

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN SIKAMENT LN TERHADAP
KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON DENGAN
SERBUK CANGKANG KERANG DARAH SEBAGAI
SUBSTITUTOR SEBAGIAN PASIR
*(THE EFFECET OF ADDING SIKAMENT LN ON THE
COMPRESSIVE STRENGTH AND TENSILE STRENGTH
OF CONCRETE WITH BLOOD CLAM SHELL POWDER AS
PARTIAL SAND SUBSTITUTOR)***

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



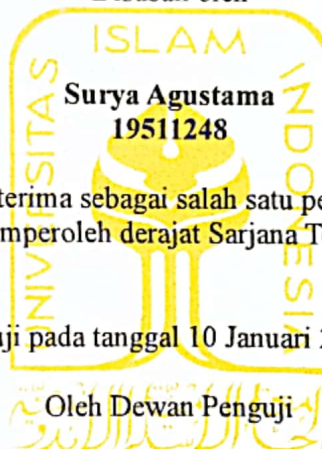
**Surya Agustama
19511248**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN SIKAMENT LN TERHADAP
KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON DENGAN
SERBUK CANGKANG KERANG DARAH SEBAGAI
SUBSTITUTOR SEBAGIAN PASIR
(THE EFFECET OF ADDING SIKAMENT LN ON THE
COMPRESSIVE STRENGTH AND TENSILE STRENGTH
OF CONCRETE WITH BLOOD CLAM SHELL POWDER AS
PARTIAL SAND SUBSTITUTOR)**

Disusun oleh



Surya Agustama
19511248

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

Diuji pada tanggal 10 Januari 2025

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng), IPM.
NIK:095110101

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

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK:165111301

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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 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 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, 16 Januari 2025

Yang membuat pernyataan,



Surya Agustama

(19511248)

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya, sehingga Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan Sikament LN Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton dengan Serbuk Cangkang Kerang Darah Sebagai Substitutor Sebagian Pasir” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis menghadapi berbagai tantangan, namun, berkat bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak, tugas akhir ini akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih atas kerja sama dan dukungan yang diberikan selama proses penelitian hingga penyelesaian tugas akhir ini.

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng).,IPM. selaku Dosen Pembimbing Proposal Tugas Akhir dan Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I.
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II.
4. Bapak Legiman, S.IP., A.Ptnh., S.H. dan Ibu Setyowati selaku orang tua penulis dan kedua adik saya yang telah memberikan semangat, do’a dan nasihat, serta pengorbanan baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
5. Seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan dan do’a.
6. Teman-teman yang telah berkontribusi selama proses Penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan dapat menjadi referensi serta sumber inspirasi untuk penelitian di masa depan.

Yogyakarta, 16 Januari 2025

Penulis,

Surya Agustama

(19511248)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan	9
2.3 Keaslian Penelitian	15
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 Beton	16
3.2 Bahan Penyusun Beton	16
3.2.1 Semen <i>Portland</i>	16
3.2.2 Agregat Halus	17
3.2.3 Agregat Kasar	18
3.2.4 Air	19
3.3 Cangkang Kerang	20

3.4 Superplasticizer	21
3.5 Perencanaan Campuran Beton	23
3.6 Pengujian <i>Slump</i>	31
3.7 Perawatan Benda Uji	32
3.8 Kuat Tekan Beton	33
3.9 Kuat Tarik Belah Beton	34
BAB IV METODE PENELITIAN	35
4.1 Tinjauan Umum	35
4.2 Variabel Penelitian	35
4.3 Bahan-bahan Penyusun Benda Uji	36
4.4 Peralatan yang Digunakan	38
4.5 Silinder Benda Uji	43
4.6 Pelaksanaan Penelitian	44
4.6.1 Persiapan	44
4.6.2 Pengujian Agregat	44
4.6.3 Pengujian Serbuk Cangkang Kerang	45
4.6.4 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	45
4.6.5 Pembuatan Benda Uji	45
4.6.6 Pengujian Benda Uji	46
4.6.7 Analisis Data dan Pembahasan	47
4.6.8 Kesimpulan dan Saran	47
4.7 Diagram Alir Penelitian	47
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	50
5.1 Tinjauan Umum	50
5.2 Pengujian Agregat Halus	50
5.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	50
5.2.2 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	52
5.2.3 Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus	58
5.2.4 Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Kadar Lumpur) Agregat Halus	60
5.3 Pengujian Agregat Kasar	61
5.3.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	62
5.3.2 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar	63

5.3.3 Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar	69
5.4 Pengujian Serbuk Kerang	71
5.4.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Serbuk Kerang	71
5.4.2 Pengujian Analisa Saringan Serbuk Kerang	72
5.4.3 Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Serbuk Kerang	78
5.4.4 Pengujian Lolos Saringan No.200 (Kadar Lumpur) Cangkang Kerang	80
5.5 Perencanaan Campuran Beton	81
5.6 Hasil Pengujian Benda uji	89
5.6.1 Hasil Pengujian <i>Slump</i>	89
5.6.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	91
5.6.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	95
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	100
6.1 Kesimpulan	100
6.2 Saran	101
DAFTAR PUSTAKA	102
LAMPIRAN	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	10
Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Halus	18
Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Kasar	19
Tabel 3. 3 Komposisi Kimia dalam Cangkang Kerang Darah	21
Tabel 3. 4 Faktor Pengali Deviasi Standar	23
Tabel 3. 5 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan FAS	24
Tabel 3. 6 Perkiraan Kebutuhan Air Kubik Beton	26
Tabel 3. 7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus	27
Tabel 3. 8 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton	33
Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji	43
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	51
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	54
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	55
Tabel 5. 4 Daerah Gradasi Pasir	57
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	60
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	60
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Kadar Lumpur)	61
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	63
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	66
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	66
Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	70
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	70
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Serbuk Kerang	72
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Analisa Saringan Serbuk Kerang Sampel 1	75
Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Serbuk Kerang Sampel 2	75
Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Serbuk Kerang	79

Tabel 5. 17 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	79
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Kadar Lumpur) Serbuk Cangkang Kerang	80
Tabel 5. 19 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5 yang digunakan di Indonesia	82
Tabel 5. 20 Perkiraan Kadar Air Bebas Tiap m ³ Beton	84
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton	89
Tabel 5. 22 Hasil Pengujian <i>Slump</i>	89
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	92
Tabel 5. 24 Kuat Tekan Beton Rata-rata	93
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	96
Tabel 5. 26 Kuat Tarik Belah Beton Rata-rata	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Kerang Darah	20
Gambar 3. 2 Informasi Produk Sikament LN	22
Gambar 3. 3 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen pada benda Uji Silinder	25
Gambar 3. 4 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Agregat yang Direkomendasikan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm	28
Gambar 3. 5 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Agregat yang Direkomendasikan Untuk Ukuran Maksimum 40 mm	28
Gambar 3. 6 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	30
Gambar 3. 7 Pengujian <i>Slump</i>	32
Gambar 3. 8 Proses Perendaman Beton	32
Gambar 3. 9 Sketsa Uji Kuat Tekan Beton	33
Gambar 3. 10 Sketsa Uji Kuat Tarik Belah Beton	34
Gambar 4. 1 Semen	36
Gambar 4. 2 Agregat Halus	36
Gambar 4. 3 Agregat Kasar	37
Gambar 4. 4 Air	37
Gambar 4. 5 Serbuk Cangkang Kerang	38
Gambar 4. 6 Sikament LN	38
Gambar 4. 7 Piknometer	39
Gambar 4. 8 Timbangan	39
Gambar 4. 9 Ayakan	40
Gambar 4. 10 Ember	40
Gambar 4. 11 Oven	40
Gambar 4. 12 Cetakan Benda Uji	41
Gambar 4. 13 <i>Concrete Mixer</i>	41
Gambar 4. 14 Kerucut <i>Abbrams</i>	42

Gambar 4. 15 Sekop	42
Gambar 4. 16 Mesin Uji Kuat Tekan	42
Gambar 4. 17 Mesin Uji Kuat Tarik	43
Gambar 4. 18 Diagram Alir Penelitian	48
Gambar 5. 1 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	57
Gambar 5. 2 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	58
Gambar 5. 3 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	68
Gambar 5. 4 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	68
Gambar 5. 5 Analisa Saringan Serbuk Cangkang Kerang Sampel 1	77
Gambar 5. 6 Analisa Saringan Serbuk Cangkang Kerang Sampel 2	77
Gambar 5. 7 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)	83
Gambar 5. 8 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Agregat Total	85
Gambar 5. 9 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Dipadatkan	86
Gambar 5. 10 Grafik Hasil Pengujian <i>Slump</i>	90
Gambar 5. 11 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton	93
Gambar 5. 12 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	98

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Time Schedule</i>	105
Lampiran 2 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium	106
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton	107
Lampiran 4 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton pada Setiap Variasi	108
Lampiran 5 Proses Pengujian	109
Lampiran 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	112
Lampiran 7 Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton	114

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

f'_c	= Kuat tekan beton (MPa)
PCC	= Portland Composite Cement
MPa	= Megapascal
f_{as}	= Faktor air semen
Sd	= Deviasi standar
SNI	= Standar Nasional Indonesia
M	= Nilai standar
f'_{cr}	= Kuat tekan beton rencana
W	= Jumlah air yang dibutuhkan
Wh	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)
Wk	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)
PBI	= Peraturan beton Indonesia
c	= Jumlah Semen (kg/m^3)
w	= Kadar air bebas
SSD	= Saturated Surface Dry
%AH	= Persentase agregat halus (%)
%AK	= Persentase agregat kasar (%)
BJAK	= Berat jenis agregat kasar
BJAH	= Berat jenis agregat halus
BJAG	= Berat jenis agregat gabungan
P	= Beban maksimum (N)
Bk	= Berat benda uji kering oven (gram)
B	= Berat piknometer berisi air (gram)
Bt	= Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
A	= Luas penampang benda uji (mm^2)
T	= Kuat tarik belah (MPa)
L	= Panjang silinder (mm)
D	= Diameter silinder (mm)

cm	= Centimeter
mm	= Milimeter
m	= Meter
kg	= Kilogram
°C	= Derajat celcius
MHB	= Modulus halus butir
V	= Volume silinder (cm ³)

ABSTRAK

Beton merupakan material utama dalam konstruksi gedung, jalan, dan infrastruktur lainnya. Tingginya kebutuhan beton dalam pembangunan infrastruktur memotivasi penelitian untuk meningkatkan kekuatan beton, termasuk eksplorasi bahan pengganti atau penambah campuran beton dari limbah lokal. Salah satu bahan yang dipertimbangkan adalah limbah cangkang kerang darah. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan *superplasticizer* Sikament LN dengan variasi 0%, 1%, 1,25%, dan 1,5% dari berat semen pada beton dengan 10% serbuk cangkang kerang darah sebagai substitusi sebagian pasir terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental yang meliputi pengujian agregat, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, dan pengujian kuat tekan serta kuat tarik beton setelah dilakukan perawatan beton selama 28 hari. Perhitungan perencanaan campuran dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Sikament LN dan substitusi serbuk cangkang kerang darah secara signifikan meningkatkan kekuatan beton. Kuat tekan beton meningkat antara 5,402% hingga 29,574%, sementara kuat tarik belah meningkat antara 11,779% hingga 27,793%. Nilai kekuatan tertinggi dicapai pada beton dengan 1,5% Sikament LN dan 10% serbuk cangkang kerang darah, dengan kuat tekan 27,361 MPa dan kuat tarik belah 2,757 MPa, dibandingkan beton normal dengan kuat tekan 21,116 MPa dan kuat tarik 2,157 MPa. Hasil ini menunjukkan potensi penggunaan limbah cangkang kerang darah dan *superplasticizer* Sikament LN sebagai bahan tambahan yang efektif dalam meningkatkan performa beton.

