampai menyentuh parabola (curva) yang baru.
   f. Lalu, tarik ke bawah secara tegak lurus sampai menyentuh nilai fas dan kemudian dibaca nilai fas yang akan dicari.

   Berikut ini adalah Gambar 5.3 yang menentukan faktor air semen (fas) bebas yang akan digunakan.



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)
(benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Gambar 5. 3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) (Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm)

7. Faktor Air Semen Maksimum dan Jumlah Semen Minimum

   Dalam menentukan faktor air semen maksimum dan jumlah semen minimum tercantum pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

Tabel 5. 14 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Lokasi		Jumlah semen minimum per m^3 beton (kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan	Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
	Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan	Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
	terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah	Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
	Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang kontinu berhubungan	Air tawar		
	Air laut		

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Berdasarkan Tabel 5.14 diatas, lokasi pembuatan beton yang akan dilakukan berada pada luar ruang bangunan dengan keadaan terlindung dari hujan dan terik matahari langsung. Maka dari itu, didapatkan jumlah semen minimum sebesar 275 kg dan faktor air semen (fas) maksimum sebesar 0,60.

8. Nilai *Slump*

   Nilai *slump* yang ditentukan adalah sebesar 60 – 180 mm. Nilai slump 60 – 180 mm diambil karena rentang nilai tersebut dianggap ideal untuk menghasilkan beton dengan tingkat *workability* yang baik, sehingga beton memiliki tingkat keenceran yang cukup tanpa mengorbankan kekuatan tekan secara signifikan, dapat menghasilkan beton dengan tingkat *workability* yang baik, sehingga beton mudah dituangkan, dipadatkan, serta diratakan pada saat pengerjaan.

9. Nilai Kadar Air Bebas

Dari perhitungan *properties* agregat kasar yang telah dilakukan di laboratorium, didapatkan ukuran maksimum agregat sebesar 10 mm. Maka nilai kadar air bebas dapat dicari dengan Tabel 5.15 dibawah ini.

Tabel 5. 15 Perkiraan Kebutuhan Air Per-Meter Kubik Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	**Jenis Batuan**	***Slump* (mm)**			
		0 – 10	**10 – 30**	**30 – 60**	**60 – 180**
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Dari Tabel 5.15 maka didapatkan batu tak dipecahkan/ agregat halus (Wh) sebesar 225 mm, dan batu pecah/ agregat kasar (Wk) sebesar 250 mm. Maka nilai kadar air bebas didapatkan sebagai berikut.

Wh (batu tak dipecahkan/ agregat halus) = 225 mm

Wk (batu pecah/ agregat kasar) = 250 mm

W (kadar air bebas) $= \frac{2}{3}.\text{Wh} + \frac{1}{3}.\text{Wk}$

$= \frac{2}{3} . 225\ \text{mm} + \frac{1}{3} . 250\ \text{mm}$

W $= 233{,}333\ \text{kg/m}^3$.

Maka, didapatkan nilai kadar air bebas sebesar 233,333 kg/m^3.

10. Kebutuhan Semen

Jumlah kebutuhan semen dihitung berdasarkan persamaan pada SNI 2834 – 2000.

Wsemen $= \frac{Wair}{fas}$

$= \frac{233{,}333}{0{,}5}$

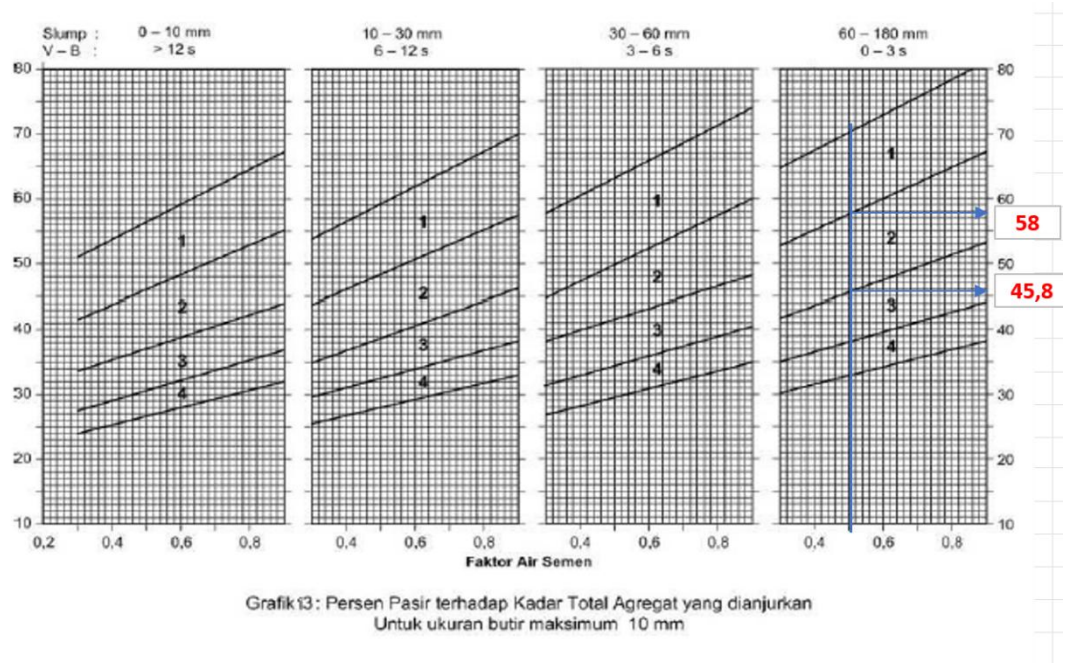
$= 466{,}667$ kg/m^3.

11. Persentase Agregat Halus dan Agregat Kasar

Berikut ini adalah langkah - langkah yang dilakukan untuk menentukan persentase agregat halus.

a. Persen agregat halus dicari menggunakan Gambar 5.4 grafik 13, karena ukuran agregat maksimum didadapatkan sebesar 10 mm.
b. Kemudian berdasarkan nilai Slump yang telah ditentukan adalah sebesar (60 – 180 mm), maka digunakan grafik ke-4 pada grafik 13.
c. Lalu, Tarik garis secara vertikal ke arah atas dari nilai faktor air semen (fas) yang telah ditentukan sebelumnya hingga memotong dua buah kurva daerah gradasi 2. Garis kurva atas menunjukkan batas atas dan garis kurva bawah menunjukkan batas bawah.
d. Setelah itu, tarik garis horizontal ke kanan dari kedua buah kurva tersebut.
e. Kemudian ambil persen rerata dari nilai batas atas dan batas bawah. Sehingga di daptkan persen agregat halus rata – rata.

Dibawah ini adalah Gambar 5.4 yang telah diarsir batas atas dan batas bawahnya.



Gambar 5. 4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm
(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Perhitungan nilai persentase agregat halus dan agregat kasar

$$\% \text{ Agregat Halus (AH)} = \frac{58+45,8}{2}$$

$$= 51,90\ \%$$

$$\% \text{ Agregat Kasar (AK)} = 100\% - \%AH$$

$$= 100\% - 51,90\%$$

$$= 48,10\%$$

12. Berat Jenis Agregat Gabungan

Dengan diketahui:

Bj Agregat Halus = 2,65 (hasil pengujian properties agregat)

Bj Agregat Kasar = 3,04 (hasil pengujian properties agregat)

Maka,

$BJ_{gabungan}$ = %AH x BJ_{AH} + %AK x BJ_{AK}

$BJ_{gabungan}$ = (51,90% x 2,65) + (48,10% x 3,04)

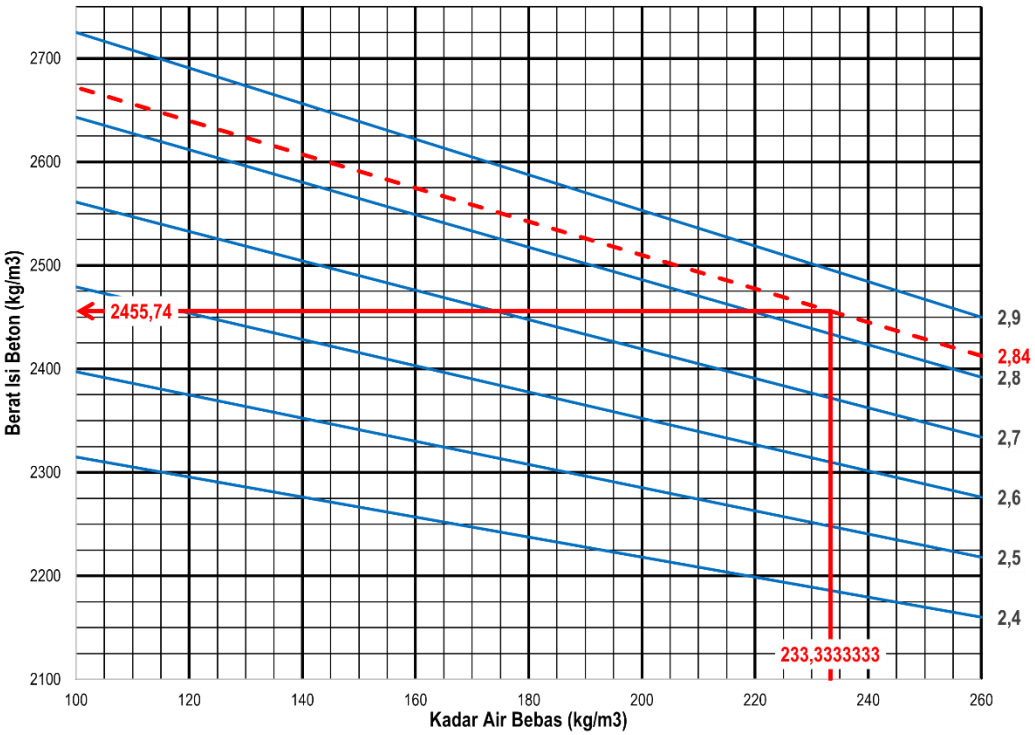
$BJ_{gabungan}$ = 2,84

13. Berat Isi Beton

Berikut ini adalah langkah - langkah yang dilakukan untuk menentukan persentase agregat halus.

a. Buat kurva berat jenis gabungan yang telah di dapatkan sebesar 2,84, secara proporsional pada gambar grafik 5.5.
b. Tarik garis secara vertikal dari kadar air bebas = 233,333 kg/m^3 sampai menyentuh kurva berat jenis agregat gabungan yang telah dibuat.
c. Kemudian tarik garis horizontal ke kiri, sehingga didapatkan berat isi beton sebesar = 2456 kg,m^3.

Dibawah ini adalah Gambar 5.5 grafik perkiraan berat isi beton basah.



Gambar 5. 5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

Dari Gambar 5.5 tentang grafik perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan dengan Bj gabungan = 2,84, dan kadar air bebas 233,333 kg/m^3, maka di dapatkan berat isi beton = 2455,74 kg,m^3.

14. Kadar Agregat Halus dan Agregat Kasar

W_{AG} (Berat Agregat Gabungan) $= (W_{isi\ beton\ basah} - W_{semen} - W_{air})$

$= (2456 - 466{,}667 - 233{,}333)$

$= 1756$ kg/m^3 (Agregat Gabungan)

W_{AH} (Berat Agregat Halus) = $(W_{isi\ beton\ basah} - W_{semen} - W_{air})$ x %AH
= (2456 – 466,667 – 233,333) x 51,90%
= 911,364 kg/m^3 (Agregat Halus)

W_{AK} (Berat Agregat Kasar) = $(W_{AG} - W_{AH})$
= 1756 – 468 – 911,364
= 844,636 kg/m^3 (Agregat Kasar)

15. Proporsi Campuran Per 1 m^3 Beton

Berdasarkan perhitungan teoritis didapatkan untuk kebutuhan setiap 1 m^3 beton:

a. Semen Portland = 466,667 kg
b. Air = 233,333 kg
c. Agregat Halus = 911,364 kg
d. Agregat Kasar = 844,636 kg

16. Cetakan Sampel Beton (Bekisting)

Cetakan sampel beton pada pengujian ini adalah menggunakan bekisting berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Berikut ini adalah perhitungan volumenya.

Volume Satu Silinder = ¼ x π x d^2 x t
= ¼ x π x $0{,}15^2$ x 0,3
= 0,0053 m^3.

17. Proporsi Campuran Per 1 sampel silinder dengan kadar penyusutan 25%

Berikut ini adalah rumus serta perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan proporsi campuran 1 sampel silinder dengan persentase penyusutan sebesar 25%:

a. Semen Portland

volume silinder x berat semen + 25% x (beart semen x volume silinder)
= 0,0053 m^3 x 466,667 kg + 25% x (466,667 kg x 0,0053 m^3)
= 3,093 kg

b. Air

volume silinder x air + 25% x (air x volume silinder)

= 0,0053 m^3 x 233,333 kg + 25% x (233,333 kg x 0,0053 m^3)

= 1,546 kg

c. Agregat Halus

volume silinder x agr. halus + 25% x (agr. halus x volume silinder)

= 0,0053 m^3 x 911,364 kg + 25% x (911,364 kg x 0,0053 m^3)

= 6,039 kg

d. Agregat Kasar

volume silinder x agr. kasar + 25% x (agr. kasar x volume silinder)

= 0,0053 m^3 x 844,636 kg + 25% x (844,636 kg x 0,0053 m^3)

= 5,587 kg

Dibawah ini merupakan Tabel 5.16 yaitu hasil rekapitulasi perhitungan proporsi campuran dalam setiap 1m^3.

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton

Keterangan	Semen	Air	Agregat	
			Halus	Kasar
	kg	kg	kg	kg
Proporsi campuran	1,000	0,500	1,953	1,810
1 m^3 beton	466,667	233,333	911,364	844,636
1 Silinder (susut 25%)	3,093	1,546	6,039	5,587

5.4 Pelaksanaan Pembuatan Sampel *Trial Mix Design*

Pelaksanaan dalam pembuatan sampel *trial mix design* berfungsi untuk mengontrol dan memastikan kualitas beton yang digunakan dalam pelaksanaan pembuatan campuran telah sesuai dengan spesifikasi dan standar yang berlaku sesuai standar SNI 03-2834-2000. Ada beberapa tahapan dalam pelaksanaan pembuatan benda uji, berikut ini penjelasannya.

1. Persiapan material

   Persiapan material pada pembuatan campuran beton meliputi agregat kasar, agregat halus, dan semen. Kondisi agregat halus/ kasar dipastikan dalam keadaan SSD atau jenuh kering permukaan agar dalam pengerjaan pencampuran beton tidak perlu menambah atau mengurangi air (jumlah air sesuai rencana).