Kata kunci : Serbuk cangkang kerang darah, *superplasticizer* Sikament LN, kuat tekan, kuat tarik

ABSTRACT

Concrete is a key material in the construction of buildings, roads, and other infrastructure. The high demand for concrete in infrastructure development motivates research to improve the strength of concrete, including the exploration of substitutes or additives to concrete mixes from local waste. One of the materials considered is blood clam shell waste. This study aims to identify the effect of adding Sikament LN superplasticizer with variations of 0%, 1%, 1.25%, and 1.5% by weight of cement in concrete with 10% blood clam shell powder as a partial substitution of sand on the compressive strength and tensile strength of concrete.

This research was conducted with an experimental method which includes aggregate testing, mix planning, making test specimens, and testing the compressive strength and tensile strength of concrete after curing the concrete for 28 days. The calculation of mix planning is based on SNI 03-2834-2000.

The results showed that the addition of Sikament LN and the substitution of blood clam shell powder significantly improved the strength of concrete. The compressive strength of concrete increased between 5.402% to 29.574%, while the split tensile strength increased between 11.779% to 27.793%. The highest strength values were achieved in concrete with 1.5% Sikament LN and 10% blood clam shell powder; with a compressive strength of 27.361 MPa and split tensile strength of 2.757 MPa, compared to normal concrete with a compressive strength of 21.116 MPa and tensile strength of 2.157 MPa. These results demonstrate the potential of using blood clam shell waste and Sikament LN superplasticizer as effective additives in improving concrete performance.

Keywords : *blood clam shell powder, superplasticizer Sikament LN, compressive strength, tensile strength*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah bahan konstruksi yang digunakan dalam proyek konstruksi seperti konstruksi gedung, jalan, dan infrastruktur lainnya. SNI 2847:2019 menyatakan bahwa beton adalah campuran dari agregat kasar, agregat halus, semen portland maupun semen hidrolis, dan air, baik dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*). Tingginya penggunaan beton dalam pembangunan infrastruktur mendorong berbagai penelitian untuk meningkatkan kekuatan beton, termasuk penelitian tentang bahan pengganti atau penambah campuran beton. Untuk mencapai nilai kuat tekan yang diinginkan, bahan penambah campuran beton seringkali diambil dari bahan lokal yang telah menjadi limbah. Salah satu bahan pengganti yang diperhatikan adalah limbah cangkang kerang.

Agregat halus merupakan komponen penting dalam campuran beton, dan penggunaannya telah menjadi fokus utama dalam upaya meningkatkan performa beton. Salah satu alternatif yang menarik adalah penggunaan cangkang kerang darah sebagai agregat halus. Cangkang kerang darah yang akan digunakan dihaluskan dan di saring sehingga lolos saringan No.4 dan tertahan di saringan No.200 memiliki ukuran butiran kurang dari 4,80 mm sehingga menyerupai karakteristik bentuk agregat halus, selanjutnya dapat digunakan sebagai substitusi agregat halus. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Arbi (2015), serbuk cangkang kerang memiliki kandungan kapur, silica, mangan oksida, alumina dan lainnya yang baik untuk meningkatkan mutu beton, sehingga nilai kuat tekan beton pada benda uji yang menggunakan serbuk cangkang kerang darah sebesar 5% sampai 10% sebagai substitusi agregat halus mengalami kenaikan 13,1% sampai 27,7% dari beton normal. Menurut Syafpoetri (2013), cangkang kerang mengandung senyawa kimia dengan sifat pozolan dan memiliki kadar zat kapur (CaO) sebesar 55,10%. Oleh karena itu, limbah cangkang kerang dapat

dimanfaatkan dalam berbagai bidang, termasuk konstruksi. Dengan kandungan zat kapur yang tinggi, cangkang kerang diharapkan dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus dalam campuran bahan beton.

Pada dasarnya serbuk cangkang kerang itu sendiri bisa menyerap air pada adukan beton atau campuran beton, dan mengurangi kadar air tersebut sehingga membuat adukan pada beton menjadi kekurangan air, yang mengakibatkan *workability* menurun sehingga memerlukan *superplasticizer* guna meningkatkan kelacakan dan meningkatkan nilai *slump* pada campuran beton serta dapat meningkatkan mutu beton karena mengurangi penggunaan air sehingga faktor air semen menjadi lebih rendah. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Umar (2020), beton dengan variasi campuran cangkang kerang darah sebesar 8%, 10%, dan 12% dari berat agregat halus, serta penambahan *superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen pada setiap variasi, nilai kuat tekan yang diperoleh adalah 26,42 MPa, 29,44 MPa, dan 24,16 MPa, semua variasi tersebut mengalami kenaikan dibanding dengan beton normal yang memiliki nilai kuat tekan 23,54 MPa. Dengan demikian, variasi campuran 10% cangkang kerang dengan penambahan *superplasticizer* 1% menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 29,44 MPa, yang merupakan nilai optimum.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini meneruskan penelitian yang dilakukan oleh Umar (2020) yang telah mendapatkan nilai kuat tekan optimum pada variasi campuran cangkang kerang 10%, sehingga pada penelitian ini menggunakan campuran beton dengan substitusi serbuk cangkang kerang sebesar 10% sebagai substitutor sebagian agregat halus tanpa penambahan *superplasticizer* dan dengan penambahan *superplasticizer* dengan variasi sebesar 1%, 1,25%, dan 1,5%, pada penelitian ini *superplasticizer* yang digunakan adalah Sikament LN. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana Sikament LN dan substitusi serbuk cangkang kerang berdampak pada nilai kuat tekan dan kuat tarik beton. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan ide tentang cara lain untuk memanfaatkan cangkang kerang selain digunakan sebagai kerajinan tangan namun

juga dapat memanfaatkan limbah cangkang kerang untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan material konstruksi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan variasi Sikament LN serta serbuk cangkang kerang darah sebagai substitusi sebagian pasir terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton?
2. Bagaimana perbandingan kuat tekan dan kuat tarik belah beton normal dengan beton yang menggunakan penambahan variasi Sikament LN dan substitusi sebagian pasir menggunakan serbuk cangkang kerang darah?
3. Bagaimana hasil nilai kuat tekan dan kuat tarik tertinggi pada beton dengan variasi Sikament LN 0%, 1%, 1,25%, dan 1,5% dari berat semen, serta substitusi sebagian pasir menggunakan serbuk cangkang kerang darah sebesar 10% dari berat pasir?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari disusunnya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi pengaruh penambahan variasi Sikament LN serta serbuk cangkang kerang darah sebagai substitusi sebagian pasir terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton.
2. Mengetahui perbandingan kuat tekan dan kuat tarik belah beton normal dengan beton yang menggunakan penambahan variasi Sikament LN dan substitusi sebagian pasir menggunakan serbuk cangkang kerang darah.
3. Mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik tertinggi pada beton dengan variasi Sikament LN 0%, 1%, 1,25%, dan 1,5% dari berat semen, serta substitusi sebagian pasir menggunakan serbuk cangkang kerang darah sebesar 10% dari berat pasir.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman yang lebih baik tentang sifat beton, yang akan memungkinkan kemajuan dalam teknologi beton untuk meningkatkan mutu dan kualitasnya.
2. Dapat menjadi salah satu referensi untuk digunakan membuat campuran beton dengan menggunakan serbuk cangkang kerang darah dan Sikament LN.
3. Penelitian ini diharapkan dapat membantu mengurangi limbah cangkang kerang darah yang sulit terurai secara alami serta mendukung perkembangan teknologi konstruksi.

1.5 Batasan Masalah

Batasan penelitian diperlukan agar penelitian yang mendalam dapat dilakukan. Berikut adalah batasan penelitian ini:

1. Substitusi pasir dengan serbuk cangkang kerang sebesar 10% terhadap berat agregat halus yang ditentukan berdasarkan penelitian Umar (2020).
2. Serbuk cangkang kerang yang digunakan adalah serbuk cangkang kerang darah yang didapatkan dari salah satu pabrik penggilingan cangkang kerang di Pasuruan, Jawa Timur.
3. Menggunakan *superplasticizer* merk Sikament LN dengan variasi 0% , 1%, 1,25%, dan 1,5%.
4. Menggunakan semen *portland* jenis I dengan merk Tiga Roda jenis PCC (*Portland Composite Cement*).
5. Kuat tekan rencana beton yaitu f'_c 20 MPa.
6. SNI 03-2834-2000 sebagai acuan untuk *mix design*.
7. Pengujian dilaksanakan saat beton sudah berumur 28 hari.
8. Menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

9. Benda uji tiap variasi sebanyak 5 buah, sehingga total benda uji berjumlah 50 buah benda uji.
10. Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan dan kuat tarik beton.
11. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Sungai Progo, Kulon Progo.
12. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari tempat pemecah batu di Clereng, Kulon Progo.
13. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang membahas tentang penggunaan cangkang kerang dan *superplasticizer* pernah diteliti oleh peneliti sebelumnya dengan detail sebagai berikut.

1). Penelitian berjudul “Analisis Kuat Tekan Beton yang Menggunakan Kulit Kerang Sebagai Substitusi Pasir dan Bahan Tambah *Superplasticizer*” yang dilakukan oleh Umar (2020), bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi penggunaan kulit kerang sebagai pengganti sebagian pasir dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton normal. Selain itu, penelitian ini juga meneliti komposisi optimal dari penggunaan kulit kerang dan *superplasticizer* terhadap tingkat workabilitas beton.

Pengujian beton dilakukan menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran 150 mm x 300 mm dengan target kuat tekan 20 MPa. Persentase kulit kerang yang digunakan sebagai pengganti pasir adalah 0%, 8%, 10%, dan 12%, serta ditambahkan 1% *superplasticizer*. Pengujian dilakukan setelah beton direndam selama 28 hari. Pada beton yang diuji setelah umur beton 28 hari, penambahan kulit kerang sebesar 10% sebagai pengganti pasir menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 29,44 MPa.

2). Penelitian dengan judul "Analisis Penambahan Serbuk Cangkang Kerang terhadap Kuat Tekan Beton" yang dilakukan oleh Anggiani (2022), bertujuan untuk mengidentifikasi nilai kuat tekan beton setelah penambahan serbuk cangkang kerang serta membandingkannya dengan nilai kuat tekan beton tanpa serbuk cangkang kerang atau beton normal. Pada pengujian ini, digunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm untuk mengukur

kuat tekan beton. Variasi penambahan serbuk cangkang kerang yang diterapkan adalah 3%, 6%, 9%, dan 12%.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada beton berumur 7 hari diperoleh pada beton normal, yaitu sebesar 192,23 Kg/cm², sedangkan nilai terendah terdapat pada beton dengan variasi 12%, yaitu 137,62 Kg/cm². Pada pengujian kuat tekan pada beton berumur 14 hari, variasi 3% mencatat nilai kuat tekan tertinggi sebesar 238,82 Kg/cm².

3). Penelitian yang berjudul “Analisis Pemanfaatan Cangkang Kerang Sebagai Substitusi Pasir Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Beton Normal” oleh Firatama, Qomariah, dan Sugiharti (2020), bertujuan untuk menganalisis karakteristik beton dengan menggunakan limbah cangkang kerang darah sebagai pengganti pasir. Penelitian ini meliputi pengujian kuat tekan dan daya serap beton. Pengujian dilakukan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm. Uji kuat tekan dilakukan pada beton yang direndam selama 7, 14, dan 28 hari, sementara uji daya serap beton dilakukan pada beton yang direndam selama 14 dan 28 hari. Variasi yang diterapkan dalam masing-masing uji kuat tekan dan daya serap beton adalah 0%, 7%, 9%, dan 12% dari berat agregat halus.