2. Persiapan alat – alat

   Alat – alat yang dipergunakan dalam membuat campuran beton adalah mixer, timbangan, gelas ukur air, bekisting (cetakan silinder), talam, alat uji slump.

3. Proses pembuatan beton

   Proses pembuatan campuran beton ini mengacu pada buku saku panduan pembuatan *trial mix design* teknologi bahan konstruksi, Universitas Islam Indonesia, yang tercantum pada (FM-UII-AA-FKA-08.08/R0, 2008c). Berikut ini adalah tahapan yang perlu dilakukan.

   e. Proses pertama yang dilakukan adalah melakukan penimbangan setiap bahan sesuai dengan perhitungan *mix design*.
   f. Campurkan dan masukkan kedalam *mixer* bahan pembentuk bento secara bertahap, kemudai terakhir masukkan air, dan seterusnya.
   g. Sebaiknya sisakan air sedikit pada waktu pencampuran bahan pembentuk beton, sebagai koreksi
   h. Setelah campuran homogen, tuang adukan ke talam dan segera dilakukan uji slump.
   i. Apabila slump telah telah memenuhi/ sesuai rencana, langsung masukkan adukan beton kedalam bekisting silinder yang sudah disiapkan, dengan cara memasukkan campuran beton setiap 1/3 bagian dari tinggi bekisting, kemudian tusuk – tusuk 25 kali secara merata, lalu gunakan meja vibrator untuk lebih meratakan pemadatan campuran beton kedalam bekisting, begitu terus selanjutnya sampai bekisting penuh.
   j. Ratakan permukaan beton dengan sekop/ sendok semen atau alat perata lain agar permukaan atas beton merata, sehingga pada saat diuji kuat tekan seluruh permukaan menerima gaya tekan yang sama besar.

k. Setelah 24 jam, buka cetakan dengan hati-hati dan beri tanda/kode agar tidak tertukar dengan benda uji lain.
l. Rawat benda uji dengan cara direndam dalam air atau di tutup dengan karung basah atau dengan cara disiram air selama umur perawatan.
m. Keringkan benda uji, dengan cara 24 jam sebelum pengujian di keluarkan dari rendaman atau buka tutup karung basah atau dihentikan penyiraman.

5.5 Hasil Pengujian *Slump Test*

Uji *slump test* berfungsi untuk mengukur tingkat konsistensi atau kekentalan beton segar. *Slump test* ini memberikan gambaran seberapa mudah beton dapat dicampur, diangkut, dicurahkan, dan dipadatkan. Selain itu, *slump test* juga berfungsi sebagai alat kontrol kualitas beton dengan membandingkan nilai slump aktual yang diuji dengan standar yang telah ditetapkan agar mutu beton terjaga. Berikut ini adalah Gambar 5.6 yaitu hasil nilai *slump test* yang telah diuji.



Gambar 5. 6 Hasil *Slump Test* Campuran Beton *Trial Mix Design*

Dari hasil uji *slump* tersebut, didapatkan bahwa semen Tiga Roda, semen Dynamix, dan semen Grobokan mendapatkan nilai slump yang sesuai dengan rencana *mix design* yaitu 6 – 18 cm. Berikut ini adalah Tabel 5.17 tentang rekapitulasi nilai slump *trial mix design.*

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Nilai *Slump Trial Mix Design*

Nilai Slump	Produk Semen			
	Tiga Roda	Dynamix	Grobokan	Rata – Rata
	11,5 cm	11 cm	11,5 cm	11,33 cm

5.6 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial Mix Design*

Pengujian benda uji pada tahap *trial mix design* merupakan langkah penting dalam proses pembuatan beton yang bertujuan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik sesuai spesifikasi teknis yang diinginkan, serta bertujuan untuk mengevaluasi sifat – sifat beton, seperti komposisi agregat, kuat tekan, *workability* (kemudahan pengerjaan), dan kerapatan beton yang dihasilkan.

Benda uji yang dibuat pada trial mix design ini berjumlah 9 silinder, dengan 1 merek semen terdiri dari 3 sampel trial benda uji. Benda uji trial akan diuji kuat tekannya pada umur beton 7 hari, maka dari itu perlu dilakukan konversi ke umur beton 28 hari dengan berdasarkan FM-UII-AA-FKA-08.08/R0 yaitu 0,65. Berikut ini adalah salah satu perhitungan nilai kuat tekan beton trial yang sudah dilakukan.

1. Kuat tekan beton trial umur 7 hari

$$f'c_{(aktual)} = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{586420}{17907{,}864}$$

$$= 33{,}185 \text{ MPa.}$$

$$f'c_{(konversi)} = f'c_{(aktual)} \times \frac{1}{angka\ konversi\ (umur\ 7\ hari)}$$

$$= 33{,}185 \times \frac{1}{0{,}65}$$

$$= 51{,}054 \text{ MPa.}$$

Dengan perhitungan dan rumus yang sama, maka hasil benda uji trial kuat tekan beton pada umur 7 hari setiap merek semen dapat dihitung. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi hasil uji kuat tekan beton umur 7 hari pada Tabel 5.18.

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Merek Semen	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm^2)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Trial (MPa)	Angka Konversi Umur Uji	Kuat Tekan Setelah di Konversi (Mpa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
Tiga Roda	151	17907,864	586,420	33,185	0,65	51,054	49,486
Tiga Roda	151	17907,864	665,460	37,657	0,65	57,934	
Tiga Roda	150	17671,459	453,380	25,656	0,65	39,471	
Dynamix	150	17671,459	714,030	40,406	0,65	62,163	55,622
Dynamix	152	18145,839	652,890	36,946	0,65	56,840	
Dynamix	152	18145,839	549,770	31,111	0,65	47,863	
Grobokan	150	17671,459	620,810	35,131	0,65	54,048	53,288
Grobokan	150	17907,864	544,310	30,801	0,65	47,386	
Grobokan	150	18145,839	671,140	37,979	0,65	58,429	

Dari hasil rekapitulasi tersebut, didapatkan bahwa nilai rata – rata kuat tekan semen merek Tiga Roda sebesar 49,486 MPa, semen merek Dynamix sebesar 55,622 MPa, serta semen merek Grobokan sebesar 53,288 MPa. Hal ini menandakan bahwa pengujian trial kuat tekan beton umur 7 hari pada setiap merek semen sudah memenuhi mutu rencana yang diinginkan pada umur 28 hari yaitu 25 Mpa.

5.7 Pengujian Parameter Semen

Pengujian sifat fisik semen ini sangat penting untuk memastikan kualitas semen yang akan dipakai sesuai dengan karakteristik yang diinginkan supaya dapat memenuhi standar mutu optimal yang di inginkan. Parameter semen yang di uji terdiri dari 3 pengujian antara lain uji kehalusan semen, konsistensi normal, dan waktu ikat semen. Berikut ini hasil dari pengujian ketiga parameter tersebut.

5.7.1 Hasil Pengujian Kehalusan Semen

Kehalusan semen mengacu pada ukuran partikel semen yang mempengaruhi laju reaksi hidrasi. Semen dengan kadar kehalusan tinggi akan mempercepat reaksi hidrasi pada beton serta dapat meningkatkan kuat tekan beton khususnya pada umur awal beton. Sebaliknya, untuk semen dengan kadar kehalusannya rendah akan memperlambat reaksi hidrasi pada beton serta dapat memperlambat kuat tekan beton mencapai umur rencana.

Pengujian kehalusan semen ini dilakukan dengan menggunakan alat uji saringan seperti yang dipakai pada pengujian analisis saringan agregat. Saringan yang dipakai adalah saringan No. 100, No. 200, dan PAN. Berat semen yang dipakai sebesar 500 gram. Berikut ini salah satu perhitungan kehalusan semen:
Hasil pengujian kehalusan semen menggunakan semen tiga roda didapatkan data sebagai berikut.

1. Data Hasil Pengujian
   a. Sampel
      Berat tertinggal saringan No. 100 = 1 gram
      Berat tertinggal saringan No. 200 = 325 gram
      Berat tertinggal PAN = 174 gram

Perhitungan:

2. Berat Tertinggal (%)
   a. Saringan No. 100
      $= \frac{Berat\ Saringan\ No.\ 100}{Jumlah\ Berat\ Total}$ x 100%
      $= \frac{1}{500}$
      = 0,20 %
   b. Saringan No. 200
      $= \frac{Saringan\ No.\ 200}{Jumlah\ Berat\ Total}$ x 100%
      $= \frac{325}{500}$
      = 65 %
   c. PAN
      $= \frac{Berat\ PAN}{Jumlah\ Berat\ Total}$ x 100%
      $= \frac{174}{500}$
      = 34,80 %
3. Berat Tertinggal Kumulatif (%)
   a. Saringan No. 100
      = 0,20 %

b. Saringan No. 200

= Berat kumulatif saringan No. 100 + Berat Tertinggal saringan No. 200

= 0,20% + 65%

= 65,20 %

c. PAN

= Berat kumulatif saringan No. 200 + Berat Tertinggal PAN

= 65,20% + 34,80%

= 100 %

4. Persen Lolos Kumulatif (%)

a. Saringan No. 100

= 100% - Berat Tertinggal kumulatif

= 100% - 0,20%

= 99,80 %

b. Saringan No. 200

= 100% - Berat Tertinggal kumulatif

= 100% + 65,20%

= 34,80 %

c. PAN

= 100% - Berat Tertinggal kumulatif

= 100% + 100%

= 0 %

Dengan metode perhitungan yang serupa, maka akan didapatkan hasil perhitungan untuk semua produk semen yang lainnya. Berikut ini adalah Tabel 5.19 – Tabel 5.21 dan Gambar 5.7 rekapitulasi hasil hasil perhitungan kehalusan semen pada semua produk semen yang diuji.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Perhitungan Kehalusan Produk Semen Tiga Roda

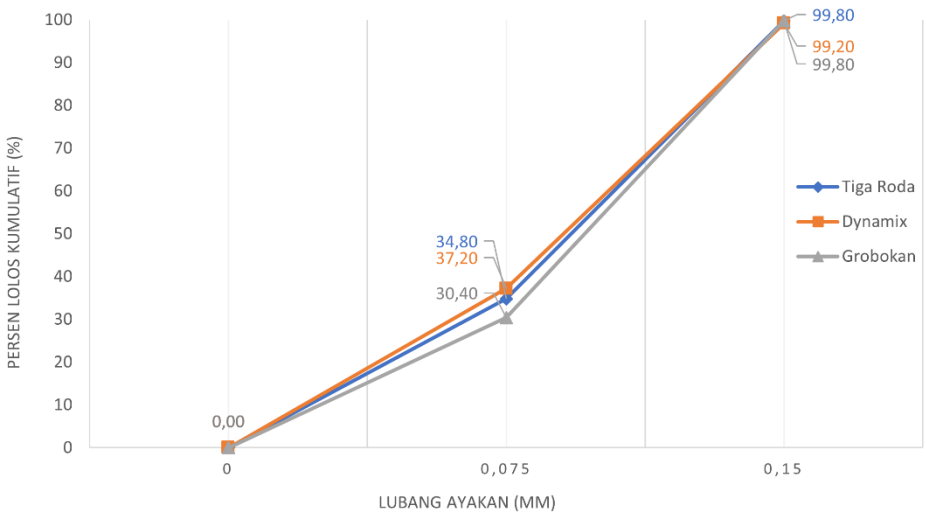
Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan	Berat tetinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
Saringan No. 100	1	gram	0,20	0,20	99,80
Saringan No. 200	325	gram	65,00	65,20	34,80
PAN	174	gram	34,80	100	0,00
Jumlah	500	gram	100		

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Perhitungan Kehalusan Produk Semen Dynamix

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan	Berat tetinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
Saringan No. 100	4	gram	0,80	0,80	99,20
Saringan No. 200	310	gram	62,00	62,80	37,20
PAN	186	gram	37,20	100	0,00
Jumlah	500	gram	100		

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Perhitungan Kehalusan Produk Semen Grobokan

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan	Berat tetinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
Saringan No. 100	1	gram	0,20	0,20	99,80
Saringan No. 200	310	gram	69,40	69,60	37,20
PAN	186	gram	30,40	100	0,00
Jumlah	500	gram	100		



Gambar 5. 7 Grafik Perhitungan Gabungan Kehalusan Setiap Produk Semen

Hasil perhitungan kehalusan semen pada ketiga produk semen di dapatkan bahwa rata – rata persen lolos saringan No. 100 (0,15 mm) sebesar 99,20% – 99,80%, rata – rata persen lolos saringan No. 200 (0,075 mm) sebesar 34,80% – 37,20%, dan rata – persen lolos PAN sebesar 0%. Dari pembahasan diatas didapatkan bahwa ketiga merek semen yang diuji yaitu semen Tiga Roda, semen Dynamix, dan semen Grobokan cenderung memiliki rata - rata persen lolos ayakan yang serupa. Berdasarkan SNI 15 - 2530 - 1991 Pengujian Kehalusan Semen Portland, kehalusan semen disyaratkan yaitu tertahan pada saringan No. 100 sebesar 0% atau lolos 100%. Dengan melihat hasil lolos saringan semen terkecil adalah 99,20% yang berarti ada sebagian kecil sebanyak 0,8% yang tertahan pada saringan No. 100, namun nilai tersebut bisa ditoleransi karena faktor kalibrasi dan akurasi alat timbangan. Maka dari itu, hasil lolos saringan No. 100 setiap semen sudah dianggap 100%, dan sudah sesuai dengan syarat SNI 15 – 2530 – 1991.

5.7.2 Hasil Pengujian Konsistensi Normal

Konsistensi Normal semen adalah kadar air optimum yang dibutuhkan untuk membuat pasta semen mencapai kondisi plastis yang tepat, yaitu ketika jarum Vicat dapat menembus pasta semen sampai kedalaman 10 mm (± 1 mm) dalam waktu 30

detik setelah jarum Vicat dijatuhkan. Konsistensi normal semen akan menunjukkan jumlah air yang dibutuhkan untuk mencapai pengerjaan pasta semen yang optimum yaitu tidak terlalu cair dan tidak terlalu padat (kaku). Berikut ini adalah perhitungan pada pengujian konsistensi normal semen.

1. Persen air

   Berdasarkan SNI-03-6826-2002 Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland Dengan Alat Vicat, pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi berlangsung sebesar ±25% dari berat semennya. Penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras. Maka dari itu pengujian yang dilakukan pada penelitian ini mengambil persen air sebesar ±25% untuk mencari kadar air optimumnya.

2. Berat semen

   Berdasarkan SNI-03-6826-2002 Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland Dengan Alat Vicat, dianjurkan menggunakan berat semen minimal 300 gram. Pada pengujian konsistensi semen, Jumlah air akan semakin bertambah mengikuti proporsi berat semen yang digunakan, maka tidak terlalu berpengaruh apabila jumlah berat semen lebih dari 300 gram. Pada pengujian yang dilakukan, berat semen yang digunakan sebesar 650 gram, untuk meminimalkan kemungkinan kurang terisinya pasta di dalam lubang cetakan pengujian.

3. Berat Air

   Perhitungan berat air menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut.

   Berat air = Berat semen x Persen Air (yang digunakan)

   Berikut ini salah satu contoh perhitungan berat air pada persen air sebesar 25%.

   Berat air = Berat semen x Persen Air (yang digunakan)

   = 650 gram x 25%

   = 162,5 gram

Apabila sudah mendapatkan ketiga nilai tersebut, maka sudah bisa dilakukan pengujian konsistensi normal untuk mencari penurunan optimumnya yaitu 10 mm (± 1 mm) dalam waktu 30 detik setelah jarum Vicat dijatuhkan. Pada pengujian

konsistensi normal pada setiap produk semen yang diuji, maka didapatkan rata - rata dari ketiga produk semen. Berikut ini Tabel 5.22 tentang hasil perhitungan dari rata – rata ketiga produk semen yang diuji.

Tabel 5. 22 Hasil Perhitungan Rata – Rata Ketiga Produk Semen

No.	Persen Air (%)	Berat Semen (gram)	Berat Air (gram)	Penurunan (mm)
1.	24%	650	156	6
2.	25%	650	162,5	10

Setelah mendapatkan persen air optimum, maka dilakukan nilai konsistensi semen. Berikut ini adalah perhitungan nilai konsistensi semen.

Konsistensi $= \frac{Berat\ air}{Berat\ benda\ uji}\ x\ 100\%$

$= \frac{162,5}{650}\ x\ 100\%$

$= 25\%$

Dari hasil perhitungan diatas, maka nilai konsistensi normal ketiga semen yang diuji sebesar 25%. Sedangkan untuk berat air optimum dapat dihitung sebagai berikut:

Berat air $= \frac{Konsistensi\ x\ berat\ semen}{100}$

$= \frac{25\ x\ 650}{100}$

$= 162,5$ gram

Maka dari perhitungan diatas didapatkan bahwa ketiga merek semen yaitu semen Tiga Roda, semen Dynamix, dan semen Grobokan memiliki nilai konsistensi normal sebesar 25%, dengan berat air untuk menghasilkan pasta semen yang optimum sebesar 162,5 gram.

5.7.3 Hasil Pengujian Waktu Ikat Semen

Waktu ikat merupakan durasi yang dibutuhkan semen untuk mencapai perubahan fisik dari yang bersifat plastis hingga bersifat kaku (jarum Vicat tidak bisa menembus pasta semen). Pengujian ini adalah lanjutan dari pengujian konsistensi normal. Pada konsistensi normal semen sudah didapatkan bahwa berat

semen sebesar 650 gram membutuhkan kadar air optimum sebesar 162,5 gram. Kadar air inilah yang digunakan sebagai acuan saat melakukan pengujian waktu ikat semen agar hasilnya valid. Berikut ini hasil rekapitulasi pengujian waktu ikat semen yang tercantum dalam bentuk Tabel 5.23 – Tabel 5.25 dan Gambar 5.8 tentang pengujian waktu ikat setiap produk semen.

Tabel 5. 23 Pengujian Waktu Ikat Semen Produk Semen Tiga Roda

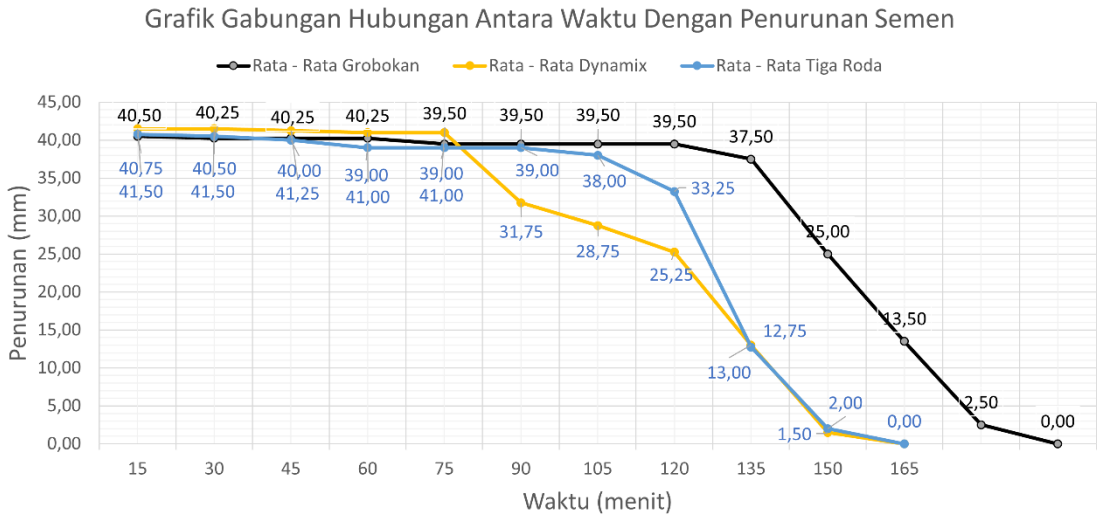
No.	Waktu Pengujian (Menit)	Penurunan Jarum Vicat (mm)		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
1	15	42,50	39	40,75
2	30	42	39	40,50
3	45	41	39	40,00
4	60	40	38	39,00
5	75	40	38	39,00
6	90	40	38	39,00
7	105	39	37	38,00
8	120	35,50	31	33,25
9	135	15,00	10,50	12,75
10	150	2,50	1,50	2,00
11	165	0,00	0,00	0,00

Tabel 5. 24 Pengujian Waktu Ikat Semen Produk Semen Dynamix

No.	Waktu Pengujian (Menit)	Penurunan Jarum Vicat (mm)		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
1	15	41	42	41,50
2	30	41	42	41,50
3	45	40,5	42	41,25
4	60	40	42	41,00
5	75	40	42	41,00
6	90	21,5	42	31,75
7	105	20	37,5	28,75
8	120	18	32,5	25,25
9	135	12	14	13,00
10	150	1	2	1,50
11	165	0	0	0,00

Tabel 5. 25 Pengujian Waktu Ikat Semen Produk Semen Grobokan

No.	Waktu Pengujian (Menit)	Penurunan Jarum Vicat (mm)		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
1	15	40,5	40,5	40,50
2	30	40	40,5	40,25
3	45	40	40,5	40,25
4	60	40	40,5	40,25
5	75	40	39	39,50
6	90	40	39	39,50
7	105	40	39	39,50
8	120	40	39	39,50
9	135	39	36	37,50
10	150	30	20	25,00
11	165	14,5	12,5	13,50
12	180	4	1	2,50
13	195	0	0	0,00



Gambar 5. 8 Grafik Gabungan Pengujian Waktu Ikat Semen Setiap Produk Semen

Dari data hasil yang didapatkan diatas, maka dapat dilakukan perhitungan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir setiap produk semen. Berikut ini adalah perhitungan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir setiap produk semen.

1. Waktu Ikat Awal (25 mm)

   Waktu ikat awal di dapatkan ketika jarum Vicat mencapai kedalaman 25 mm (standar waktu ikat awal). Untuk mencari presisi kedalaman 25 mm, maka dilakukan perhitungan pendekatan dengan menggunakan interpolasi. Berikut hasil dari perhitungan waktu ikat awal semen yang diuji.

   a. Semen Tiga Roda

   $$t = t_1 + \frac{(25 - d_1)x\,(t_2 + t_1)}{(d_2 - d_1)}$$

   $$t = 135 + \frac{(25 - 33{,}25)x\,(120 - 135)}{(12{,}75 - 33{,}25)}$$

   $$t = 126,\ 04 \text{ menit.}$$

   b. Semen Dynamix

   $$t = t_1 + \frac{(25 - d_1)x\,(t_2 + t_1)}{(d_2 - d_1)}$$

   $$t = 135 + \frac{(25 - 25{,}25)x\,(120 - 135)}{(13{,}00 - 25{,}25)}$$

   $$t = 120,\ 31 \text{ menit.}$$

   c. Semen Grobokan

   $$t = 150 \text{ menit.}$$

2. Waktu Ikat Akhir (0 mm)

   Waktu ikat akhir merupakan waktu maksimum semen menjadi keras, atau tidak plastis. Dikatakan sudah tidak plastis apabila jarum Vicat sudah tidak dapat menembus pasta semen atau tidak meninggalkan bekas pada permukaan semen. Berikut ini hasil dari waktu ikat akhir semen.

   a. Semen Tiga Roda

   $$t = 165 \text{ menit.}$$

   b. Semen Dynamix

   $$t = 165 \text{ menit.}$$

   c. Semen Grobokan

   $$t = 195 \text{ menit.}$$

Dari perhitungan waktu ikat awal semen yang dilakukan, maka didapatkan bahwa ketiga produk semen memiliki waktu ikat tergolong normal yaitu <4 jam (240 menit), sudah sesuai dengan SNI 03-6827-2002. Ada beberapa faktor yang

dapat menyebabkan pada semen grobokan memiliki waktu ikat sedikit lebih lama dari semen Tiga Roda dan semen Dynamix.

Pada proses pengadukan antara pasta semen dan air dilakukan menggunakan tangan atau manual tanpa dibantu dengan mesin *mixer*, sehingga hasil campuran pengadukan kurang merata dan menyebabkan laju penurunan pada waktu ikat semen kurang akurat. Hal ini berbeda dengan panduan pada SNI 03-6827-2002, yang menganjurkan pengadukan antara pasta semen dan air dilakukan menggunakan tenaga mesin *mixer* agar laju penurunan pada waktu ikat semen dapat lebih akurat. Berikut ini adalah bukti dokumentasi pada saat pengadukan pencampuran pasta semen dengan air menggunakan tangan.



Gambar 5. 9 Pengadukan Pasta Semen dengan Air

Pada pengujian waktu ikat, disaat pembacaan dial penurunan jarum vicat kedalam pasta semen, kurang teliti dalam waktu pada saat jarum vicat dilepaskan untuk menembus pasta semen (<30 detik), sehingga penurunan yang terjadi pada jarum vicat terhadap pasta semen kurang optimal. Seharusnya harus mengikuti standar pengujian yang telah tercantum pada buku panduan SNI 03-6827-2002, dimana sebelum pembacaan penurunan jarum vicat setelah dilepaskan menusuk pasta semen harus didiamkan terlebih dahulu selama 30 detik. Hal inilah yang menyebabkan perbedaan signifikan antara sampel kesatu dan sampel kedua produk semen dynamix pada menit ke – 90 hingga menit ke – 120, bahkan perbedaannya hampir 2 kali lipat.

Apabila dilihat pada proses pengerjaan pengujian waktu ikat, pada pengujian waktu ikat semen yang dikerjakan, pengujian dilakukan berurutan dimulai dari semen Tiga Roda, semen Dynamix, dan terakhir adalah semen Grobokan. Karena pengujian semen Grobokan dilakukan di akhir, maka pengujiannya dilakukan pada sore menuju malam hari, sehingga mengalami sedikit penurunan suhu dibandingkan pada semen lainnya yang dilakukan pada siang hingga sore hari. Pengaruh suhu dan kelembaban lingkungan inilah yang menyebabkan perbedaan hasil akhir waktu ikat semen pada masing- masing produk semen. Pada jurnal Nazirah Nafiah (2025), yang berjudul "Pengaruh Suhu dan Kelembaban Terhadap Nilai Setting Time Pada Semen PCC dan OPC", dari jurnal tersebut menjelaskan bahwa suhu tinggi mempercepat reaksi hidrasi semen, yang menyebabkan waktu ikat awal dan akhir menjadi lebih singkat. Penelitiannya juga menjelaskan bahwa setiap kenaikan suhu sekitar 5,6^{o}C dapat mengurangi waktu pengikatan sekitar 30%. Pada penelitian yang berbeda, yang dilakukan oleh Rahmadika & Apriyanti (2017), dengan judul "Pengaruh Pengurangan Setting Time Pada Semen Tahan Api Dengan Penambahan *Oil Well Cement The effect of reducing Setting Time (Wait on Cement on Fire Mortar by Increasing Oil Well Cement.* Membahas bahwa suhu pembakaran dan durasi pemanasan sangat berpengaruh terhadap waktu ikat dan karakteristik semen tahan api, yang mengindikasikan bahwa faktor suhu dapat mempengaruhi lama waktu ikat semen. Berikut ini adalah Tabel 5. 26 tentang hasil rekapitulasi perbedaan suhu pengujian waktu ikat setiap produk semen.

Tabel 5. 26 Rekapitulasi Perbedaan Suhu Pengujian Waktu Ikat Setiap Produk Semen

Produk Semen	Suhu Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
Tiga Roda	31^0	30^0	$30{,}5^0$
Dynamix	30^0	29^0	$29{,}5^0$
Grobokan	27^0	26^0	$26{,}5^0$

Berikut ini adalah Gambar 5.9 bukti dokumentasi pengujian waktu ikat pada semen Grobokan dilakukan pada sore menuju malam hari.



Gambar 5. 10 Gambar pengujian semen Grobokan

Dari hasil rekapitulasi dan dokumentasi bukti pengujian, perbedaan pengujian inilah yang menyebabkan semen Grobokan memiliki waktu ikat akhir yang sedikit lebih lama yaitu 30 menit. Harusnya pada prosedur pengujian dilakuakan pada waktu yang sama sehingga tidak terjadi perbedaan suhu yang signifikan antara produk semen. Berikut ini adalah rekapitulasi evaluasi prosedur dan metode pengujian waktu ikat semen yang tercantum pada Tabel 5. 27 sebagai berikut.

Tabel 5. 27 Rekapitulasi Evaluasi Proses dan Metode Pengujian Waktu Ikat Semen

Keterangan	Penelitian yang Dilakukan	SNI 03 – 6827 – 2002
Proses *Mixer* (pengadukan atau pencampuran)	Pengadukan antara pasta semen dan air dilakukan menggunakan tangan atau manual tanpa dibantu dengan mesin *mixer*.	Pengadukan antara pasta semen dan air dilakukan menggunakan tenaga mesin *mixer* agar laju penurunan pada waktu ikat semen dapat lebih akurat.
Pembacaan Penurunan Jarum Vicat	pembacaan penurunan jarum vicat setelah dilepaskan menusuk pasta semen dilakukan kurang dari 30 detik	pembacaan penurunan jarum vicat setelah dilepaskan menusuk pasta semen harus didiamkan terlebih dahulu selama 30 detik.
Metode Uji Waktu Ikat Setiap Produk Semen	Prosedur pengujian dilakukan pada waktu yang tidak bersamaan sehingga menimbulkan perbedaan suhu yang signifikan antara produk semen.	Prosedur pengujian dilakukan pada waktu yang sama sehingga tidak terjadi perbedaan suhu yang signifikan antara produk semen.