Nilai kuat tekan beton rata-rata tertinggi, pada variasi campuran normal pada umur 28 hari, sebesar 34,47 MPa, variasi campuran 7% sebesar 32,20 MPa, variasi campuran 9% sebesar 32,16 MPa, dan variasi campuran 12% sebesar 32,56 MPa. Penggunaan substitusi pasir dengan limbah cangkang kerang darah berdampak menurunkan nilai kuat tekan beton rata-rata dan berat beton yang semakin ringan dari setiap penambahan jumlah variasi. Tetapi pada 3 variasi tersebut masih memenuhi kuat tekan yang direncanakan¹. Nilai daya serap beton tertinggi pada umur 28 hari dengan variasi campuran normal sebesar 4,94%, variasi campuran 7% sebesar 4,19% , variasi 9% sebesar 4,66%, dan variasi 12% sebesar 3,20%.

4). Penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang Hijau (*Perna Viridis*) Sebagai Agregat Terhadap Kuat Tekan Campuran Beton” oleh Elvira, Purwandito, dan Irwansyah (2023), bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh

penggunaan serbuk cangkang kerang sebagai agregat halus terhadap kuat tekan campuran beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran 150 mm x 300 mm pada umur beton 14 hari dan 28 hari. Variasi yang digunakan dalam pengujian ini adalah serbuk cangkang kerang hijau (SCKH) sebagai pengganti agregat halus dengan persentase 0%, 5%, 10%, dan 15%.

Pengujian kuat tekan beton pada umur 14 hari menunjukkan bahwa beton dengan campuran 0% (beton normal) memiliki nilai kuat tekan sebesar 12,00 MPa, sementara beton dengan 5% serbuk cangkang kerang hijau (SCKH) terhadap berat agregat halus mencapai 12,34 MPa, beton dengan 10% SCKH mencapai 11,88 MPa, dan beton dengan 15% SCKH mencapai 12,17 MPa. Untuk umur beton 28 hari, rata-rata kuat tekan beton pada campuran 0% (beton normal) adalah 26,30 MPa, campuran 5% SCKH adalah 27,17 MPa, campuran 10% SCKH adalah 24,75 MPa, dan campuran 15% SCKH adalah 26,53 MPa. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada campuran beton dengan 5% SCKH, yaitu sebesar 27,17 MPa pada umur beton 28 hari.

5). Penelitian yang berjudul “Penggunaan *Superplasticizer* pada Beton Mutu F’c 25 MPa” oleh Sitanggang, Hutabarat, dan Ginting (2023) bertujuan untuk mengevaluasi perbandingan kuat tekan dan kuat tarik beton dengan berbagai dosis bahan tambah *superplasticizer*. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh penggunaan *superplasticizer* terhadap nilai slump beton. Pengujian ini menggunakan benda uji silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm, pengujian dilakukan setelah dilakukan perawatan (*curing*) beton hingga umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Dalam penelitian ini menggunakan *superplasticizer* dengan persentase sebesar 0,5% dan 1% berat semen.

Pengujian pada beton normal menghasilkan rata-rata kuat tekan sebesar 25,2 MPa pada umur 28 hari. Beton dengan penambahan *superplasticizer* 0,5% menunjukkan peningkatan nilai rata-rata menjadi 26,4 MPa, sementara beton dengan *superplasticizer* 1% mencapai nilai rata-rata 29,1 MPa. Untuk pengujian kuat tarik belah, beton normal memiliki nilai 5,14 MPa, beton dengan campuran

superplasticizer 0,5% memiliki nilai 5,55 MPa, dan beton dengan campuran superplasticizer 1% mencapai 6 MPa.

2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya dalam beberapa hal. Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian saat ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian	Umar (2020)	Firatama, dkk (2020)	Anggiani (2022)	Elvira, dkk (2023)	Sitanggang, dkk (2023)	Penelitian Ini (2024)
Judul	Analisis Kuat Tekan Beton yang Menggunakan Kulit Kerang sebagai Substitusi Pasir dan Bahan Tambah <i>Superplasticizer</i> .	Analisis Pemanfaatan Cangkang Kerang Sebagai Substitusi Pasir terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Beton Normal.	Analisis Penambahan Serbuk Cangkang Kerang terhadap Kuat Tekan Beton.	Analisis Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang Hijau (<i>Perna Viridis</i>) Sebagai Agregat Terhadap Kuat Tekan Campuran Beton.	Penggunaan <i>Superplasticizer</i> pada Beton Mutu F'c 25 MPa.	Pengaruh Penambahan Sikament LN Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton dengan Serbuk Cangkang Kerang Darah sebagai Substitutor Sebagian Pasir
Konten	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Substitusi sebagian pasir dengan kulit kerang 8%, 10%, dan 12% ✓ Penambahan <i>superplasticize</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Penambahan cangkang kerang darah dengan variasi 0%, 7%, 9%, dan 12% ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Penambahan serbuk cangkang sebesar 3%, 6%, 9% dan 12% ✓ Benda uji 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Variasi serbuk cangkang kerang hijau 0%, 5%, 10%, dan 15% ✓ Benda uji 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Variasi <i>superplasticize</i> r 0,5% dan 1% ✓ <i>Superplasticize</i> r merk LEKRA-ADMIX 701 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Substitusi sebagian agregat halus dengan serbuk cangkang kerang darah sebesar 10%

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian	Umar (2020)	Firatama dkk (2020)	Anggiani (2022)	Elvira dkk (2023)	Ginting dkk (2023)	Penelitian Ini (2024)
Konten	<ul style="list-style-type: none"> <i>r</i> 1% berat semen ✓ Benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm ✓ Umur pengujian 28 hari ✓ Mutu beton 20 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm ✓ Umur pengujian 7 hari, 14 hari, dan 28 hari Mutu Beton 20 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm ✓ umur pengujian 7 hari dan 14 hari ✓ Mutu beton K-175 	<ul style="list-style-type: none"> silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm ✓ Umur pengujian 14 hari dan 28 hari ✓ Mutu beton 25 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm ✓ Umur pengujian 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari Mutu beton 25 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Penambahan <i>superplasticizer</i> Sikament LN 1%, 1,25%, dan 1,5% ✓ Benda Uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 150 mm ✓ Umur pengujian 28 hari ✓ Mutu beton 20 MPa
Parameter Uji	Kuat tekan beton	Kuat tekan dan daya serap beton	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton	Kuat tekan dan kuat tarik beton	Kuat tekan dan kuat tarik beton

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian	Umar (2020)	Firatama dkk (2020)	Anggiani (2022)	Elvira dkk (2023)	Ginting dkk (2023)	Agustama (2024)
Hasil Penelitian	<p>Nilai kuat tekan beton yang didapatkan pada beton normal adalah 23,54 MPa variasi BN 8 (24,72 MPa), BN 10 (26,23 MPa), dan BN 12 (21,89 MPa), dengan adanya penambahan <i>superplasticizer</i> pada beton kulit kerang maka akan menambah nilai kuat tekan pada tiap variasi, dengan nilai BN 8 + SP (26,42 MPa),</p>	<p>Nilai kuat tekan beton rata-rata tertinggi yaitu pada campuran normal pada 28 hari sebesar 34,47 MPa, variasi 7% sebesar 32,20 MPa, variasi campuran 9% sebesar 32,16 MPa, dan variasi campuran 12% sebesar 32,56 MPa. Penggunaan substitusi pasir dengan limbah cangkang</p>	<p>Nilai kuat tekan tertinggi pada umur 7 hari terdapat pada beton normal sebesar 192,23 Kg/cm² dan nilai terendah pada beton dengan variasi 12% sebesar 137,62 Kg/cm². Pengujian pada umur 14 hari nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada beton dengan variasi 3% sebesar 238,82 Kg/cm².</p>	<p>Nilai kuat tekan beton umur 14 hari pada variasi campuran beton 0% sebesar 12,00 MPa, pada variasi campuran beton 5% sebesar 12,34 MPa, pada variasi campuran beton 10% sebesar 11,88 MPa, dan pada variasi campuran beton 15% sebesar 12,17 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan beton</p>	<p>Pengujian kuat tekan beton normal pada umur 28 hari diperoleh nilai rata-rata sebesar 25,2 MPa, pada variasi <i>superplasticizer</i> 0,5% diperoleh nilai rata-rata sebesar 26,4 MPa, dan pada variasi <i>superplasticizer</i> 1% diperoleh nilai rata-rata sebesar 29,1 MPa. Pada pengujian kuat tarik belah beton normal didapatkan nilai</p>	<p>Diharapkan mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang kerang sebagai substitusi sebagian agregat halus dan <i>superplasticizer</i> terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton. Untuk mengetahui perbandingan beton normal dengan beton yang menggunakan</p>

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian	Umar (2020)	Firatama dkk (2020)	Anggiani (2022)	Elvira dkk (2023)	Ginting dkk (2023)	Agustama (2024)
Hasil Penelitian	BN 10 + SP (29,44 MPa) dan BN 12 +SP (24,16 MPa). Kadar maksimal substitusi kulit kerang sebesar 10% dari jumlah pasir dengan penambahan <i>superplasticizer</i> menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 29,44 MPa.	kerang menurunkan nilai kuat tekan beton rata-rata dan berat beton yang semakin ringan dari setiap penambahan jumlah variasi. Nilai daya serap beton tertinggi pada umur 28 hari dengan variasi campuran normal sebesar 4,94%, variasi campuran 7% sebesar 4,19%, dan variasi campuran 12% sebesar 3,20%.		umur 28 hari pada variasi campuran beton 0% sebesar 26,30 MPa, pada variasi campuran beton 5% sebesar 27,17 MPa, pada variasi campuran beton 10% sebesar 24,75 MPa, dan pada variasi campuran 15% sebesar 26,53 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi campuran 5% yaitu 27,17 MPa dan terendah pada variasi campuran	sebesar 5,14 MPa, pada variasi <i>superplasticizer</i> 0,5% diperoleh nilai sebesar 5,55 MPa, dan pada variasi <i>superplasticizer</i> 1% didapatkan nilai sebesar 6 MPa.	serbuk cangkang kerang tanpa <i>superplasticizer</i> dan dengan <i>superplasticizer</i> pada kuat tekan dan kuat tarik betonnya.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian	Umar (2020)	Firatama dkk (2020)	Anggiani (2022)	Elvira dkk (2023)	Ginting dkk (2023)	Agustama (2024)
Hasil Penelitian		Campuran yang memiliki nilai optimum pada nilai kuat tekan yaitu pada variasi 8,4% dengan nilai kuat tekan rata-rata 32,14 MPa dan nilai daya serap optimum dengan variasi campuran 2% dengan nilai rata-rata daya serap beton sebesar 4,97%.		variasi campuran 10% yaitu 24,75 MPa.		

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya seperti yang dijelaskan dalam Tabel 2.1. Penulis melanjutkan studi yang dilakukan oleh Wirawan Kusuma Umar (2020) dengan variasi *superplasticizer* yang berbeda. Dalam penelitian ini, digunakan substitusi serbuk cangkang kerang sebesar 10% sebagai substitutor sebagian agregat halus, sesuai dengan variasi yang memiliki nilai kuat tekan optimum pada penelitian Umar (2020), serta *superplasticizer* Sikament LN dengan variasi 0%, 1%, 1,25%, dan 1,5% dari berat semen. Penelitian ini belum pernah dilakukan sebelumnya dengan kombinasi serbuk cangkang kerang dan *superplasticizer* tersebut, sehingga orisinalitasnya dapat dipertanggungjawabkan.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Menurut SNI 2847:2019, beton merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang menghasilkan massa padat. Beton segar yang berkualitas adalah beton yang mudah diaduk, dituang, dan dipadatkan tanpa menyebabkan pemisahan agregat dari campuran (segregasi) atau pemisahan air dan semen dari campuran (*bleeding*).

Beton memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penggunaannya, kelebihan penggunaan beton adalah beton mudah disesuaikan bentuknya dengan kebutuhan konstruksi, mampu menahan beban yang berat, tahan terhadap suhu yang tinggi, dan tidak memerlukan biaya perawatan yang tinggi. Sedangkan kekurangan penggunaan beton adalah bentuknya sulit diubah setelah dibuat, memerlukan ketelitian tinggi saat pelaksanaan pembuatan, berat, dan daya pantul suara yang tinggi (SNI 2847:2019).

3.2 Bahan Penyusun Beton

Berikut ini adalah daftar bahan penyusun beton yang akan digunakan dalam penelitian ini:

3.2.1 Semen *Portland*

Menurut SNI 2049:2004, semen *portland* adalah semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling terak semen *portland*, yang terutama terdiri dari kalsium silikat hidrolis, bersama dengan satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat, dan dapat ditambahkan dengan bahan tambahan lainnya.

Semen *portland* adalah bubuk halus yang dihasilkan dari penggilingan klinker, yang diperoleh dengan membakar campuran homogen antara kapur dengan

bahan-bahan yang mengandung silika, alumina, dan oksida besi, serta penambahan gips dalam jumlah yang cukup. Setelah beberapa saat dicampur dengan air, bubuk ini mengeras dan berfungsi sebagai bahan pengikat hidrolis. Dalam campuran beton, semen dan air berperan sebagai komponen aktif, sementara pasir dan kerikil berperan sebagai komponen pasif atau pengisi. Jika semen dicampur dengan air, akan terbentuk pasta semen, jika dicampur dengan agregat halus dan air, terbentuk mortar, dan jika ditambah kerikil, terbentuk beton (SNI 2049:2004).

Menurut SNI 2049:2004, semen *portland* dibagi beberapa tipe sebagai berikut.

1. Tipe I, semen *portland* yang digunakan untuk keperluan umum tanpa memerlukan persyaratan khusus yang ada pada jenis lain.
2. Tipe II, semen *portland* yang digunakan untuk keperluan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang tinggi.
3. Tipe III, semen *portland* yang digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan awal tinggi setelah proses pengikatan.
4. Tipe IV, semen *portland* yang digunakan pada kondisi yang memerlukan panas hidrasi rendah.
5. Tipe V, semen *portland* yang digunakan untuk keperluan yang membutuhkan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.2 Agregat Halus

Menurut SNI 03-1970-1990, agregat halus yang digunakan dalam campuran beton harus memiliki ukuran butir paling besar 4,75 mm. Biasanya agregat halus berasal dari pasir atau batuan yang telah dihancurkan oleh industri pemecah batu. Syarat-syarat agregat halus adalah sebagai berikut.

1. Kandungan gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah hancur tidak boleh lebih dari 0,5%.
2. Persentase berat partikel kadar lumpur berukuran kurang dari 75 mikron (saringan No.200) tidak boleh melebihi 3% untuk beton yang terkena abrasi, dan maksimal 5% untuk beton jenis lainnya.

3. Tidak terdapat zat organik yang dapat merusak beton dalam berbagai aspek.
4. Agregat halus yang digunakan untuk beton dalam kondisi basah dan lembab tidak boleh mengandung bahan yang bereaksi dengan alkali.
5. Agregat harus bersifat kekal, diuji menggunakan larutan garam sulfat.
6. Modulus halusan butir berada di antara 1,5 hingga 3,8, dengan variasi butiran sesuai standar gradasi di Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

Sumber : SNI 03-1970-1990

3.2.3 Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 1969:2008, agregat kasar dapat berupa batu pecah yang dihasilkan dari proses pemecahan batu pada industri atau kerikil yang terbentuk secara alami melalui disintegrasi batuan. Ukuran butir agregat kasar berkisar antara 4,75 mm hingga 40 mm. Adapun persyaratan untuk agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Agregat kasar yang digunakan harus memiliki sifat keras, tidak berpori, dan tahan lama terhadap kondisi cuaca seperti hujan dan panas. Kandungan butiran pipih tidak boleh melebihi 20% dari total berat agregat.
2. Kandungan lumpur dalam agregat kasar tidak boleh lebih dari 1%.
3. Agregat kasar harus bebas dari bahan yang dapat merusak beton.

4. Agregat yang dapat bereaksi dengan alkali boleh digunakan dengan semen yang memiliki kadar alkali setara natrium oksida maksimal 0,6%. Selain itu, bahan tambahan dapat digunakan untuk mencegah pemuaian berbahaya akibat reaksi alkali-agregat.
5. Kekerasan agregat diuji dengan mesin Los Angeles, di mana berat yang hilang tidak boleh lebih dari 50%. Persyaratan gradasi agregat kasar terdapat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Lolos Ayakan	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100
20	35 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

Sumber : SNI 1969:2008

3.2.4 Air

Menurut Tjokrodimuljo (1996), air harus selalu ada dalam beton segar, tidak hanya untuk proses hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubah semen menjadi pasta yang membuat beton menjadi mudah dikerjakan (*workable*). Jumlah air yang dibutuhkan untuk mencapai tingkat kelecakan tertentu bergantung pada karakteristik material yang digunakan. Hanya sekitar 25% dari berat semen, air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen.

Air diperlukan dalam pembuatan beton untuk membentuk pasta semen, memicu reaksi kimia pada semen, membasahi agregat, serta mempermudah proses pengerjaan beton. Air yang digunakan harus bersih, karena jika tercemar oleh zat berbahaya seperti garam, gula, minyak, atau bahan kimia lainnya, kualitas beton bisa menurun dan bahkan sifatnya dapat berubah. (Mulyono, 2003).

3.3 Cangkang Kerang

Kerang darah, yang memiliki nama ilmiah *Anadara Granosa*, adalah jenis kerang yang cukup terkenal dalam industri makanan laut. Salah satu kegunaannya adalah diolah menjadi makanan, sehingga limbah berupa cangkang kerang darah yang berasal dari sisa produksi makanan dapat menumpuk dalam jumlah yang cukup besar. Pemanfaatan cangkang kerang darah masih terbatas, seperti digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan souvenir. Gambar kerang darah dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Kerang Darah

(Sumber : Wicara Mina, 2014)

Menurut Hudaya (2010), cangkang kerang terdiri dari 3 lapisan, yaitu :

1. Lapisan luar tipis yang menyerupai kulit disebut *periostracum*.
2. Lapisan kedua yang lebih tebal terbentuk dari kalsium karbonat.
3. Lapisan dalam terdiri dari *mother of pearl*, yang terdiri atas lapisan-lapisan tipis yang dikenal sebagai selaput mantel. Lapisan ini semakin tebal seiring dengan bertambahnya usia kerang.

Serbuk cangkang kerang merupakan material yang dihasilkan dari proses penghalusan cangkang kerang menggunakan mesin penggiling. Serbuk ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran atau tambahan dalam pembuatan beton. Serbuk cangkang kerang yang digunakan pada penelitian ini didapatkan di salah satu pabrik penggilingan cangkang kerang di Pasuruan, Jawa Timur. Menurut Siregar (2009), penambahan serbuk cangkang kerang yang homogen ke dalam

campuran beton dapat meningkatkan reaktivitasnya. Hal ini disebabkan oleh kandungan senyawa kimia dalam serbuk cangkang kerang yang bersifat pozzolan, termasuk kalsium oksida (CaO), alumina, dan silika. Oleh karena itu, serbuk cangkang kerang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam pembuatan beton. Komposisi kimia cangkang kerang darah dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Komposisi Kimia dalam Cangkang Kerang Darah

Komponen	Kadar (% Berat)
CaO	66,70
SiO ₂	7,88
Fe ₂ O ₃	0,03
MgO	22,28
Al ₂ O ₃	1,25

Sumber : Siregar (2009)

3.4 Superplasticizer

Menurut SNI 03-2495-1991, *superplasticizer* adalah bahan aditif pengurang air dengan kinerja tinggi (HRWR/*High Range Water Reducer*) yang tergolong dalam kelas F bahan tambahan kimia. Bahan ini berfungsi untuk meningkatkan nilai *slump* dan kekuatan beton, serta membuat beton lebih mudah dikerjakan tanpa perlu menambah banyak air yang bisa menyebabkan *bleeding*. *Superplasticizer* mengandung asam sulfonat yang berperan dalam memecah gaya permukaan pada partikel semen, sehingga partikel tersebut dapat tersebar lebih luas dan melepaskan air yang terikat di antara mereka.

Pada penelitian ini *superplasticizer* berfungsi untuk menjaga kelecakan pada campuran beton dan mengimbangi penurunan faktor air semen karena penyerapan air pada serbuk cangkang kerang sehingga menjadikan campuran beton lebih kental. *Superplasticizer* pada penelitian ini menggunakan merk Sikament LN yang berfungsi untuk meningkatkan kelecakan pada campuran beton dan juga mengurangi risiko pemisahan secara signifikan. Karakteristik dan informasi produk Sikament LN terdapat pada Gambar 3.2 di bawah.

	
PRODUCT DATA SHEET Sikament® LN	
HIGH RANGE WATER REDUCING	
DESCRIPTION <p>A highly effective water reducing agent and superplasticizer for promoting accelerated hardening with high workability. Complies with A.S.T.M. C 494-92 Type F.</p>	CHARACTERISTICS / ADVANTAGES <p>Sikament® LN provides the following properties :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Up to 20 % reduction of water will produce 40 % increase in 28 days compressive strength. • Increased watertightness.
USES <p>Sikament® LN is a high range water reducing concrete admixture specially formulated for the precast concrete element industry; to meet the demand of early removal of formwork due to the early strength gain. Enables concrete placing equipment to be used to its full capacity. Effective throughout dosage range.</p>	
PRODUCT INFORMATION	
Composition	Modified Naphthalene Formaldehyde Sulfonate
Packaging	240 kg drum Bulk delivery
Appearance / Colour	Liquid / Dark brown
Shelf life	12 months from date of production if stored properly in undamaged unopened, original sealed container.
Storage conditions	Store in dry conditions at temperatures between +5 °C and +30 °C. Protect from direct sunlight and frost.
Density	at +20 °C 1.22 ± 0.01 kg/L
TECHNICAL INFORMATION	
Concreting Guidance	The standard rules of good concreting practice, concerning production and placing, are to be followed. Laboratory trials before concreting on site are strongly recommended when using a new mix design or producing new concrete components. Fresh concrete must be cured properly and as early as possible.
<small>Product Data Sheet Sikament® LN November 2016, Version 01.01 021302031000000316</small>	

Gambar 3. 2 Informasi Produk Sikament LN
 (Sumber : PT. SIKa INDONESIA)

APPLICATION INFORMATION	
Recommended Dosage	<p>Sikament® LN can be used at the dose rate 0.30 % - 2.0 % by total weight of cementitious material depending on requirements concerning workability and strength. It is recommended that trial mixes be conducted to determine the exact dosage rate required.</p> <p>Note :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Typical dosage rate for use with silica sand is 0.30 % - 1.20 % by weight of cementitious material. • Typical dosage rate for use with combination of manufactured sand / volcanic sand is 0.4 % - 2.0 % by weight of cementitious material. <p>For more specific requirements, advice is available from our Technical Service Department to determine the usage rate for optimum results.</p>
Compatibility	<p>Sikament® LN may be combined with the following products:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plastiment® P121R • Plastiment® VZ • Sika® Fume • SikaFibre® <p>Do not use sikament series combined with viscocrete / viscoflow series. To produce flowing and / or self-compacting concrete, special concrete mix design is required. Pre-trials are recommended and mandatory if combinations with the above products are required. Please consult to our Technical Service Department.</p>
APPLICATION INSTRUCTIONS	
DISPENSING	<p>Sikament® LN can be added to the gauging water prior to its addition to the dry aggregates or separately to the freshly mixed concrete (on the batching plant or on site into the truck mixer) where added to truck mixer on site, further mixing for three to five minutes should be carried out.</p>
BASIS OF PRODUCT DATA	<p>All technical data stated in this Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.</p>
LOCAL RESTRICTIONS	
<p>Note that as a result of specific local regulations the declared data and recommended uses for this product may vary from country to country. Consult the local Product Data Sheet for the exact product data and uses.</p>	
ECOLOGY, HEALTH AND SAFETY	
<p>For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Safety Data Sheet (SDS) containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.</p>	

Lanjutan Gambar 3.2 Informasi Produk Sikament LN
 (Sumber : PT. SIKa INDOONESIA)

3.5 Perencanaan Campuran Beton

Untuk memastikan campuran beton mencapai kekuatan tekan yang diinginkan, diperlukan perencanaan campuran (*mix design*) guna menentukan proporsi material yang tepat. Dalam penelitian ini, pedoman yang digunakan untuk merencanakan desain campuran mengacu pada SNI-03-2834-2000. Berikut adalah langkah-langkah yang diikuti dalam proses perencanaan tersebut.