Dari hasil rekapitulasi evaluasi proses dan dokumentasi yang telah di paparkan sebelumnya, di dapatkan bahwa lebih teliti dalam proses sereta pemilihan metode dalam pengujian waktu ikat semen sangat berpengaruh terhadap hasil yang di dapatkan. Harusnya pada penelitian yang dilakukan mengikuti standar yang sudah tertera pada acuan SNI 03-6827-2002.

5.8 Hasil Pengujian Beton

Pada bagian ini akan membahas tentang hasil pengujian yang sudah dilakukan pada beton normal dengan penggunaan produk semen yang berbeda. Semen yang sudah dilakukan pengujian sifat fisik semen (kehalusan, konsistensi, dan waktu ikat), selanjutnya akan dilakukan pengujian sifat mekanik beton (kuat tekan) dan sifat fisik beton (absorpsi atau penyerapan air).

Analisis ini dilakukan untuk membandingkan pengaruh karakteristik sifat fisik semen dari berbagai merek terhadap kuat tekan dan absorpsi (daya serap air) pada setiap laju umur beton yang direncanakan (7 – 28 hari). Dari hasil analisis perbandingan tersebut, akan diurutkan produk semen yang memiliki kinerja beton yang lebih optimum untuk dipilih sesuai dengan kebutuhan pekerjaan proyek.

Secara Umum, hasil pengujian akan menunjukkan bahwa kuat tekan dan absorpsi pada setiap produk semen memengaruhi hasil dari kinerja beton. Dibawah ini adalah hasil analisis serta rekapitulasi hasil pengujian untuk masing - masing parameter pengujian.

5.8.1 Analisis Kuat Tekan Beton

Dalam pembuatan sampel beton ini mengacu pada komposisi *mix design* beton yang sudah dilakukan sebelumnya. Lalu dilakukan pekerjaan pembuatan benda uji beton menggunakan alat *mixer concrete*/ molen dengan benda uji yang telah ditentukan. Setelah dilakukan pembuatan benda uji, sampel beton kemudian dilakukan perawatan *(curring)* untuk menghindari panas hidrasi yang dihasilkan antara semen dengan air mix beton. Perawatan ini akan dilakukan sesuai dengan umur rencana pengujian kuat tekan, 6 hari (untuk pengujian beton umur 7 hari), 13 hari (untuk pengujian beton umur 14 hari), 20 hari (untuk pengujian beton umur 21 hari, dan 27 hari (untuk pengujian beton umur 28 hari).

Sampel beton akan diuji sesuai dengan umur beton yang telah ditentukan dengan 3 sampel beton setiap produk semen pada setiap umur rencana beton yang ditentukan. Sampel beton ini akan diuji kuat tekannya hingga mencapai nilai maksimum (sampel beton hancur) dengan menggunakan alat *compression testing machine*. Pada pengujian kuat tekan pada sampel beton Alat *compression testing machine* ini akan membaca secara otomatis tentang hasil pengujian kuat tekannya. Hasil pengujian nanti akan dimunculkan dalam bentuk angka berupa durasi waktu pengujian kuat tekan (menit), nilai kuat tekan (MPa), Beban maksimum (kN), serta kecepatan daya tekan (MPa/s).

Berikut ini adalah hasil uji kuat tekan beton pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari dengan tiga produk semen yang berbeda yaitu semen Tiga Roda, Semen Dynamix, dan Semen Grobokan yang tercantuk pada Tabel 5.28 – Tabel 5.30.

Tabel 5. 28 Rekapitulasi Kuat Tekan Produk Semen Tiga Roda

Umur Beton (Hari)	Kuat Tekan Beton (MPa)			
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata - Rata
7	34,353	36,169	31,327	33,950
14	42,465	44,026	36,058	40,850
21	34,375	46,907	42,064	41,115
28	42,328	41,644	37,143	40,372

Tabel 5. 29 Rekapitulasi Kuat Tekan Produk Semen Dynamix

Umur Beton (Hari)	Kuat Tekan Beton (MPa)			
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata - Rata
7	34,637	39,653	36,591	36,960
14	43,123	46,030	45,362	44,838
21	43,209	39,388	41,032	41,210
28	45,999	29,809	47,875	41,228

Tabel 5. 30 Rekapitulasi Kuat Tekan Produk Semen Grobokan

Umur Beton (Hari)	Kuat Tekan Beton (MPa)			
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata - Rata
7	37,415	30,449	43,543	37,136
14	38,776	46,457	39,641	41,625
21	50,389	16,809	41,529	36,242
28	40,647	53,209	51,118	48,325

Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan nilai kuat tekan beton yang sudah dilakukan pengujian.

Umur 7 hari pada semen Tiga Roda diketahui dimensi dari ketiga sampel sebagai berikut:

i. Sampel 1

P(Beban Maksimal) = 607,070 kN

d (Diameter) = 150 mm

A (Luas Penampang) $= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2$

= 17671,459 mm^2

f'c (Kuat Tekan) $= \frac{P}{A}$

$= \frac{607{,}070\ kN\ x\ 1000}{17671{,}459\ \text{mm2}}$

= 34,353 MPa.

ii. Sampel 2

P (Beban Maksimal) = 639,150 kN

d (Diameter) = 150 mm

A (Luas Penampang) $= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2$

= 17671,459 mm^2

f'c (Kuat Tekan) $= \frac{P}{A}$

$= \frac{639{,}150\ kN\ x\ 1000}{17671{,}459\ \text{mm2}}$

= 36,169 MPa.

iii. Sampel 3

P (Beban Maksimal) = 533,590 kN

d (Diameter) = 150 mm

A (Luas Penampang) $= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2$

= 17671,459 mm^2

f'c (Kuat Tekan) $= \frac{P}{A}$

$= \frac{533{,}590\ kN}{17671{,}459\ \text{mm2}}$

= 31,327 MPa.

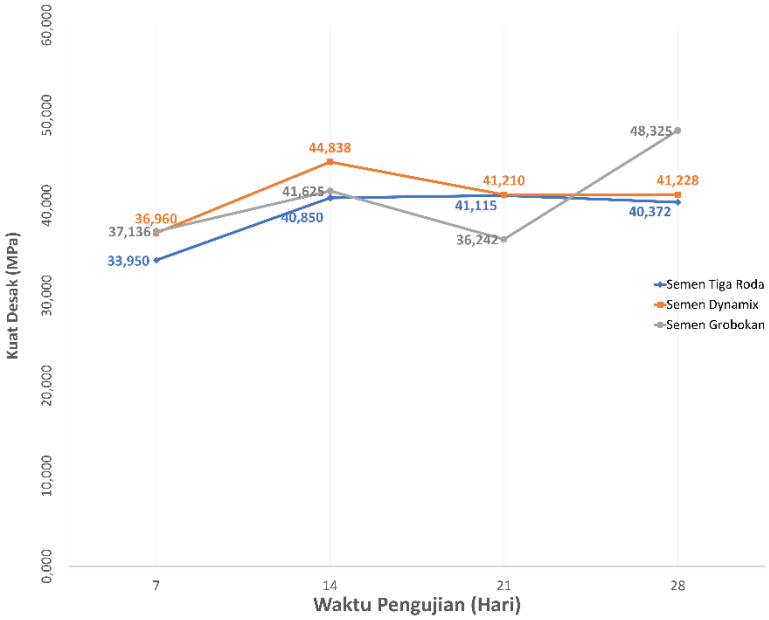
Dari perhitungan ketiga sampel pada umur 7 hari tersebut maka, diambil perhitungan rata – rata dari ketiga hasil kuat tekannya. Berikut ini perhitungan kuat tekan rata – rata.

f'c $= \frac{f'c\ (1)+f'c\ (2)+f'c\ (3)}{3}$

$= \frac{34{,}353+36{,}169+31{,}327}{3}$

= 33,950 MPa.

Begitu pula seterusnya perhitungan yang dilakukan pada semen Grobokan dan Tiga Roda pada setiap umur rencana. Setelah didapatkan hasil perhitungan setiap umur rencana, maka dilakukan analisis berupa pembuatan grafik laju kekuatan beton setiap umur rencana pada setiap merek semen yang diuji. Berikut ini adalah grafik perbandingan antara ketiga semen yang telah diuji kuat tekan pada setiap laju umur beton mulai dari umur 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari, yang tercantuk pada Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Grafik Rekapitulasi Perbandingan Kuat Tekan Setiap Produk Semen

Berdasarkan rekapitulasi hasil uji kuat tekan beton pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari didapatkan bahwa nilai kuat tekan umur 7 hari pada Semen Tiga Roda, Semen Dynamix, dan Semen Grobokan berturut – turut sebesar 33,950 MPa, 36,960 MPa, dan 37,136 MPa. Nilai kuat tekan umur 14 hari pada Semen Tiga Roda, Semen Dynamix, dan Semen Grobokan berturut – turut sebesar 40,850 MPa, 44,838 MPa, dan 41,625 MPa. Nilai kuat tekan umur 21 hari pada Semen Tiga Roda, Semen Dynamix, dan Semen Grobokan berturut – turut sebesar 41,115 MPa, 41,210 MPa, dan 36,242 MPa. Nilai kuat tekan umur 28 hari pada Semen Tiga Roda, Semen Dynamix, dan Semen Grobokan berturut – turut sebesar 40,372 MPa, 41,228 MPa, dan 48,325 MPa.

Peningkatan kuat tekan beton normal secara umum mengikuti pola pertumbuhan yang dipengaruhi oleh proses pengerasan semen dan peningkatan hidrasi seiring bertambahnya usia beton. Berdasarkan SNI 03-2834-2000 - Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, 2000, peningkatan kuat tekan pada umur 7 hari mencapai sekitar 65%, untuk umur 14 hari mencapai 88%, di umur 21 hari mencapai 95%, dan pada umur 28 hari mencapai 100%.

Pada pengujian kuat tekan, mutu beton rencana pada umur 28 hari adalah 25 MPa, sedangkan untuk hasil uji kuat tekan yang dilakukan pada semen Tiga Roda, semen Dynamix, dan semen Grobokan secara berturut – turut sebesar 40,372 MPa, 41,228 MPa, dan 48,325 MPa. Hal ini sudah melebihi 2 kali lipat dari mutu beton rencana yaitu hanya 25 MPa dan sudah melebihi dari margin keamanan beton yaitu 37 MPa. Beton dengan hasil kuat tekan melebihi margin keamanan umumya positif jika dilihat dari sisi mutu. Ada beberapa faktor yang menyebabkan hal itu terjadi.

Jenis semen *ordinary portland cement* (OPC) memang memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis semen lainnya seperti *portland cement composite* (PCC), dan lain lain. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Regita Prameswari Tw et al (2023) yang berjudul Pengaruh Penggunaan *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan *Portland Composite Cement* (PCC) Terhadap Kuat Tekan Beton, menjelaskan bahwa beton yang menggunakan semen OPC memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang menggunakan semen PCC pada umur 28 hari. Pada eksperimennya, semen OPC mampu mengembangkan kekuatan hingga 29,16 MPa, sementara semen PCC hanya mencapai 27,88 MPa. Perbedaan ini sebagian besar disebabkan oleh sifat hidrasi dan kandungan bahan aktif dalam semen OPC yang lebih optimal dalam membentuk struktur padat dan kuat. Selain itu penelitian dari Sundaryani (2021) yang berjudul Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Semen OPC dan PCC, studi ini menyimpulkan bahwa semen OPC secara umum memberikan kekuatan tekan yang lebih tinggi sekitar 4,59% dibandingkan semen PCC pada umur 28 hari. Hal ini didukung oleh oleh karakteristik bahan yang lebih unggul dalam hal kepadatan dan reaksi hidrasi. Selain itu, penambahan aditif tertentu dalam semen OPC dapat meningkatkan kekuatan lebih jauh daripada PCC.

Dari kedua sumber dari penelitian tersebut menegaskan bahwa, berdasarkan penelitian terdahulu, semen OPC cenderung menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan semen PCC, terutama pada umur yang standar pengujiannya yaitu 28 hari. Namun dari hasil pengujian semen OPC yang telah dilakukan, nilai kuat tekannya memiliki nilai 2 kali lipat lebih tinggi dibandingkan

dengan nilai mutu kuat tekan rencana yaitu 28 hari, bahkan melebihi margin keamanan yang ditentukan.

Berdasarkan standar SNI, khususnya SNI 03-2834-2000 - Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, dan SNI 1974:2011 – Cara Uji Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, batas margin keamanan kuat tekan yang diperbolehkan untuk hasil uji beton adalah nilai rata – rata kuat tekan beton harus memenuhi minimal 0,85 kali nilai kuat tekan rencana. Jika hasil uji ada yang melebihi margin keamanan atas, umumnya tidak ada batasan eksplisit atas yang dilarang. Maka dari itu hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan dianggap sudah sesuai dengan rencana yang telah diperhitungkan.

Apabila dilihat dari proses persiapan hingga pengujian kuat tekan ada beberapa analisis yang dapat menyebabkan grafik tersebut mengalami anomali pada nilai kuat tekan terhadap laju pertumbuhan umur beton. Pada tahapan perhitungan *mix design* campuran beton sudah dilakukan sesuai dengan standar yang ada pada SNI 03-2834-2000 dengan persentase penyusutan sebesar 25%. Hal itu juga dibuktikan pada hasil nilai kuat tekan *trial mix design* yang sudah sesuai dengan mutu rencana.

Pada tahapan proses memilih metode dalam pengerjaan campuran beton, dilakukan dengan 3 kali pengadukan campuran dalam sehari yaitu 3 variasi merek semen dan 1 variasi umur beton, dengan 1 variasi menggunakan 3 sampel beton dengan semen yang sama pada sekali pengadukannya. Lalu apabila sudah selesai 1 variasi maka akan dilakukan pencucian *mixer,* lalu dilakukan pengadukan yang kedua pada variasi yang berbeda dengan semen yang berbeda merek. Hal inilah yang dapat menyebabkan hasil nilai kuat tekan pada laju perkembangan umur beton mengalami anomali. Harusnya, metode yang dipakai pada saat itu harusnya dilakukan pengadukan dengan 1 variasi merek semen dan 4 variasi umur beton yaitu 7, 14, 21, dan 28 hari. Sehingga dapat meminimalkan nilai kuat tekan yang anomali pada laju perkembangan umur beton.