1. Menentukan kekuatan tekan beton yang direncanakan
Kekuatan tekan yang direncanakan dalam penelitian ini adalah sebesar 20 MPa.
2. Menentukan nilai deviasi standar
Nilai deviasi standar dapat ditentukan menggunakan Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3. 4 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
> 30	1,00

Sumber : SNI-03-2834-2000

3. Menentukan nilai tambah (M)
Nilai tambah dihitung menggunakan persamaan 3.1 di bawah ini.

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.1)$$

Keterangan :

M = Nilai tambah

1,64 = Tetapan statistik berdasarkan persentase kegagalan uji maksimal 5%

S_r = Deviasi standar rencana

4. Menentukan kekuatan tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr})
Kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan dihitung dengan persamaan 3.2 berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.2)$$

Keterangan :

f'_{cr} = kuat tekan yang ditargetkan (MPa)

f'_c = kuat tekan beton rencana (MPa)

M = Nilai tambah (MPa)

5. Memilih jenis semen yang akan digunakan

Jenis semen mempengaruhi faktor air-semen. Dalam penelitian ini, semen yang digunakan adalah semen tipe I dengan merek dagang Tiga Roda.

6. Menentukan jenis agregat yang akan digunakan

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, agregat halus diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori sesuai dengan gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Sedangkan agregat kasar terbagi menjadi dua jenis, yaitu kerikil alami dan kerikil hasil pemecahan batu.

7. Menentukan faktor air semen (FAS)

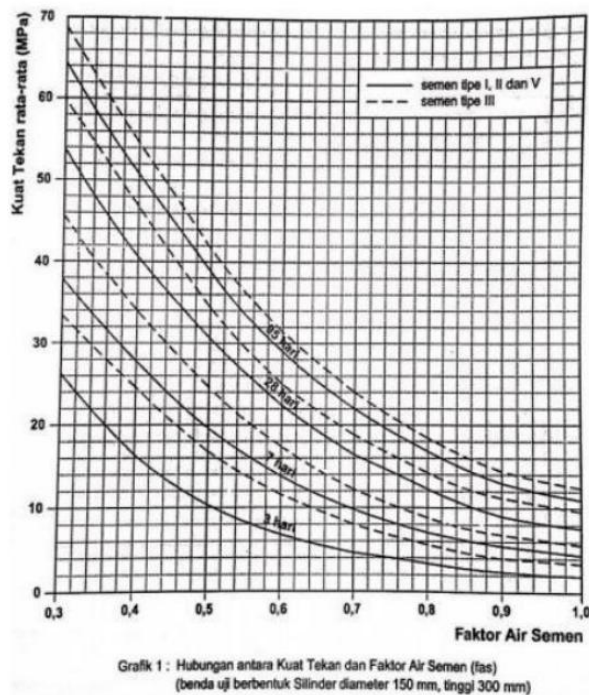
Faktor air semen merupakan perbandingan antara berat air dan semen dalam campuran beton. Semakin tinggi kekuatan beton yang diinginkan, semakin rendah nilai faktor air semen yang diperoleh. Tabel 3.5 dan Gambar 3.3 di bawah ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menghitung faktor air semen.

Tabel 3. 5 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan FAS

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	95	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Portland Tipe II, V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 3.5 menampilkan jenis semen, jenis agregat kasar, bentuk benda uji, dan umur rencana yang akan digunakan dalam pembuatan beton, dengan tujuan mencapai nilai kuat tekan optimal. Setelah itu, kurva lengkung dibuat untuk menggambarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang diperoleh dari tabel tersebut, yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3. 3 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
pada benda Uji Silinder**

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

8. Sebelum memulai proses pengecoran, dilakukan pengujian slump agar diketahui tingkat kelacakan campuran beton.
9. Menentukan besar butir agregat maksimum.
10. Menentukan nilai kadar air bebas dengan menggunakan Tabel 3.6 dan rumus persamaan 3.3 di bawah ini.

Tabel 3. 6 Perkiraan Kebutuhan Air Kubik Beton

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

Sumber : SNI 03-2834-2000

$$W = 2/3 W_h + 1/3 W_k \quad (3.3)$$

Dengan penjelasan sebagai berikut :

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

W_h = Estimasi jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)

W_k = Estimasi jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)

11. Menentukan kebutuhan semen yang dihitung menggunakan rumus persamaan 3.4 berikut.

$$c = \frac{w}{f_{as}} \quad (3.4)$$

Dengan penjelasan sebagai berikut.

c = Jumlah semen (kg/m^3)

w = Kadar air bebas (kg/m^3)

f_{as} = Faktor air semen

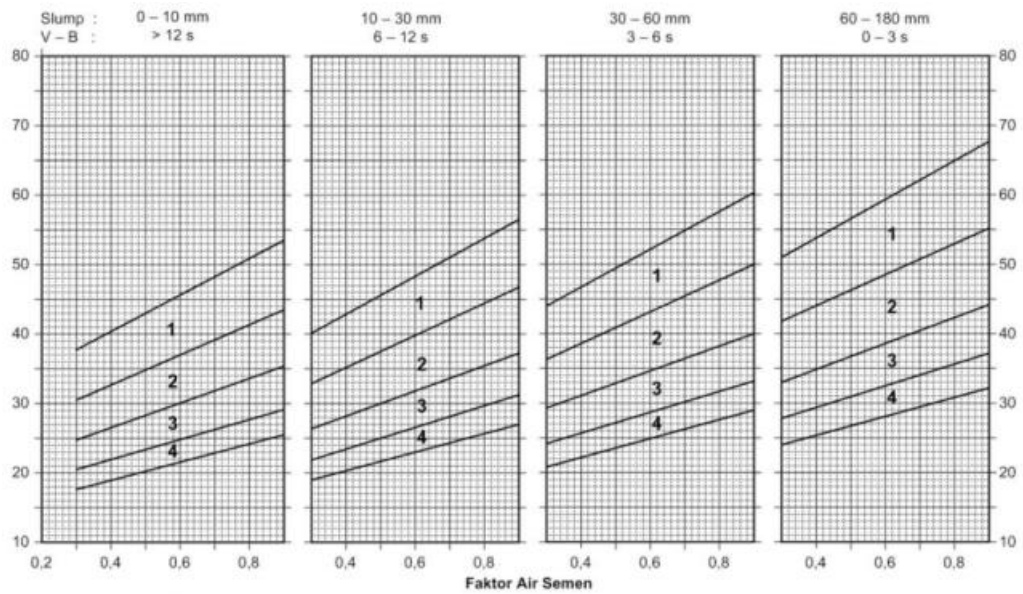
12. Menetapkan kadar minimum semen yang tercantum dalam Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3. 7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per m³ Beton (Kg)	Nilai fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,55
b. Terlindung dari huja dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam rumah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering bergantian	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan :		
a. Air Tawar		Tabel 6
b. Air Laut		

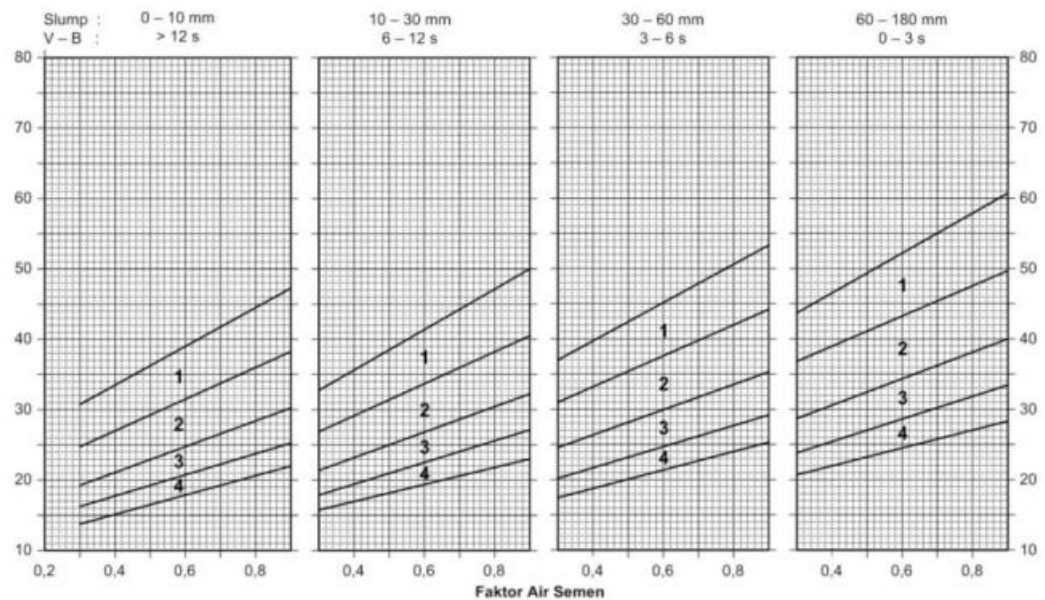
Sumber : SNI 03-2834-2000

13. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 4 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Agregat yang Direkomendasikan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm

(Sumber : SNI 03-2834-2000)



Gambar 3. 5 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Agregat yang Direkomendasikan Untuk Ukuran Maksimum 40 mm

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Berikut langkah-langkah untuk menggunakan grafik tersebut dalam menentukan persentase agregat kasar dan halus.