Pada proses pengerjaan campuran beton yaitu ketika memasukkan material kedalam *mixer* khususnya pada air, air tidak sepenuhnya dimasukkan semua, tetapi ditinggalkan sebanyak kurang lebih 100 – 150 ml. Alasan menyisakan air sebanyak

100 – 150 ml pada saat itu adalah karena kondisi campuran dirasa sudah homogen. Hal ini di validasi oleh penelitian – penelitian terdahulu seperti yang telah dilakukan oleh Juldin & Alfa (2020) yang berjudul Pengaruh Penggunaan Air Kolam Terhadap Kuat Tekan Beton, membahas bahwa pengurangan air dalam campuran beton menyebabkan penurunan volumenya, yang dapat menurunkan *workability* dan homogen sebuah campuran beton.pengurangan air sekitar 50 – 100 ml berpotensi meningkatkan porositas dalam beton sehingga menurunkan kuat tekan secara signifikan. Begitu pula hal yang sama yang dilakukan oleh (Shaleh, 2024) dengan judul "Studi Kuat Tekan Beton Fc 20 MPa Dengan Menggunakan Air Laut", mengungkapkan bahwa penurunan air campuran beton dari nilai rencana dapat mengakibatkan penurunan kuat tekan akibat kurangnya hidrasi yang optimal dan ketidakmerataan bahan penyusun beton akibat kekakuan adukan bertambah. Berikut ini adalah Gambar 5.12 tentang dokumentasi bahwa pada saat pembuatan campuran beton dilakukan penyisahan air.



Gambar 5. 12 Sisa Air 100 – 150 ml

Pada saat uji *slump*, hasil ujinya sudah sesuai dengan standar rencana yaitu di antara 6 – 18 cm. Berikut ini Gambar 5.13 bukti hasil uji *slump* dengan nilai terbaca sebesar 11,5 cm.



Gambar 5. 13 Uji *Slump*

Namun test uji tersebut hanya dilakukan pada satu hari di awal pencampuran saja, dengan pengurangan 100 – 150% dijadikan sebagai acuan untuk pencampuran selanjutnya. Pada umur selanjutnya untuk melihat campuran beton sudah homogen atau belum, dilakukan dengan dilihat secara langsung tanpa melakukan uji *slump*. Hal ini yang menyebabkan tingkat homogen suatu campuran beton tidak terkontrol, yang bisa berpengaruh terhadap kinerja mutu beton khususnya pada kuat tekan beton. Harusnya pengujian *slump* harus dilakukan setiap berganti variasi atau setiap pencampuran beton yang baru, agar tidak terjadinya penurunan homogenitas suatu campuran beton.

Jadi bisa ditarik kesimpulan bahwa alasan pengurangan air sebanyak 100 – 150 ml dari nilai rencana kebutuhan air campuran beton dapat menyebabkan penurunan kuat tekan dan laju umur karena pengaruhnya pada hidrasi semen, dan kepadatan campuran beton. Harusnya pada proses memasukkan material khususnya air kedalam *mixer* harus dimasukkan secara seluruh tanpa ada yang tersisa atau harus sesuai dengan perhitungan *mix design* yang ada.

Pada proses pemadatan beton menggunakan meja vibrator terlalu lama. Hal ini dapat menyebabkan campuran material mengalami segregasi dan dapat mengurangi mutu nilai kuat tekan beton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suryadi et al (2021) yang berjudul Pengaruh Frekuensi dan Durasi Getaran Pada Meja Getar Terhadap Kuat Beton, menjelaskan bahwa durasi vibrasi yang optimal penting untuk mendapatkan kekuatan tekan beton maksimum. Penggunaan

durasi vibrasi yang terlalu singkat menyebabkan udara tidak keluar sempurna dan porositas tinggi, sedangkan vibrasi terlalu lama menyebabkan pemisahan campuran beton yang mengakibatkan penurunan kekuatan tekan. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Dewi & Yoga Nanda (2021) yang berjudul Analisis Pengaruh Peningkatan Durasi Waktu Terhadap Kuat Tekan Mutu Beton K-250 Pasca Kebakaran juga mengkaji tentang pengaruh durasi perlakukan dan getaran. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa durasi yang tepat mempengaruhi homogenitas campuran, dan terlalu lama dapat menimbulkan segregasi dan mengurangi mutu kuat tekan beton. Maka dari itu disimpulkan bahwa durasi vibrasi merupakan faktor kritis untuk memastikan kepadatan beton, dan campuran beton yang optimal, serta menunjukkan efek negatif dari durasi vibrasi yang tidak tepat dapat mengurangi mutu kuat tekan beton. Harusnya pada tahapan penggunaan pemadatan beton tidak perlu dilakukan dengan vibrator, karena pada SNI 03-2834-2000 pada tahap pemadatan beton hanya menggunakan tongkat penumbuk setiap 1/3 bagian sampel beton dan akan ditumbuk sebanyak 25 kali. Namun apabila tetap menggunakan vibrator maka, harus dilakukan dengan waktu yang lebih optimum umunya sebesar (10 – 20 detik) yaitu durasi yang tidak terlalu lama atau durasi yang tidak terlalu singkat, sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya beton mengalami segregasi ataupun beton mengalami porossitas yang besar.

Pada proses perawatan beton, penelitian yang dilakukan sudah sesuai dengan prosedur pelaksaan yang ada pada SNI 03-2834-2000, yaitu sampel beton akan dilepaskan dari beksiting sehari atau 24 jam setelah pembuatan sampel beton, setelah itu akan dilakukan perendaman beton selama umur rencana. Lalu pada saat ingin melakukan pengujian kuat tekan, maka sampel beton akan diangkat dari rendaman sehari atau 24 jam sebelum hari pengujian kuat tekan. Pada hari pengujian kuat tekan beton, dilakukan penimbangan dan pengukuran dimensi sampel beton meliputi tinggi dan diameter sampel. Lalu dilakukan pemasangan *capping* pada bagian permukaan yang tidak merata, supaya nilai kuat tekan pada pengujian nantinya bisa optimum. Berikut ini adalah gambar 5.14 – gambar 5.16 yang memperlihatkan proses perendaman, pengukuran dimensi, dan uji kuat tekan sebagai berikut.

Apabila dilihat berdasarkan tampilan sampel beton, pada sebagian sampel mengalami segregasi atau ketidakmerataan campuran material yang disebabkan oleh efek durasi pemadatan yang tidak optimum. Dari efek durasi yang tidak optimum tersebut dijelaskan bahwa durasi penggunaan terlalu lama pada meja penggetar dapat menimbulkan segregasi antar campuran material beton, hal ini dapat dibuktikan melalui foto hasil uji sampel yang telah dilakukan yang tercantum pada Gambar 5.14 sebagai berikut.



Gambar 5. 14 Bukti Campuran Mengalami Segregasi

Pada gambarkan diatas pada bagian lingkaran merah, terlihat bahwa terjadi penumpukan material semen ataupun agregat. Hal ini merupakan bukti bahwa sampel beton tersebut mengalami segregasi material yang menyebabkan mutu beton menjadi menurun khususnya kuat tekan laju umur. Dari proses persiapan hingga pengujian yang dilakukan penelitian, berikut ini adalah Tabel 5.31 rangkuman analisis tentang perbedaan proses metode penelitian yang dilakukan dan acuan SNI 03-2834-2000 yang menyebabkan terjadinya anomali pada hasil nilai kuat tekan beton pada penelitian ini.

Tabel 5. 31 Rekapitulasi Evaluasi Proses dan Metode Pengujian Beton Pada Kuat Tekan

Keterangan	Penelitian yang Dilakukan	SNI 03 – 2834 - 2000
Metode Variasi Pengadukan	Dilakukan dengan 3 kali pengadukan campuran dalam sehari yaitu 3 variasi merek semen dan 1 variasi umur beton, dengan 1 variasi menggunakan 3 sampel beton dengan semen yang sama pada sekali pengadukannya. Lalu apabila sudah selesai 1 variasi maka akan dilakukan pencucuain *mixer,* lalu dilakukan pengadukan yang kedua pada variasi yang berbeda dengan semen yang berbeda merek.	Dilakukan pengadukan dengan 1 variasi merek semen dan 4 variasi umur beton yaitu 7, 14, 21, dan 28 hari. Sehingga dapat meminimalkan nilia kuat tekan yang anomali pada laju perkembangan umur beton.
Memasukkan Material	memasukkan material kedalam *mixer* khususnya pada air, air tidak sepenuhnya dimasukkan semua, tetapi ditinggalkan sebanyak kurang lebih 100 – 150 ml	Harusnya pada proses memasukkan material khususnya air kedalam *mixer* harus dimasukkan secara seluruh tanpa ada yang tersisa atau harus sesuai dengan perhitungan mix design yang ada.
Pengujian Slump	Untuk melihat campuran beton sudah homogen atau belum, dilakukan dengan dilihat secara langsung tanpa melakukan uji *slump*	Harusnya pengujian slump harus dilakukan setiap berganti variasi atau setiap pencampuran beton yang baru, agar tidak terjadinya penurunan homogenitas suatu campuran beton.
Metode Pemadatan Campuran Beton	Pada proses pemadatan beton menggunakan meja vibrator terlalu lama (>20 detik), sehingga mengalami segregasi, dan dapat mengurangi nilai kuat tekan beton.	Harusnya pada tahapan penggunaan pemadatan beton tidak perlu dilakukan dengan vibrator, harus dilakukan dengan waktu yang lebih optimum umunya sebesar (10 – 20 detik) yaitu durasi yang tidak terlalu lama atau durasi yang tidak terlalu singkat, sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya beton mengalami segregasi ataupun beton mengalami porositas yang besar.

Apabila dilihat dari hasil kuat tekan setiap laju umur beton, hasil nilai kuat tekan pada setiap merek semen mengalami penurunan kuat tekan pada umur 14 dan 21 hari. Jika melihat dari penelitian terdahulu seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Regita Prameswari (2023) yang berjudul Pengaruh Penggunaan *Ordinary Portland Cement* (OPC), Semen Modifkasi Jenis III dan Jenis IV, Serta *Portland Composite Cement* (PCC) Terhadap Kuat Tekan Beton. Dari penelitiannya menjelaskan bahwa kuat tekan pada setiap variasi semen terhadap laju umur beton memiliki nilai yang akan selalu meningkat. Begitu juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Batubara (2023) yang berjudul Pengujian Kuat Tekan Beton Karakteristik Menggunakan Semen OPC Tipe I, PPC, dan PCC. Dari kedua penelitian terdahulu yang telah dijelaskan, maka hasil uji kuat tekan pada laju umur beton yang telah di uji mengalami ketidaksesuaian secara teoritis.

Ada beberapa faktor yang bisa dianalisis untuk dijadikan alasan mengapa pengujian kuat tekan aktual yang dilakukan tidak sesuai dengan teoritis, berikut ini faktor – faktornya. Faktor pertama adalah ketimpangan hasil pengujian khususnya pada uji kuat tekan, sehingga dapat mempengaruhi hasil nilai rata – rata dari uji kuat tekan pada umur rencana. Dari 3 sampel uji di setiap merek semen pada umur 21 hari dan 28 hari, pada 1 dari 3 sampelnya memiliki nilai kuat tekan yang sangat berbeda. Contohnya pada 1 dari 3 sampel merek semen Grobokan di umur 21 hari terdapat selisih nilai kuat tekan yang terpaut sangat jauh yaitu sebesar 33,580 MPa. Begitu juga dengan merek semen Tiga Roda di umur 21 hari terdapat selisih nilai kuat tekan sebesar 12,532 MPa. Pada merek semen Dynamix juga mengalami hal yang sama namun selisihnya tidak terlalu jauh, dengan selisih nilai kuat tekannya hanya sebesar 3,821 MPa. Dengan selisih perbandingan tersebut, syarat ketimpangan hasil kuat tekan beton pada setiap sampel yang diuji dianggap tidak konsisten dan kurang memenuhi standar. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nur Fitriani (2024) yang berjudul Evaluasi Kuat Tekan Beton Menggunakan SNI 03-2847-2019 pada Pekerjaan Perkerasan Bahu Jalan, menjelaskan bahwa ketimpangan maksimum nilai kuat tekan atau selisih dari ketiga sampel pada merek semen yang sama tidak boleh melebihi dari nilai 3,5 MPa. Hal ini menjelaskan

bahwa hasil pengujian yang telah dilakukan mengalami kegagalan pada pengujian kuat tekan pada laju umur beton.

Metode *outlier* adalah salah satu metode yang dapat dilakukan apabila terjadinya anomali terhadap nilai rata - rata kuat tekan. Metode outlier biasanya dilakukan dalam proses analisis mutu beton, dengan mengidentifikasi data hasil pengujian yang menyimpang secara statistik dari kumpulan data lain. Pada penelitian ini, outlier yang digunakan adalah metode Z score.

Metode *Z Score* dalam proses pencarian mutu beton adalah suatu teknik analisis statistik yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas dan konsistensi hasil pengujian beton. Secara prinsip, *Z Score* menghitung sejauh mana nilai kuat tekan beton suatu sampel menyimpang dari nilai rata – rata seluruh sampel, dinyatakan dalam satuan standar deviasi. Berikut ini adalah rumusnya.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Keterangan:

X = Nilai kuat tekan sampel

μ = Nilai rata – rata kuat tekan sampel

σ = Standar deviasi

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dibahas oleh Oktarina (2021) yang berjudul Uji Profisiensi Agregat dan Beton Untuk Penerapan SNI 17025. Menjelaskan bahwa uji outlier dengan menggunakan metode *Z-Score* dapat dikategorikan menjadi 2 yaitu *inlier* dan *outlier*. Hasil pengujian dengan nilai *Z-Score* antara -2 dan 2 (0 < 2) dinyatakan masuk pada kriteria yang ditetapkan atau *inlier*. Apabila hasil pengujian dengan nilai Z-Score antara -3 dan -2 atau antara 2 dan 3 dinyatakan sebagai *outlier*. Maka dari itu, acuan dalam pengerjaan metode Z-Score ini berdasarkan pada jurnal penelitian terdahulu seperti yang telah dijelaskan diatas.