- a. Berdasarkan ukuran agregat maksimum dan nilai slump yang diinginkan, pilih grafik yang sesuai pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 di atas.
- b. Dari grafik tersebut, tarik garis vertikal berdasarkan nilai FAS hingga mencapai garis teratas yang berada di antara dua garis yang menunjukkan rentang gradasi pasir.
- c. Lanjutkan dengan menarik garis horizontal ke kanan pada area gradasi antara garis batas atas dan bawah, kemudian catat nilai tersebut.
- d. Hitung nilai rata-rata dari dua nilai persentase agregat halus yang telah diperoleh.
- e. Nilai persentase agregat kasar dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.5 di bawah ini.

$$\text{Nilai persentase agregat kasar} = 100\% - \text{Persentase agregat halus} \quad (3.5)$$

14. Menghitung berat jenis agregat dengan menggunakan rumus persamaan 3.6 di bawah ini.

$$BJ_{AG} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \quad (3.6)$$

dengan:

BJ_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

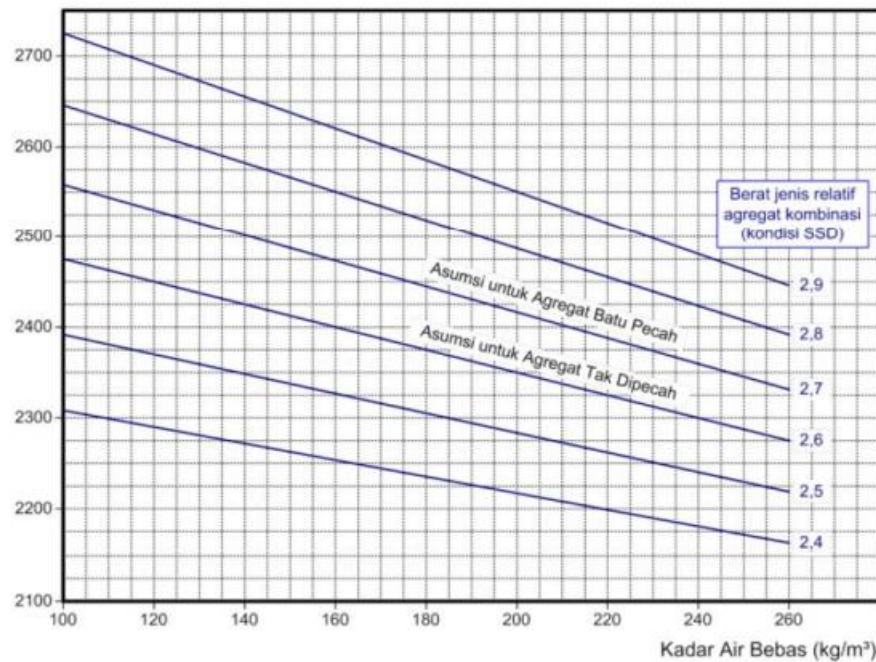
BJ_{AH} = Berat jenis agregat halus

BJ_{AK} = Berat jenis agregat kasar

$\%AH$ = Persentase agregat halus

$\%AK$ = Persentase agregat kasar

15. Menghitung nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik yang di tunjukkan pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3. 6 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Berikut adalah metode untuk menghitung nilai berat isi beton menggunakan grafik pada Gambar 3.6 di atas.

- a. Tarik garis pada Gambar 3.6 sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan yang telah diperoleh, sejajar dengan garis linier pada grafik.
 - b. Berdasarkan nilai kadar air bebas yang digunakan, tarik garis vertikal ke atas hingga memotong garis yang telah dibuat sebelumnya.
 - c. Dari titik potong tersebut, tarik garis horizontal ke arah kiri hingga memotong sumbu tegak, dan nilai berat isi beton akan diperoleh.
16. Menghitung kadar agregat gabungan dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

Kadar agregat gabungan = berat isi beton - kadar semen - kadar air bebas (3.7)

$$W_{Ag.gab} = W_{beton} - W_{semen} - w \quad (3.7)$$

dengan :

$$W_{Ag.gab} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{beton}} &= \text{Berat isi beton (kg/m}^3\text{)} \\
 W_{\text{semen}} &= \text{Kadar semen (kg/m}^3\text{)} \\
 w &= \text{Kadar air bebas (kg/m}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

17. Menentukan berat agregat halus menggunakan persamaan 3.8 berikut.

$$W_{\text{Ag.halus}} = \%_{\text{Ag.Halus}} \times W_{\text{ag.gab}} \quad (3.8)$$

dengan :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag.halus}} &= \text{Kadar agregat halus (kg/m}^3\text{)} \\
 \%_{\text{Ag.Halus}} &= \text{Persentase agregat halus (\%)} \\
 W_{\text{ag.gab}} &= \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

18. Menentukan kadar agregat kasar menggunakan persamaan 3.9 berikut.

$$W_{\text{Ag.kasar}} = W_{\text{ag.halus}} \times W_{\text{ag.gab}} \quad (3.9)$$

dengan :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag.kasar}} &= \text{Kadar agregat kasar (kg/m}^3\text{)} \\
 W_{\text{ag.halus}} &= \text{Kadar agregat halus (kg/m}^3\text{)} \\
 W_{\text{ag.gab}} &= \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

3.6 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* pada beton menggunakan SNI 1972:2008, pengujian ini dilakukan sebelum beton segar dimasukkan ke dalam cetakan. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan tingkat kelacakan campuran menggunakan kerucut *Abrams*. Prosedurnya diawali dengan mengisi beton segar hingga sepertiga tinggi kerucut sesuai proporsi yang telah ditetapkan, kemudian dipadatkan secara merata sekitar 25 kali, langkah tersebut diulang hingga kerucut *Abrams* terisi penuh. Setelah itu kerucut diangkat secara vertikal, selanjutnya nilai *slump* diukur untuk memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi. Nilai *slump* dihitung berdasarkan selisih tinggi antara kerucut yang dibalik dengan titik tertinggi campuran beton segar. Setelah proses pengujian selesai, beton segar kemudian dituangkan ke dalam bekisting untuk proses pencetakan. Gambar pengujian *slump* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3. 7 Pengujian *Slump*

3.7 Perawatan Benda Uji

Perawatan sampel benda uji dilakukan sesuai dengan SNI 2493:2011. Salah satu metode perawatan adalah dengan merendam sampel dalam air setelah dikeluarkan dari cetakan. Proses perendaman ini berlangsung hingga beton mencapai usia rencana. Proses perendaman beton dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3. 8 Proses Perendaman Beton

3.8 Kuat Tekan Beton

Kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas disebut kekuatan tekan. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2003). Berdasarkan PBI (1971), beton standarnya diuji pada usia 28 hari, karena beton telah memiliki kekuatan tekan 100%. Tabel 3.8 berikut menunjukkan kekuatan beton berdasarkan umur beton.

Tabel 3. 8 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton

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

Sumber : PBI (1971)

Menurut SNI 03-1974-2011, nilai kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan 3.10 berikut.

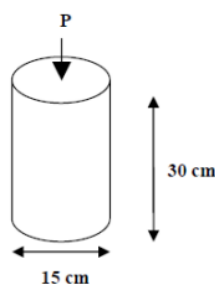
$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.10)$$

dengan :

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm²)



Gambar 3. 9 Sketsa Uji Kuat Tekan Beton

3.9 Kuat Tarik Belah Beton

Beton dikenal memiliki kelebihan dalam hal kuat tekan yang tinggi, namun kelemahannya terletak pada kuat tarik yang sangat rendah. Ferguson (1986) menyatakan bahwa kemampuan beton untuk mencegah retakan awal sebelum diberikan beban dipengaruhi oleh kuat tariknya yang relatif rendah, yakni hanya sekitar 10–15% dari nilai kuat tekannya. Menurut SNI-2491-2014, pengujian kuat tarik belah dilakukan untuk menilai ketahanan geser pada struktur beton yang menggunakan agregat. Pengujian ini melibatkan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, yang dihitung melalui persamaan 3.11.

$$T = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad (3.11)$$

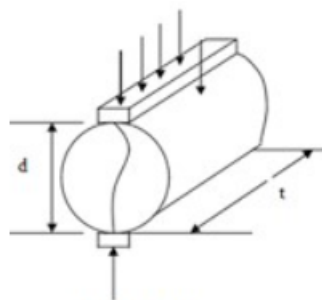
dengan :

T = Kuat tarik belah (MPa)

P = Beban maksimum (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)



Gambar 3. 10 Sketsa Uji Kuat Tarik Belah Beton

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara satu atau lebih variabel yang terkontrol. Variabel bebas diubah dalam kondisi terkendali. Proses penelitian terdiri dari empat tahap yaitu pengujian agregat, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji. Penelitian ini membandingkan beton normal dengan beton yang menggunakan substitusi serbuk cangkang kerang sebesar 10% sebagai substitutor sebagian agregat halus. Nilai substitusi serbuk cangkang kerang sebesar 10% diperoleh dari nilai optimal dari penelitian sebelumnya (Umar, 2020), dengan penambahan *superplasticizer* merk Sikament LN dalam variasi 0%, 1%, 1,25%, dan 1,5% dari berat semen. Beton tersebut diuji untuk mengetahui kuat tekan dan kuat tariknya setelah 28 hari. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kadar penggunaan Sikament LN.

2. Variabel terikat

Variabel terikat meliputi kadar serbuk cangkang kerang darah sebagai substitusi agregat halus, kuat tekan beton dan kuat tarik beton.

3. Variabel kontrol

Variabel kontrol yang digunakan mencakup dimensi dan bentuk benda uji serta kuat tekan beton rencana (f'_c).

4.3 Bahan-bahan Penyusun Benda Uji

Berikut adalah bahan-bahan yang digunakan untuk membuat benda uji dalam penelitian ini.

1. Semen *Portland*

Penelitian ini menggunakan semen *portland* tipe I merk Tiga Roda sebagai bahan pengikat dalam campuran beton. Kondisi kemasan dan fisik semen harus dalam keadaan baik. Gambar semen yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Semen

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari sungai Progo dan lolos dari saringan berukuran 4,80 mm. Gambar agregat halus yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 Agregat Halus

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang dipakai merupakan batu pecah dari Clereng, dengan ukuran maksimum 20 mm. Gambar agregat kasar yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4. 3 Agregat Kasar

4. Air

Air yang digunakan adalah air bersih, bebas bau dan warna. Gambar air yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4. 4 Air

5. Serbuk Cangkang Kerang

Serbuk cangkang kerang digunakan sebagai substitusi sebagian agregat halus, dengan persentase 10% dari berat agregat halus. Serbuk cangkang kerang darah yang digunakan sudah berbentuk serbuk yang didapatkan dari pabrik

penggilingan cangkang kerang di Pasuruan, Jawa Timur. Gambar serbuk cangkang kerang dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 5 Serbuk Cangkang Kerang

6. *Superplasticizer*

Superplasticizer yang digunakan adalah Sikament LN dengan variasi 1%, 1,25%, dan 1,5% dari berat semen, yang diproduksi oleh PT. SIKA Indonesia.



Gambar 4. 6 Sikament LN

4.4 Peralatan yang Digunakan

Dalam penelitian ini, alat-alat yang digunakan berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik (BKT) di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Berikut adalah daftar peralatan yang dipakai.

1. Piknometer

Piknometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus. Alat ini dapat dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4. 7 Piknometer

2. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur material yang diperlukan dalam proses pembuatan benda uji. Alat ini dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini.



Gambar 4. 8 Timbangan

3. Ayakan

Dalam penelitian ini, ayakan mesh digunakan untuk menguji penyaringan agregat kasar dan halus. Alat ini dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4. 9 Ayakan

4. Ember

Ember digunakan sebagai wadah untuk menampung material yang akan dimasukkan ke dalam mesin *concrete mixer*. Ember tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10 di bawah ini.



Gambar 4. 10 Ember

5. Oven

Oven digunakan sebagai alat untuk mengeringkan agregat halus dan kasar sebelum dilakukan pengujian agregat. Oven tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4. 11 Oven

6. Cetakan Benda Uji

Pada penelitian ini, cetakan yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, berfungsi sebagai wadah untuk membentuk beton. Cetakan benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4. 12 Cetakan Benda Uji

7. *Concrete Mixer*

Alat yang digunakan untuk mencampur berbagai material seperti semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambahan sesuai dengan proporsi yang telah ditentukan pada penelitian ini adalah *concrete mixer*. *Concrete mixer* dapat dilihat pada Gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4. 13 Concrete Mixer

8. Kerucut *Abrams*

Kerucut *Abrams* digunakan sebagai alat untuk mengukur slump beton segar sebelum dimasukkan ke dalam cetakan benda uji. Kerucut *Abrams* dapat dilihat pada Gambar 4.14 di bawah ini.



Gambar 4. 14 Kerucut *Abrrams*

9. Sekop

Alat yang digunakan untuk memasukkan beton segar ke dalam cetakan benda uji pada penelitian ini adalah sekop. Sekop dapat dilihat pada Gambar 4.15 sebagai di bawah ini.



Gambar 4. 15 Sekop

10. Mesin Uji Kuat Tekan

Mesin uji kuat tekan digunakan untuk mengukur kekuatan tekan pada sampel silinder dengan memberikan beban vertikal sampai sampel mengalami keruntuhan. Mesin uji kuat tekan terdapat pada Gambar 4.16 di bawah ini.