Berikut ini adalah contoh perhitungan menggunakan metode Z-Score:

Kuat tekan umur Beton 7 hari pada merek semen Grobokan diketahui sebagai berikut:

Sampel 1 = 37,415 MPa

Sampel 2 = 30,449 MPa

Sampel 3 = 43,543 MPa

1. Rata – Rata Kuat Tekan

$$\mu = \frac{sampel\ 1 + sampel\ 2\ + sampel\ 3}{3}$$

$$= \frac{37{,}415 + 30{,}449\ + 43{,}543}{3}$$

$$= 37{,}136 \text{ Mpa}$$

2. Standar Deviasi

$$\text{Stdev} = \sqrt{\frac{(S1 - f'crata{-}rata)^2 + (S2 - f'crata{-}rata)^2 + (S3 - f'crata{-}rata)^2}{2}}$$

$$= \sqrt{\frac{(37{,}415 - 37{,}136)^2 + (30{,}449 - 37{,}136)^2 + (43{,}543 - 37{,}136)^2}{2}}$$

$$= 6{,}551$$

3. Z-Score

$$Z_1 = \frac{X_1 - \mu}{\sigma}$$

$$= \frac{37{,}415 - 37{,}136}{6{,}551}$$

$$= 0{,}043$$

$$Z_2 = \frac{X_2 - \mu}{\sigma}$$

$$= \frac{30{,}449 - 37{,}136}{6{,}551}$$

$$= -1{,}021$$

$$Z_3 = \frac{X_3 - \mu}{\sigma}$$

$$= \frac{43{,}543 - 37{,}136}{6{,}551}$$

$$= 0{,}978$$

Dari hasil perhitungan diatas dengan berdasarkan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya, maka didapatkan bahwa ketiga hasil kuat tekan umur 7 hari pada produk semen Grobokan dinyatakan inlier, sehingga tidak ada sampel hasil uji kuat tekan yang dihilangkan. Begitupun seterusnya untuk menghitung masing – masing kuat tekan setiap umur beton pada merek semen yang lainnya dengan menggunakan metode Z-Score.

Apabila sudah dilakukan analisis menggunakan metode *Z-Score* setiap merek semen, maka agar lebih mudah dalam pengumpulan hasil data, dilakukan rekapitulasi hasil uji *Z-Score* pada masing – masing merek semen. Berikut ini adalah Tabel 5.32 – Tabel 5.34 tentang hasil pengerjaan analisis *outlier* dengan menggunakan metode *Z Score* pada masing – masing produk semen yang diteliti.

Tabel 5. 32 Hasil Uji *Z-Score* Pada Semen Tiga Roda

Tiga Roda					
Umur Beton	**Kuat Tekan**	**Rata - Rata**	**Stdev**	**Z Score**	**Kategori**
7	34,353	33,950	2,446	0,165	*Inlier*
	36,169			0,907	*Inlier*
	31,327			-1,072	*Inlier*
14	42,465	40,850	4,222	0,383	*Inlier*
	44,026			0,752	*Inlier*
	36,058			-1,135	*Inlier*
21	34,375	41,115	6,320	-1,067	*Inlier*
	46,907			0,916	*Inlier*
	42,064			0,150	*Inlier*
28	42,328	40,372	2,817	0,694	*Inlier*
	41,644			0,452	*Inlier*
	37,143			-1,146	*Inlier*

Tabel 5. 33 Hasil Uji *Z-Score* Pada Semen Dynamix

Dynamix					
Umur Beton	**Kuat Tekan**	**Rata - Rata**	**Stdev**	**Z Score**	**Kategori**
7	34,637	36,960	2,528	-0,919	*Inlier*
	39,653			1,065	*Inlier*
	36,591			-0,146	*Inlier*
14	43,123	44,838	1,523	0,538	*Inlier*
	46,03			1,227	*Inlier*
	45,362			1,069	*Inlier*
21	43,209	41,210	1,917	0,316	*Inlier*
	39,388			-0,288	*Inlier*
	41,032			-0,028	*Inlier*
28	45,999	41,228	9,933	0,480	*Inlier*
	29,809			-1,150	*Inlier*
	47,875			0,669	*Inlier*

Tabel 5. 34 Hasil Uji *Z-Score* Pada Semen Grobokan

Grobokan					
Umur Beton	**Kuat Tekan**	**Rata - Rata**	**Stdev**	**Z Score**	**Kategori**
7	37,415	37,136	6,551	0,043	*Inlier*
	30,449			-1,021	*Inlier*
	43,543			0,978	*Inlier*
14	38,776	41,625	4,207	-0,677	*Inlier*
	46,457			1,149	*Inlier*
	39,641			-0,471	*Inlier*
21	50,389	36,242	17,403	0,813	*Inlier*
	16,809			-1,117	*Inlier*
	41,529			0,304	*Inlier*
28	40,647	48,325	6,731	-1,141	*Inlier*
	53,209			0,726	*Inlier*
	51,118			0,415	*Inlier*

Dari hasil uji dengan metode *Z-Score* disetiap merek semen pada laju perkembangan umur beton, didapatkan bahwa semua hasil kuat tekan masih dalam kategori *inlier*. Sehingga seluruh hasil pengujian kuat tekan setiap merek semen pada perkembangan umur beton dapat diterima.

Dari beberapa faktor yang telah dijabarkan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa pentingnya dalam memilih metode serta proses pengerjaan campuran beton sesuai dengan standar SNI 03-2834-2000 supaya faktor – faktor yang di dapatkan seperti terjadinya segregasi, laju perkembangan umur beton tidak konsisten, dan lain - lain dapat di minimalkan.

Pengujian sifat mekanik beton (kuat tekan) akan sangat berhubungan dengan hasil pengujian sifat fisik semen pada masing – masing produk semen yang diuji. Berikut ini penjelasannya.

Kehalusan semen adalah parameter fisik semen yang mempengaruhi kuat tekan beton pada reaksi hidrasi dan pembentukan struktur pasta semen. Optimalisasi kehalusan semen dapat meningkatkan kualitas dan kekuatan beton secara signifikan. Berdasarkan pada penelitian yang dikerjakan oleh Afni & Hernawati (2015) yang berjudul Pengaruh Kehalusan Semen Terhadap Kuat Tekan Mortar. Dari penelitiannya menjelaskan bahwa kehalusan semen, ukuran partikel semen semakin kecil, sehingga luas permukaan spesifik semen bertambah. Hal ini mempercepat reaksi hidrasi semen dan pembentukan ikatan antar partikel semen dengan agregat, sehingga meningkatkan kuat tekan beton atau mortar. Begitu juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Berty et al (2016) yang berjudul Pengaruh Kehalusan Semen Terhadap Peningkatan Kekuatan Mortar. Studi menunjukkan bahwa peningkatan tingkat kehalusan semen berbanding lurus dengan peningkatan kuat tekan mortar, dengan peningkatan kuat tekan mencapai lebih dari 20% pada semen yang yang lebih luas halus dibandingkan dengan semen standar. Tetapi jika terlalu halus, bisa terjadi penurunan kuat tekan karena reaksi hidrasi yang terlalu cepat dan mikrostruktur yang rapuh.

Pengujian waktu ikat dan konsistensi normal semen juga sangat berhubungan terhadap hasil kuat tekan beton. Semakin cepat waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semen, maka akan mempercepat proses hidrasi dan pengerasan campuran beton

sehingga beton dapat mulai kuat lebih awal. Pana penelitian yang dilakukan oleh Firnanda & Kurniawandy (2021) yang berjudul Kuat Tekan Beton dan Waktu Ikat Semen Portland Komposit (PCC), menjelaskan perbedaan waktu ikat semen dan korelasinya dengan faktor umur serta kuat tekan beton. Kelebihan waktu ikat menyebabkan pengerasan terhambat dan berpotensi menurunkan kuat tekan beton jika berlebihan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Qirom & Pertiwi (2020) yang berjudul Analisis Pengikatan Awal dan Pengerasan Semen Menggunakan Gula Pasir (Reterder) Ditinjau Dari Kuat Tekan Beton, menjelaskan bahwa semakin lama waktu pengerasan semen dapat menurunkan kuat tekan beton karena hidrasi yang tertunda menyebabkan struktur mikro menjadi kurang optimal.

5.8.2 Analisis Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi beton dilakukan sebagai indikator untuk mengetahui daya serap beton terhadap air. Hasil pengujian akan menunjukkan variasi nilai absorpsi yang berbeda pada masing – masing produk semen. Berikut ini adalah hasil uji absorpsi beton pada umur 28 hari dengan tiga produk semen yang berbeda yaitu semen Tiga Roda, Semen Dynamix, dan Semen Grobokan yang tercantum pada Tabel 5.35 – Tabel 5.37

Tabel 5. 35 Absorpsi Beton Umur 28 Hari Semen Tiga Roda

Uraian	Absorpsi Beton (%)			
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata - Rata
Berat Beton Kering Oven (A)	12596 gr	12247 gr	12235 gr	12415,500 gr
Berat Beton Basah (B)	13111 gr	12927 gr	12849 gr	12980 gr
Absorpsi Beton ((B-A)/A)*100%	4,089%	5,552%	5,018%	4,886%

Tabel 5. 36 Absorpsi Beton Umur 28 Hari Semen Dynamix

Uraian	Absorpsi Beton (%)			
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata - Rata
Berat Beton Kering Oven (A)	12326 gr	11940 gr	12251 gr	12288,500 gr
Berat Beton Basah (B)	12776 gr	12818 gr	12887 gr	12831,500 gr
Absorpsi Beton ((B-A)/A)*100%	3,651%	7,353%	5,191%	5,399%

Tabel 5. 37 Absorpsi Beton Umur 28 Hari Semen Grobokan

Uraian	Absorpsi Beton (%)			
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Sampel 3**	**Rata - Rata**
Berat Beton Kering Oven (A)	12261 gr	12335 gr	12093 gr	12177 gr
Berat Beton Basah (B)	12784 gr	12919 gr	12814 gr	12799 gr
Absorpsi Beton ((B-A)/A)*100%	4,266%	4,734%	5,962%	4,987%

Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan nilai absorpsi (penyerapan) beton yang sudah dilakukan pengujian semen Grobokan.

1. Sampel 1

   Berat Beton Kering Oven (A) = 12261 gram

   Berat Beton Basah (B) = 12784 gram

   Absorpsi Beton $= \frac{(B-A)}{A} \times 100\%$

   $= \frac{(12784-12261)}{12261} \times 100\%$

   = 3,651%

2. Sampel 2

   Berat Beton Kering Oven (A) = 12335 gram

   Berat Beton Basah (B) = 12919 gram

   Absorpsi Beton $= \frac{(B-A)}{A} \times 100\%$

   $= \frac{(12919-12335)}{12335} \times 100\%$

   = 4,734%

3. Sampel 3

   Berat Beton Kering Oven (A) = 12093 gram

   Berat Beton Basah (B) = 12814 gram

   Absorpsi Beton $= \frac{(B-A)}{A} \times 100\%$

   $= \frac{(12814-12093)}{12093} \times 100\%$

   = 5,962%

4. Rata – Rata Sampel

Berat Beton Kering Oven (A) $= \frac{sampel\ 1+sampel\ 2+sampel\ 3}{3}$

$= \frac{12261\ +12335\ +12093}{3}$

$= 12177$ gram

Berat Beton Basah (B) $= \frac{sampel\ 1+sampel\ 2+sampel\ 3}{3}$

$= \frac{12784\ +12919\ +12814}{3}$

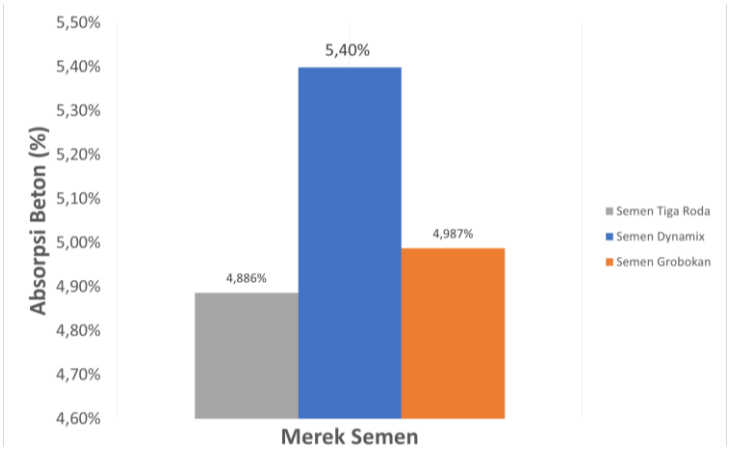
$= 12799$ gram

Absorpsi Beton $= \frac{sampel\ 1+sampel\ 2+sampel\ 3}{3}$

$= \frac{3{,}651\% +4{,}734\%+5{,}962\%}{3}$

$= 4{,}987\%$.

Begitu juga perhitungan diatas digunakan untuk menghitung pada produk semen Tiga Roda dan semen Dynamix. Setelah didapatkan nilai absorpsi (penyerapan) beton dengan analisis perhitungan, maka dilakukan rekapitulasi perbandingan antara ketiga semen tersebut melalui Gambar 5.15 sebagai berikut.



Gambar 5. 15 Grafik Rekapitulasi Perbandingan Absorpsi Setiap Merek Semen

Dari hasil rekapitulasi hasil uji absorpsi beton setiap produk semen, didapatkan absorpsi beton pada Semen Tiga Roda, Semen Dynamix, dan Semen Grobokan secara berturut – turut sebesar 4,886%, 5,399%, dan 4,987%. Dengan

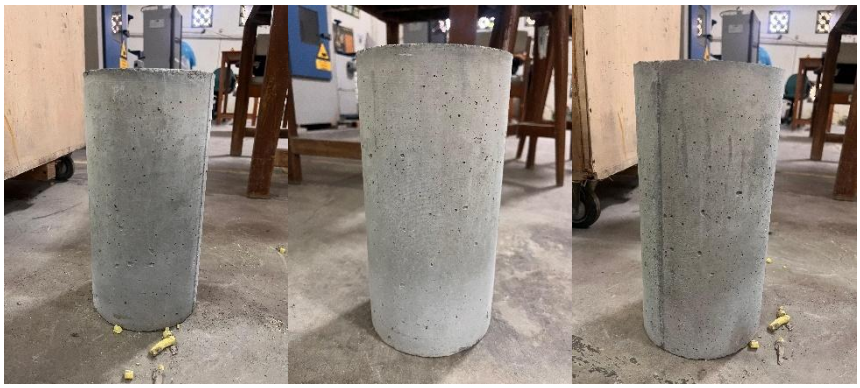
berdasarkan acuan pada SK-SNI-S-36-1990-03 Spesifikasi Beton Kedap Air, dan SNI-03-6433-2000 Metode Pengujian Kerapatan Penyerapan Rongga Dalam Beton Yang Mengeras. klasifikasi absorpsi terdiri dari 3 bagian yaitu absorpsi rendah ≤ 3%, absorpsi sedang 3 – 5%, dan absorpsi tinggi > 5%.