Gambar 4. 16 Mesin Uji Kuat Tekan

11. Mesin Uji Kuat Tarik Belah

Mesin uji kuat tarik belah digunakan untuk mengukur nilai kuat tarik belah terhadap sampel benda uji silinder dengan memberikan beban vertikal hingga benda uji runtuh, yang berbeda dari mesin uji kuat tekan adalah posisi benda uji yang berbeda. Mesin uji kuat tarik belah dapat dilihat pada Gambar 4.17 di bawah ini.



Gambar 4. 17 Mesin Uji Kuat Tarik

4.5 Silinder Benda Uji

Benda uji dibuat dengan variasi penambahan Sikament LN sebesar 0%, 1%, 1,25%, dan 1,5% serta substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebesar 10% pada setiap variasi. Selain itu, juga dibuat beton normal tanpa penambahan bahan apapun. Benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Total jumlah benda uji yang digunakan adalah 50, dengan rincian yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji

Kode Benda Uji	Kandungan Campuran	Jumlah Sampel Kuat Tekan	Jumlah Sampel Kuat Tarik
BN	SP 0% - SCK 0%	5	5
BK0	SP 0% - SCK 10%	5	5
BK1	SP 1% - SCK 10%	5	5
BK1,25	SP 1,25% - SCK 10%	5	5
BK1,5	SP 1,5% - SCK 10%	5	5
Total Jumlah Benda Uji		25	25

Keterangan :

- BN = Beton normal.
- BK0 = Beton tanpa Sikament LN namun dengan substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebesar 10% .
- BK1 = Beton dengan penambahan Sikament LN 1% dari berat semen dan substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebesar 10%.
- BK1,25 = Beton dengan penambahan Sikament LN 1,25% dari berat semen dan substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebesar 10%.
- BK1,5 = Beton dengan penambahan Sikament LN 1,5% dari berat semen dan substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebesar 10%.
- SP = Sikament LN.
- SCK = Serbuk cangkang kerang.

4.6 Pelaksanaan Penelitian

4.6.1 Persiapan

Sebelum penelitian dilakukan, perlu dilakukan persiapan. Persiapan yang dimaksud adalah dengan mempelajari literatur dari berbagai sumber, seperti buku dan jurnal, lalu bahan dan alat juga disiapkan untuk memudahkan penelitian.

4.6.2 Pengujian Agregat

Sebelum melakukan perencanaan campuran beton (*mix design*), dilakukan pengujian agregat untuk mengetahui sifat dan karakteristiknya. Beberapa jenis pengujian yang dilakukan pada agregat kasar dan halus menggunakan standar sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengikuti SNI 03-1970-1990.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengikuti SNI 1969:2008.
3. Pengujian analisis saringan agregat halus mengikuti SNI 03-1968-1990.
4. Pengujian analisis saringan agregat kasar mengikuti SNI 03-1968-1990.
5. Pengujian berat volume padat dan volume gembur agregat halus mengikuti SNI 03-4804-1998.
6. Pengujian berat volume padat dan volume gembur agregat kasar mengikuti SNI 03-4804-1998.
7. Pengujian lolos saringan no. 200 / kandungan lumpur mengikuti SNI 03-4142-1996.

4.6.3 Pengujian Serbuk Cangkang Kerang

Pengujian terhadap serbuk cangkang kerang mencakup pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisis saringan, pengujian berat jenis volume dalam kondisi gembur dan padat, serta pemeriksaan kandungan lumpur melalui saringan no. 200.

4.6.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran, yang juga dikenal sebagai *mix design*, bertujuan untuk merancang dan memilih bahan-bahan yang akan digunakan, serta menentukan proporsi campuran beton, termasuk semen, agregat kasar, agregat halus, dan air, yang diperlukan untuk pembuatan benda uji. Setelah proporsi campuran beton ditentukan, langkah berikutnya adalah menentukan variasi penambahan Sikament LN dan serbuk cangkang kerang.

4.6.5 Pembuatan Benda Uji

Setelah merampungkan perencanaan campuran beton (*mix design*), tahap selanjutnya adalah pembuatan benda uji. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses pembuatan benda uji.

1. Membuat campuran beton uji,
2. Menuangkan beton segar ke dalam cetakan silinder,
3. Mengeluarkan beton dari cetakan silinder,
4. Melakukan perawatan beton mengacu pada SNI 2493:2011 hingga umur yang telah di tentukan.

4.6.6 Pengujian Benda Uji

Pengujian terhadap kekuatan tekan dan tarik belah dilakukan pada sampel yang telah dirawat selama 28 hari. Berikut adalah tahapan untuk melakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

1. Uji kuat tekan beton

Tujuan dari pengujian kekuatan tekan beton adalah untuk mengukur kekuatan tekan sampel silinder dengan memberikan beban vertikal hingga sampel tersebut runtuh. Proses pengujian ini dilakukan menggunakan alat *compressing test machine*.

Berikut adalah langkah-langkah pengujian berdasarkan SNI 1974:2011 mengenai metode uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder.

- a. Melakukan penimbangan dan pengukuran dimensi dari benda uji.
 - b. Menempatkan benda uji secara sentris pada mesin *compressing test machine*.
 - c. Mengoperasikan mesin *compressing test machine* sampai benda uji mengalami keruntuhan.
 - d. Mencatat beban yang terbaca dan mencatatnya dalam form yang tersedia.
 - e. Menganalisis hasil pengujian sesuai dengan ketentuan SNI 1974:2011.
- ##### 2. Uji kuat tarik belah beton

Tujuan dari pengujian kekuatan tarik belah beton adalah untuk mengukur nilai kekuatan tarik belah pada sampel silinder yang diletakkan secara horizontal dan dikenakan beban vertikal hingga mengalami keruntuhan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *compressing test machine*.

Berikut adalah langkah-langkah pengujian sesuai dengan SNI 2491:2014 mengenai metode uji kekuatan tarik belah untuk spesimen beton silinder.

- a. Melakukan penimbangan dan pengukuran dimensi benda uji.
- b. Menempatkan benda uji secara horizontal pada mesin *compressing test machine*.
- c. Mengoperasikan mesin *compressing test machine* hingga benda uji runtuh.
- d. Mencatat beban yang terbaca dan mencatatnya pada form yang tersedia.
- e. Menganalisis hasil pengujian sesuai dengan pedoman SNI-2491-2014.

4.6.7 Analisis Data dan Pembahasan

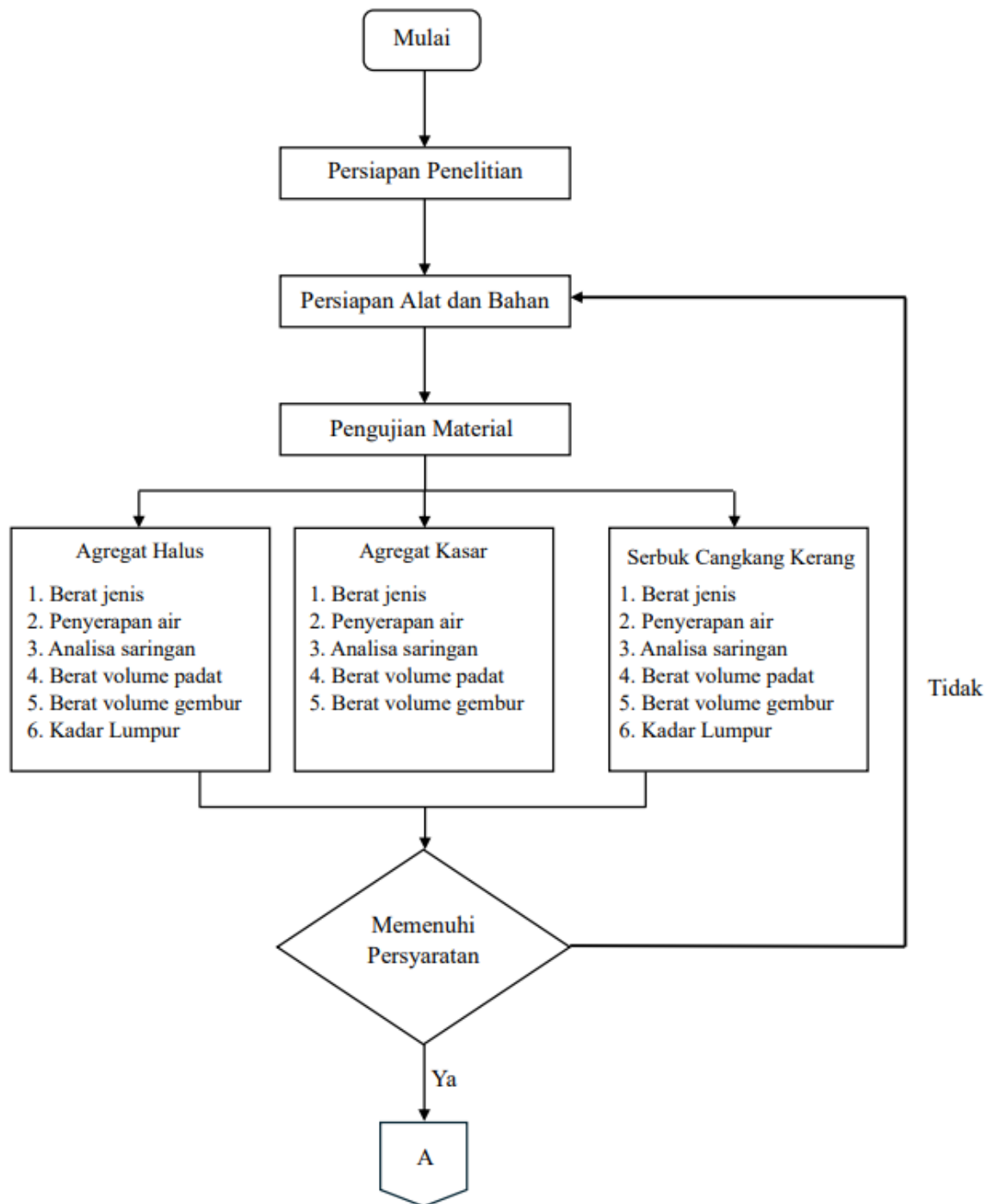
Pada tahap ini, data dari hasil pengujian dianalisis untuk memberikan wawasan atau gambaran tentang objek yang sedang diteliti. Tujuannya adalah untuk menentukan hubungan antara variabel tambahan yang diperoleh dari hasil uji. Penelitian ini menguji variasi penambahan Sikament LN serta substitusi sebagian agregat halus dengan serbuk cangkang kerang dalam campuran beton, untuk mengeksplorasi dampak variasi tersebut terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan dan efek dari variasi penambahan variabel tertentu. Sehingga penelitian ini memungkinkan untuk menarik kesimpulan tentang isu penelitian yang sedang dibahas.