Dilihat dari hasil pengujian absorpsi setiap produk semen yang diuji nilai absorpsinya terbilang tinggi. Ada faktor alasan nilai absorpsi pada merek semen khususnya pada semen Dynamix memiliki nilai penyerapan yang tinggi. Berikut ini adalah analisis penyebabnya.

Apabila dilihat dari proses persiapan material, perhitungan *mix desgin* untuk menentukan proporsi campuran yang optimum sudah sesuai dengan perhitungan. Namun apabila dilihat berdasarkan proses pembuatan campuran beton, prosedur pengerjaannya sedikit tidak sesuai dengan standar SNI 03-2834-2000. Karena proses pengerjaan campuran beton pada sampel uji absorpsi sama halnya dengan proses pengerjaan campuran beton pada sampel uji kuat tekan. Maka, proses prosedur pengerjaan campuran memiliki kesamaan pada uji kuat tekan beton yang ditampilkan pada Tabel 5. 32 rekapitulasi evaluasi proses dan metode pengujian.

Salah satu penyebab terjadinya hasil tampilan sampel beton yang buruk adalah proses pemadatan beton menggunakan meja vibrator. Apabila menghidupkan vibrator terlalu singkat maka akan menyebabkan rongga – rongga udara masih terperangkap pada saat memasukkan campuran beton ke bekisting, namun jika penggunaan vibrator terlalu lama juga menyebabkan menurunnya kuat tekan karena campuran antara air, agregat, dan semen menjadi terpisah serta tidak merata pada bekisting beton. Berdasarkan SNI 03-3976-1995 Tatacara Pengadukan Beton, dari proses yang kurang teliti tersebut menyebabkan tampilan beton menjadi buruk yang menyebabkan banyak terbentuknya rongga pori, dan meningkatkan porositas beton. Harusnya durasi pemakaian vibrator dilakukan secara optimum yaitu tidak terlalu lama ataupun tidak terlalu singkat.

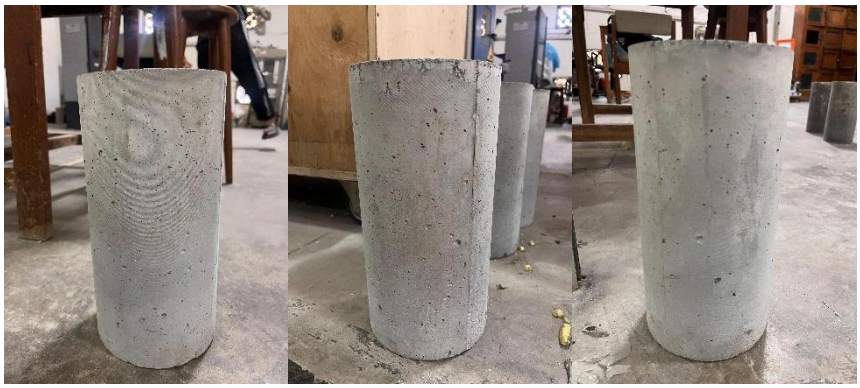
Dari proses prosedur pengerjaan campuran beton yang mengalami ketidaksesuaian tersebut, maka berdampak pada hasil tampilan sampel beton. Berikut ini adalah perbandingan tampilan sampel beton setiap produk semen pada pengujian absorpsi beton.



Gambar 5. 16 Tampilan Sampel Beton Tiga Roda



Gambar 5. 17 Tampilan Sampel Beton Semen Dynamix



Gambar 5. 18 Tampilan Sampel Beton Semen Grobokan

Apabila dilihat dari tampilan sampel beton diatas, semen Dynamix memiliki tampilan yang terburuk dibandingkan dengan produk semen lainnya dikarenakan proses pengerjaan pencampuran beton yang tidak optimum. Pada tampilan hasil

sampel campuran beton yang telah diuji pada kasus semen Dynamix memiliki tekstur yang cenderung kasar, bercak hitam, dan beberapa retakan rambut serta porositas retakan terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa apabila proses prosedur campuran beton yang tidak optimum dapat menyebabkan beton mengalami nilai porositas tinggi yang menyebabkan beton mudah menyerap air serta nilai absorpsi menjadi tinggi. Hal ini berbanding lurus dengan penelitian terdahulu yang menjelaskan bahwa tampilan beton yang buruk seperti retak rambut, bercak hitam, dan porositas yang tinggi dapat menyebabkan nilai absorpsi beton menjadi ikut tinggi.

Pada penelitian Pujianto et al (2019) yang berjudul Kuat Tekan Beton dan Nilai Penyerapan dengan Variasi Perawatan Perendaman Air Laut dan Air Sungai. Penelitian ini menjelaskan bahwa perbedaan kondisi permukaan dan kualitas beton akibat variasi perawatan berdampak signifikan terhadap nilai absorpsi. Ditemukan bahwa beton dengan mutu permukaan yang buruk cenderung memiliki nilai penyerapan yang tinggi, menandakan hubungan erat antara tingkat cacat visual/ mutu permukaan dengan kenaikan absorpsi beton. Pada penelitian Arqowi (2010) yang berjudul Tinjauan absorpsi dan permeabilitas beton kertas pada variasi campuran. Penelitian ini secara jelas menyatakan bahwa peningkatan jumlah dan ukuran pori-pori pada permukaan beton langsung menyebabkan naiknya nilai absorpsi. Banyaknya pori-pori merupakan indikator utama mutu tampilan beton yang buruk, dan kondisi ini membuat nilai absorpsi meningkat secara signifikan.

Adapun hubungan antara sifat fisik semen dan hasil pengujian absorpsi beton yaitu produk semen yang memiliki struktur pasta semen yang lebih padat (kehalusan) cenderung menunjukkan nilai absorpsi yang lebih rendah, yang berarti daya tahan terhadap penetrasi air lebih baik. Serta sebaliknya, apabila struktur pasta semen lebih renggang, maka nilai absorpsi akan cenderung lebih tinggi, yang berarti daya tahan terhadap penetrasi air kurang baik, (Budiono, 2012).

Hasil pengujian absorpsi beton juga sangat berhubungan dengan pengujian konsistensi normal, dan waktu ikat semen. Konsistensi normal semen yang baik dengan perbandingan air semen yang optimum akan cenderung menghasilkan pasta semen yang homogen dengan porositas rendah, sedangkan untuk waktu ikat dapat

mendukung pembentukan struktur yang kompak dan kuat sehingga akan mengurangi nilai absorpsi pada beton.

Dari definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa ketelitian dalam proses pengerjaan campuran beton mulai dari penggunaan air, durasi pemakaian vibrator, dan lain – lain sangat berpengaruh terhadap hasil penyerapan beton. Harusnya pada saat proses pencampuran beton harus dilakukan lebih teliti, dan sesuai standar SNI 03-2834-2000.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui produk semen mana yang memiliki mutu beton yang optimum dalam penggunaan pembangunan konstruksi dengan berfokus pada uji kuat tekan, dan absorpsi (penyerapan) beton pada semen tipe I jenis OPC *Ordinary Portland Cement).* Berdasarkan dari penelitian dan hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Kehalusan semen pada ketiga merek semen sudah memenuhi standar dengan kehalusan semen lolos saringan No. 100 sekitar 99% dan No. 200 sekitar 30,40-37,20. Konsistensi normal semen ketiganya memiliki kesamaan yaitu sebesar 25%, hal ini menandakan kebutuhan air setiap produk semen relatif seragam untuk menghasilkan pasta semen yang homogen. Anomali waktu ikat disebabkan oleh ketidaktelitian pengukuran vicat, pencampuran tidak merata, ketidaksesuaian prosedur pengadukan sesuai SNI, serta faktor perbedaan suhu pada saat pengujian waktu ikat.
2. Pengujian kuat tekan beton pada ketiga produk semen menunjukkan mutu beton sudah melebihi kuat tekan rencana. Namun, terdapat ketidakkonsistenan hasil uji dan pola kenaikan kuat tekan tidak sesuai teori, dipengaruhi oleh ketimpangan hasil, pengurangan volume air, dan durasi pemadatan menggunakan vibrator yang kurang optimal, yang berdampak pada homogenitas dan kepadatan beton. Kehalusan semen berkontribusi positif pada kuat tekan awal, sedangkan perbedaan waktu ikat semen tidak berpengaruh signifikan. Nilai absorpsi beton pada ketiga produk semen memiliki nilai yang cenderung tinggi, menunjukkan porositas dan potensi kerentanan kerusakan yang lebih besar akibat proses pemadatan yang kurang teliti, menyebabkan segregasi dan kerusakan permukaan beton. Struktur pasta semen yang padat dan konsistensi air optimal cenderung menghasilkan

absorpsi beton rendah, namun kegagalan proses dan perawatan menyebabkan nilai absorpsi tidak optimal.

3. Berdasarkan hasil pengujian semen Tiga Roda, semen Dynamix, dan semen Grobokan, pada uji kuat tekan dan uji absorpsi mengalami ketidakkonsistenan hasil uji. Hal ini disebabkan oleh proses pengerjaan campuran beton dan metode pekerjaan dalam melakukan pembuatan sampel beton tidak dilakukan sesuai dengan prosedur yang ada, mulai dari pengurangan volume campuran, durasi pemadatan yang tidak optimum, serta tidak melakukan pengujian *slump* pada setiap campuran beton. Harusnya pada proses pengerjaan campuran dan pekerjaan dalam pembuatan sampel beton harus sesuai dengan standar prosedur yang ada, untuk mengurangi ketidaksesuaian hasil uji seperti nilai kuat tekan pada perkembangan umur mengalami ketidakkonsistenan, beton mengalami segregasi, serta tingginya nilai penyerapan beton.

6.2 Saran

Berikut ini beberapa saran yang dapat dijadikan acuan dalam membuat penelitian dengan judul yang serupa.

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan lebih teliti dalam proses melakukan pembuatan maupun perawatan benda uji khususnya pada pemakaian *vibrator* dan waktu pengujian, karena akan berdampak signifikan pada hasil pengujian yang dilakukan.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan juga lebih teliti dalam melakukan pembacaan pengujian supaya *human error* dan *error* perhitungan pengujian dapat diminimalkan.
3. Untuk proses pengerjaan campuran beton dianjurkan harus sesuai dengan standar prosedur yang ada untuk mengurangi kegagalan pada hasil pengujian.
4. Untuk metode pengujian tidak hanya terbatas pada pengujian kuat tekan dan absorpsi beton, tetapi juga dapat diperluas pada parameter pengujian lainnya seperti kuat tarik belah, modulus elastis, dan lain sebagainya.

5. Perlu dilakukan parameter pengujian kandungan kimia pada produk semen yang akan diteliti untuk pengujian mekanik beton, agar dapat memastikan kualitas dalam segi komposisi semen,ukuran partikel, serta karakteristik semen. Hal ini perlu dilakukan karena sangat berpengaruh pada proses hidrasi semen, serta nilai kuat tekan beton itu sendiri.
6. Judul dari penelitian ini dapat dikembangkan kembali untuk pembuatan penelitian yang lainnya seperti, menambahkan jenis semen yang berbeda misalnya jenis PCC *(Portland Composite Cement)* dan lain - lain supaya dapat membandingkan jenis semen mana yang lebih optimum dari kedua jenis semen yang berbeda. Dari judul ini juga dapat dikaitkan dengan biaya konstruksi seperti efisiensi penggunaan jenis semen terhadap hasil kuat tekan dari produk semen yang berbeda, dan masih banyak lagi.

DAFTAR PUSTAKA

03-2847, S. (2013). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013. *Badan Standarisasi Nasional*, 265. www.bsn.go.id

Afni, N., & Hernawati. (2015). Pengaruh Kerhalusan Semen Terhadapo Kuat Tekan Mortar. In *JFT* (Vol. 2).

Arqowi, P. (2010). *Tinjauan Absorpsi dan Permeabilitas Beton Kertas Pada Variasi Campuran*.

ASTM C33/ C33M -23 (pp. 1–5). (2006). ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0033_C0033M-23

Batubara, S. (2023). Pengujian Kuat Tekan Beton Karakteristik Menggunakan Semen OPC TYPE 1, PPC, dan PCC. https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/jip

Berty, V., Sumajouw, & Wallah, S. (2016). *Pengaruh Kehalusan Semen Terhadap Peningkatan Kekuatan Mortar*.

Budiono. (2012). *Pengaruh Tebal Selimut dan Lama Perendaman Balok Beton Bertulang Dalam Air Laut Terhadap Kedalaman Intrusi*. https://repository.ub.ac.id/id/eprint/141780/

Catur Hartanti, R., & Harisan Ahmad, H. (2024). Pengaruh Perbandingan Merk Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Proporsi 1:2:3 Dan Mutu Beton K225 Journal. In *Jurnal Smart Teknologi* (Vol. 6, Issue 1). http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JST

Darmayanti, P. (2019). Tinjauan Variasi Semen Terhadap Mutu Beton Berdasarkan Kajian Sifat Kimia, Fisika, dan Mekanik (Metode *Destructive* dan *Non Destructive.*

demix.co.id. (2023). *Klasifikasi Mutu Beton & Kegunaannya*. Demix.Co.Id. https://demix.co.id/tabel-mutu-beton/

Dewi, S. U., & Yoga Nanda, A. (2021). Analisis Pengaruh Peningkatan Durasi Waktu Terhadap Kuat Tekan Mutu Beton K-250 Pasca Kebakaran. In *Jurnal Teknika Sains* (Vol. 06).

Firnanda, A., & Kurniawandy, A. (2021). *Kuat Tekan Beton dan Waktu Ikat Semen Portland Komposit (PCC)*.

FM-UII-AA-FKA-08.08/R0. (2008a). *Pemeriksaan Bahan Susun Beton*. 4–136.

FM-UII-AA-FKA-08.08/R0. (2008b). *Pengujian Beton*. 87–136.

FM-UII-AA-FKA-08.08/R0. (2008c). *Perencanaan Campuran (Mix Design) Dan Pembuatan Benda Uji Beton*. 35–136.

Ginting, A. (2019). *Peningkatan kuat tekan pada berbagai umur beton dengan bahan perekat Portland Composite Cement*. https://www.researchgate.net/publication/341287368

https://sementigaroda.com/about-us. (n.d.). *Semen Tiga Roda*. Retrieved May 31, 2025, from https://sementigaroda.com/about-us

https://www.semen-grobogan.com/id/home. (n.d.). *Semen Grobokan*. Https://Www.Semen-Grobogan.Com/Id/Home. Retrieved June 20, 2025, from https://www.semen-grobogan.com/id/home

https://www.sig.id/dynamix-serbaguna. (n.d.). *Semen Dynamix*. Retrieved May 31, 2025, from https://www.sig.id/dynamix-serbaguna

Irawan, R. (2021, August 30). *Membangun Konektivitas Dengan Semen Yang Ramah Lingkungan*. 2021. https://binamarga.pu.go.id/index.php/berita/membangun-konektivitas-dengan-semen-yang-ramah-lingkungan

Ishtiaq, M. (2019). Book Review Creswell, J. W. (2014). Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage. *English Language Teaching*, *12*(5), 40. https://doi.org/10.5539/elt.v12n5p40

Jikriyansyah, M., Wibowo, W., & Setiono, S. (2024). Kajian Maturitas Beton untuk Memprediksi Nilai Kuat Tekan Beton dengan Penggunaan Variasi Semen yang Beredar di Pasaran. *Sustainable Civil Building Management and Engineering Journal*, *1*(2), 9. https://doi.org/10.47134/scbmej.v1i2.2978

Juldin, M., & Alfa, A. (2020). *PENGARUH PENGGUNAAN AIR KOLAM TERHADAP KUAT TEKAN BETON (Studi Kasus Kecamatan. Kateman, Keritang dan Tembilahan Kota)*.

Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm). (1996).

Muhammad, F., & Kusdian, D. (2021). Pengaruh Penggunaan Produk Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Abstrak (Vol. 3, Issue SIMTEKS).

Nazirah Nafiah, A. (2025). Pengaruh Suhu dan Kelembapan Terhadap Nilai Setting Time Pada Semen PCC dan OPC. *Azra Nazirah Nafiah*, *3*(01), 32–41. https://doi.org/10.62668/paradigm.v3i01.1403

Nur Fitriani, D. (2024). Evaluasi Kuat Tekan Beton Menggunakan SNI 03-2847-2019 pada Pekerjaan Perkerasan Bahu Jalan. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, *11*(2). https://doi.org/10.21063/JTS.2024.V1102.151-158

Oktarina, E. (2021). *Uji Profisiensi Agregat dan BetonUntuk Penerapan SNI 17025*.

Pujianto, A., Prayuda, H., Zega, B. C., & Afriandini, B. (2019). Kuat Tekan Beton dan Nilai Penyerapan dengan Variasi Perawatan Perendaman Air Laut dan Air Sungai. *Semesta Teknika*, *22*(2). https://doi.org/10.18196/st.222243

Qirom, O., & Pertiwi, D. (2020). *Analisis Pengikatan Awal Dan Pengerasan Semen Menggunakan Gula Pasir (Retarder) Ditinjau Dari Kuat Tekan Beton*.

Rahmadika, B., & Apriyanti, Y. (2017). Pengaruh Pengurangan Setting Time (Wait on Cement) pada Semen Tahan Api dengan Penambahan Oil Well Cement The Effect of Reducing Setting Time (Wait on Cement) on Fire Mortar by Increasing Oil Well Cement. In *Maret: Vol. II* (Issue 1).

Regita Prameswari, A. (2023). *Pengaruh Penggunaan Ordinary Portland Cement (OPC), Semen Modifikasi Jenis III dan Jenis IV, dan Portland Composite Cement (PCC) Terhadap Kuat Tekan Beton* (Vol. 11, Issue 4).

Regita Prameswari Tw, A., Irianti, L., Sebayang, S., & Isneini, M. (2023). *Pengaruh Penggunaan Ordinary Portland Cement (OPC), Semen Modifikasi Jenis III dan Jenis IV, dan Portland Composite Cement (PCC) Terhadap Kuat Tekan Beton* (Vol. 11, Issue 4).

Setiawan, R. (2022). Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar untuk Beton Terhadap Absorpsi, Kuat Tekan, dan Kuat Tarik Belah.

Shaleh, C. (2024). *Studi Kuat Tekan Beton Fc' 20 MPa Dengan Menggunakan Air Laut*.

SK-SNI-S-36-1990-03 Spesifikasi Beton Kedap Air. (1990).

SNI - 03-4810-1998 - Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Lapangan. (1998).

SNI 02-4142-1996 - Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,75 mm). (1996).

SNI 03 - 6827 - 2002_Metode waktu ikat semen. (2002).

SNI 03-1968-1990 - Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. (1990). www.bsn.go.id

SNI 03-2834-2000 - Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. (2000). www.bsn.go.id

SNI 03-4804-1998 - Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat. (1998). www.bsn.go.id

SNI 15 - 2530 - 1991 (Pengujian Kehalusan Semen Portland). (1991).

SNI 1969:2008 - Cara uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. (2008). www.bsn.go.id

SNI 1970:2008 - Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. (2008). www.bsn.go.id

SNI 1974:2011 - Cara UjiTekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. (2011). www.bsn.go.id

SNI 2049-2015 - Semen Portland. (2015). www.bsn.go.id

SNI 2493:2011-Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. (2011). www.bsn.go.id

SNI 7656:2012 - Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. (2012). www.bsn.go.id

sni-03-3976-1995-tatacara-pengadukan-beton. (n.d.).

SNI-03-6433-2000 Metode Pengujian Kerapatan Penyerapan Rongga Dalam Beton Yang Mengeras. (2000).

SNI-03-6826-2002_Metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland dengan Alat Vicat. (2002).

Sundaryani, I. (2021). *Analisis Perbandingan Kuat TekanBeton Menggunakan Jenis Semen OPC dan Semen OPC*.

Suryadi, D., Nurtanto, D., & Widayanto, E. (2021). *Pengaruh Frekuensi dan Durasi Getaran pada Meja Getar Terhadap Kuat Tekan Beton*.

LAMPIRAN 1

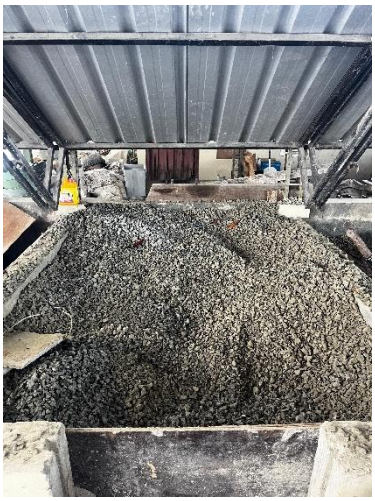
Uraian Kegiatan	Bulan		Januari	Febuari				Maret				April				Mei				Juni			
	Minggu ke -		4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Waktu (Jam)	Bobot (%)																					
Laporan Awal	15	11,90	3	3	3	3	3																
Pengolahan Data																							
Pengumpulan Material dan Bahan	12	9,52						6	6														
Pembuatan Benda Uji (Trial Mix Design)	8	6,35							4	4													
Pembuatan Benda Uji	12	9,52											4	4	4								
Perawatan Benda Uji	2,5	1,98														2,5							
Pengujian Benda Uji	10,5	8,33															3,5	3,5	3,5				
Hasil Perhitungan	30	23,81																	10	10	10		
Laporan Akhir	36	28,57																			12	12	12
Jumlah Total	**126**																						
Rencana Mingguan (Jam)			3	3	3	3	3	6	10	4	0	0	4	4	4	2,5	3,5	3,5	13,5	10	22	12	12
Jam Kerja Kumulatif (Jam)			3	6	9	12	15	21	31	35	35	35	39	43	47	49,5	53	56,5	70	80	102	114	126

Gambar L - 1. 1 Matriks Penyelesaian Pekerjaan Tugas Akhir

LAMPIRAN 2



Gambar L - 2. 1 Agregat Halus



Gambar L - 2. 2 Agregat Kasar



Gambar L - 2. 3 Semen Tipe 1 Jenis OPC *(Ordinary Portland Cement)*



Gambar L - 2. 4 Mesin Saringan Agregat Kasar



Gambar L - 2. 5 Mesin Saringan Agregat Halus



Gambar L - 2. 6 Satu Set Saringan Agregat Kasar



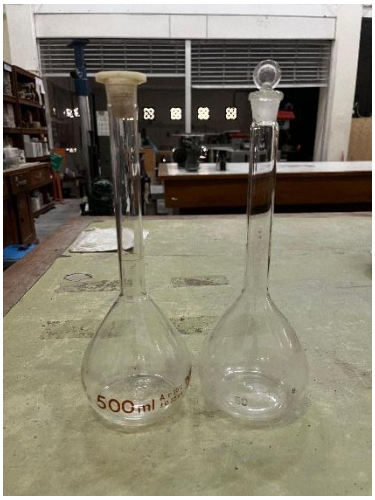
Gambar L - 2. 7 Satu Set Saringan Agregat Halus



Gambar L - 2. 8 Pan/ Cawan



Gambar L - 2. 9 Corong Air



Gambar L - 2. 10 Piknometer Pengujian Berat Jenis Agregat Halus



Gambar L - 2. 11 Alat Pengujian Berat Jenis Basah Agregat Kasar



Gambar L - 2. 12 Oven



Gambar L - 2. 13 Timbangan



Gambar L - 2. 14 Alat Uji Konsistensi dan Waktu Ikat Semen



Gambar L - 2. 15 *Concrete Mixer*



Gambar L - 2. 16 Pelat Penampung Hasil *Mixer*



Gambar L - 2. 17 Kerucut Abrams



Gambar L - 2. 18 Tongkat Penumbuk



Gambar L - 2. 19 Penggaris



Gambar L - 2. 20 Sekop dan Sendok Semen



Gambar L - 2. 21 Ember



Gambar L - 2. 22 Bekisting



Gambar L - 2. 23 Meja Penggetar *(Vibrator)*



Gambar L - 2. 24 Gerobak Angkut



Gambar L - 2. 25 Alat Cetakan *Capping*



Gambar L - 2. 26 Alat Uji Kuat Tekan

LAMPIRAN 3



Gambar L - 3. 1. 1 Perendaman Sampel Beton



Gambar L - 3. 2 Uji *Slump*



Gambar L - 3. 3 Pembuatan *Capping*



Gambar L - 3. 4 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 7 hari Semen Tiga Roda



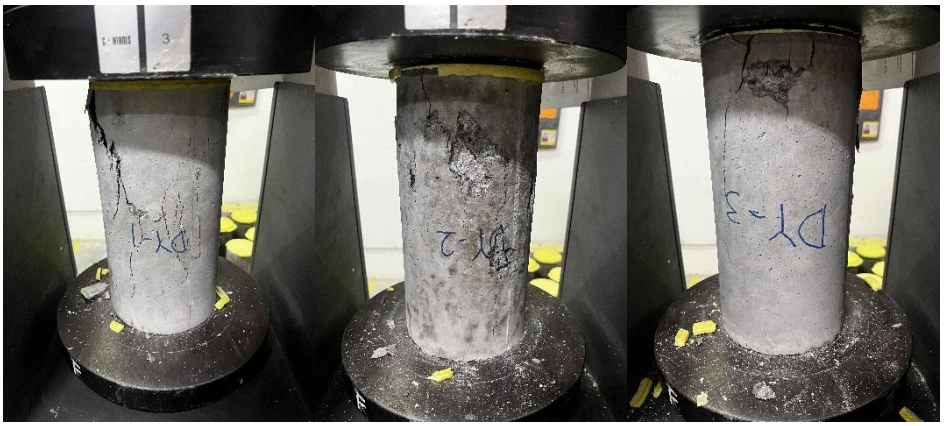
Gambar L - 3. 5 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 7 hari Semen Dynamix



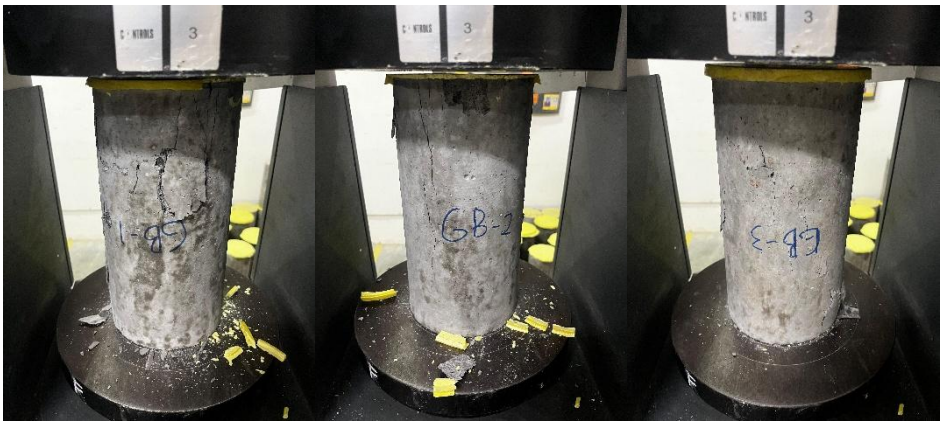
Gambar L - 3. 6 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 7 hari Semen Grobokan



Gambar L - 3. 7 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 14 hari Semen Tiga Roda



Gambar L - 3. 8 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 14 hari Semen Dynamix



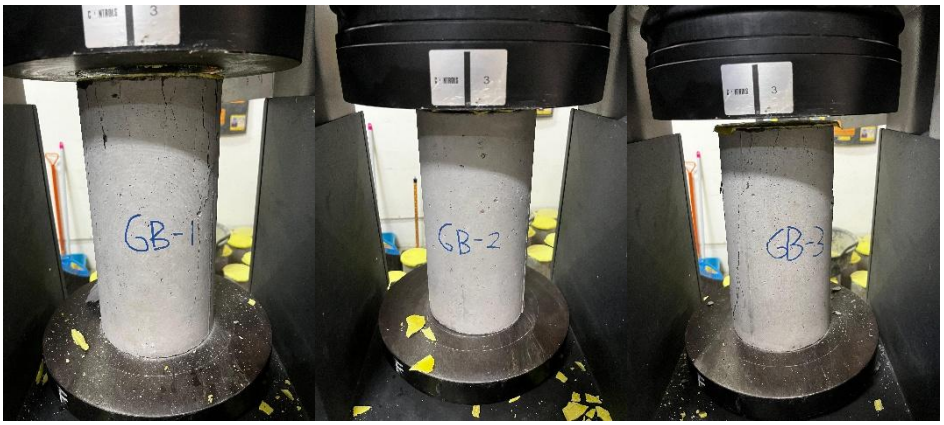
Gambar L - 3. 9 Sampel 1 Uji Kuat Tekan Umur 14 hari Semen Grobokan



Gambar L - 3. 10 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 21 hari Semen Tiga Roda



Gambar L - 3. 11 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 21 hari Semen Dynamix



Gambar L - 3. 12 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 21 hari Semen Grobokan



Gambar L - 3. 13 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 28 hari Semen Tiga Roda



Gambar L - 3. 14 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 28 hari Semen Dynamix



Gambar L - 3. 15 Sampel Uji Kuat Tekan Umur 28 hari Semen Grobokan



Gambar L - 3. 16 Hasil Uji Pengujian Absorpsi Beton