4.6.8 Kesimpulan dan Saran

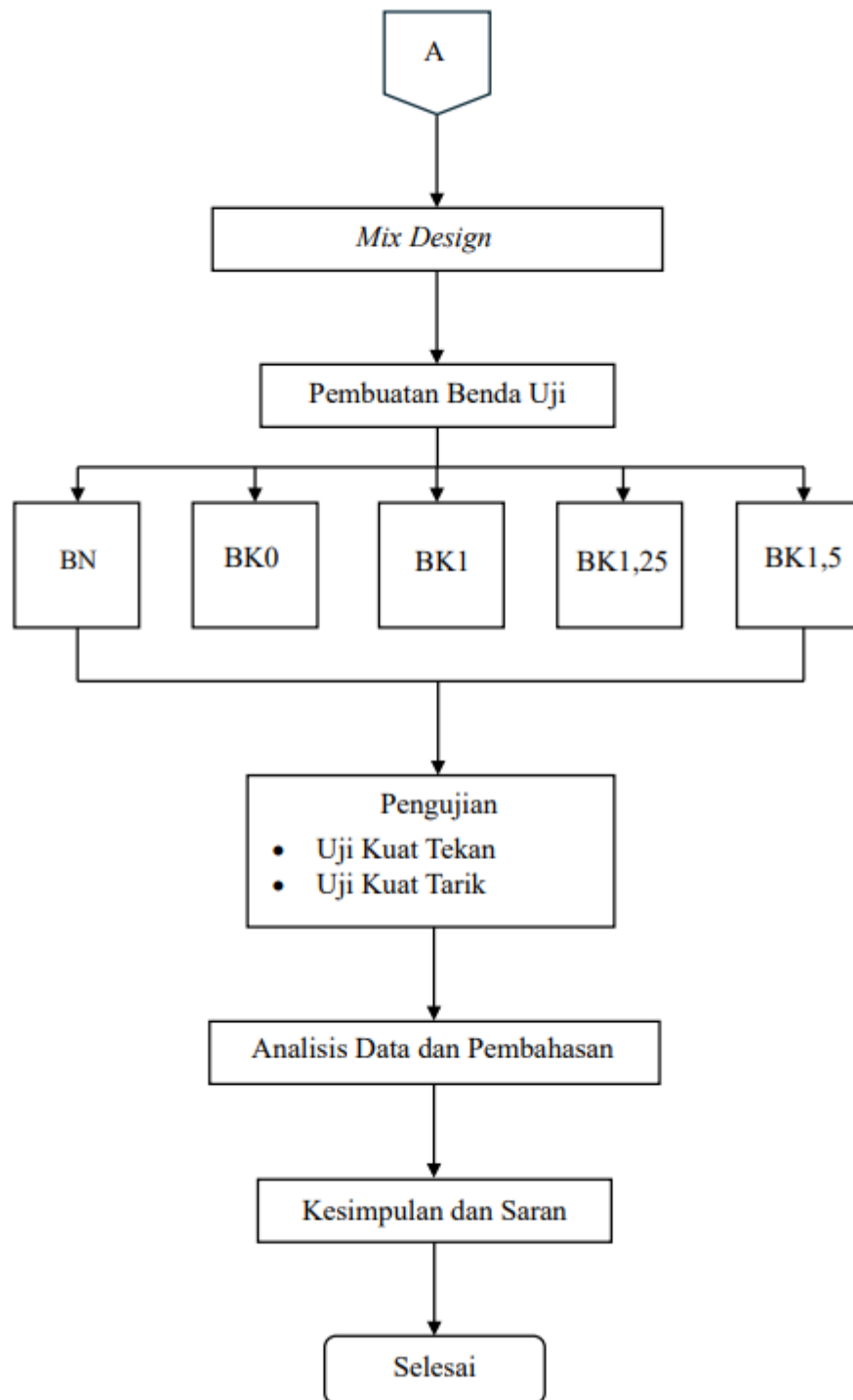
Di tahap akhir penelitian, data yang telah diperoleh akan dirangkum dan disusun menjadi kesimpulan yang relevan dengan tujuan penelitian. Saran untuk penelitian di masa mendatang juga akan disertakan.

4.7 Diagram Alir Penelitian

Di bawah ini, kami menyajikan diagram alir yang menggambarkan langkah-langkah utama dalam penelitian ini. Diagram alir ini dirancang untuk memberikan gambaran yang jelas dan sistematis tentang alur kerja, sehingga memudahkan pemahaman mengenai bagaimana setiap tahap saling terhubung dan berkontribusi terhadap hasil akhir.



Gambar 4. 18 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4. 18 Diagram Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya perlu dianalisis dan dibahas untuk diketahui hasilnya. Penelitian ini mencakup beberapa prosedur, yaitu pemeriksaan material penyusun beton, perancangan campuran, pembuatan benda uji, serta pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Seluruh proses penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

5.2 Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, pengujian analisa saringan agregat halus, pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus dan pengujian lolos saringan no.200 (kadar lumpur).

5.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Menurut SNI 03-1970-1990, agregat halus harus diuji dan dianalisis untuk berat jenis dan penyerapan air. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menghitung berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air agregat halus. Sebagai ilustrasi, berikut adalah perhitungan berat jenis dan penyerapan air untuk sampel 1.

$$\begin{aligned} 1. \quad \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{478}{(690+500-1002)} \\ &= 2,543 \\ 2. \quad \text{Berat Jenis SSD} &= \frac{500}{(B+500-Bt)} \end{aligned}$$

$$= \frac{500}{(690+500-1002)}$$

$$= 2,660$$

$$3. \quad \text{Berat Jenis Semu} = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$$

$$= \frac{478}{(690+478-1002)}$$

$$= 2,880$$

$$4. \quad \text{Penyerapan air} = \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\%$$

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

$$= 4,60 \%$$

Perhitungan serupa juga dilakukan untuk sampel kedua. Selanjutnya, diperoleh nilai rata-rata dari kedua sampel yang telah diuji. Tabel 5.1 di bawah ini menampilkan hasil rekapitulasi perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

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

Uraian	Hasil Penelitian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak (Bk), gram	478	478	478
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer isi pasir + air (Bt), gram	1002	995	998,5
Berat piknometer berisi air (B), gram	690	684	687
Berat jenis curah (Bk/B+500-Bt))	2,543	2,529	2,536
Berat jenis jenuh kering muka (500/(B+500-Bt))	2,660	2,646	2,652
Berat jenis semu (Bk/(B+Bk-Bt))	2,880	2,862	2,870
Penyerapan air ((500-Bk)/Bk x 100%)	4,60	4,60	4,60

Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) adalah 2,65. Menurut SK SNI T-15 (1990), nilai ini sudah memenuhi kriteria untuk agregat normal, yang memiliki berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) dalam kisaran 2,5–2,7.

5.2.2 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Berdasarkan SNI 03-1968-1990, pengujian analisis saringan agregat halus dilakukan untuk mengklasifikasikan agregat halus berdasarkan ukuran butiran. Pengujian ini menghitung berat tertinggal pada masing-masing saringan. Modulus halus butir (MHB) dan gradasi agregat kemudian didapatkan dengan menggunakan hasil penimbangan yang sudah dicatat. Perhitungan untuk analisis saringan agregat halus untuk sampel 1 adalah sebagai berikut.

1. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{119}{2000} \times 100\% \\ &= 5,95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{114}{2000} \times 100\% \\ &= 5,70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{179}{2000} \times 100\% \\ &= 8,95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= \frac{435}{2000} \times 100\% \\ &= 21,75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= \frac{615}{2000} \times 100\% \\ &= 30,75 \end{aligned}$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = \frac{444}{2000} \times 100\%$$

$$= 22,20$$

$$\text{Pan} = \frac{94}{2000} \times 100\%$$

$$= 4,70$$

2. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 4,80 mm} = 5,95\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,40 mm} = 5,95\% + 5,70\%$$

$$= 11,65\%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,20 mm} = 11,65\% + 8,95\%$$

$$= 20,60\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,60 mm} = 20,60\% + 21,75\%$$

$$= 42,35\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,30 mm} = 42,35\% + 30,75\%$$

$$= 73,10\%$$

$$\text{Lubang ayakan 0,15 mm} = 73,10\% + 22,20\%$$

$$= 95,30\%$$

$$\text{Pan} = 95,30\% + 4,70\%$$

$$= 100\%$$

3. Persentase Lolos Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 4,80 mm} = 100\% - 5,95\%$$

$$= 94,05\%$$

Lubang ayakan 2,40 mm	= 100% - 11,65%
	= 88,35%
Lubang ayakan 1,20 mm	= 100% - 20,60%
	= 79,40%
Lubang ayakan 0,60 mm	= 100% - 42,35%
	= 57,65%
Lubang ayakan 0,30 mm	= 100% - 73,10%
	= 26,90%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 95,30%
	= 4,70%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Perhitungan untuk sampel 2 dilakukan mengikuti prosedur yang sama seperti pada sampel 1, dan hasilnya disajikan dalam tabel. Dengan cara ini, analisis dapat dilakukan secara konsisten dan memudahkan perbandingan. Data hasil analisis saringan agregat halus untuk sampel 1 dan 2 dapat ditemukan pada Tabel 5.2 dan 5.3 di bawah ini, yang menunjukkan karakteristik masing-masing sampel secara detail.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100

**Lanjutan Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus
Sampel 1**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10,00	0	0	0	100
4,80	119	5,95	5,95	94,05
2,40	114	5,70	11,65	88,35
1,20	179	8,95	20,60	79,40
0,60	435	21,75	42,35	57,65
0,30	615	30,75	73,10	26,90
0,15	444	22,20	95,30	4,70
Pan	94	4,70	100	0
Jumlah	2000	100	248,95	-

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	116	5,80	5,80	94,20
2,40	118	5,90	11,70	88,30
1,20	164	8,20	19,90	80,10
0,60	482	24,10	44,00	56,00
0,30	591	29,55	73,55	26,45

Lanjutan Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus
Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
0,15	439	21,95	95,50	4,50
Pan	90	4,500	100	0
Jumlah	2000	100	250,45	-

4. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \text{ Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 1} &= \frac{248,95}{100} \\ &= 2,490 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 2} &= \frac{250,45}{100} \\ &= 2,505 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2} \\ &= 2,497 \end{aligned}$$

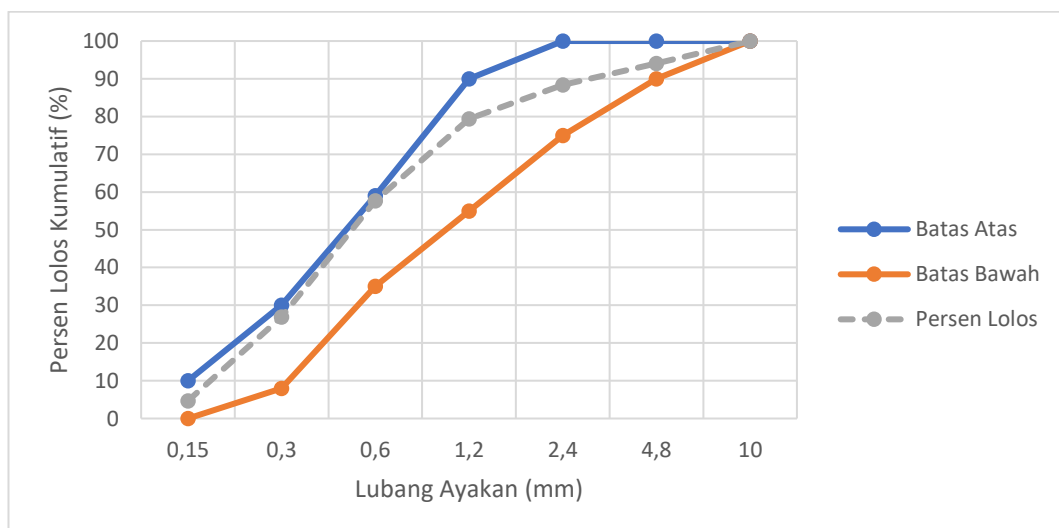
Hasil perhitungan menunjukkan bahwa modulus halus butir agregat halus yang diperoleh berada dalam kisaran 1,5 - 3,8 (SNI 03-1750-1990), sehingga memenuhi syarat yang diperlukan dan layak untuk digunakan. Dengan kata lain, pasir yang digunakan memiliki kualitas yang baik dan memenuhi standar yang ditetapkan. Selanjutnya, untuk mendapatkan pemahaman lebih lanjut mengenai karakteristik material, gradasi agregat halus ditentukan dari nilai persen lolos kumulatif yang tertera pada Tabel 5.4. Tabel ini memberikan gambaran lengkap tentang distribusi ukuran partikel agregat halus.

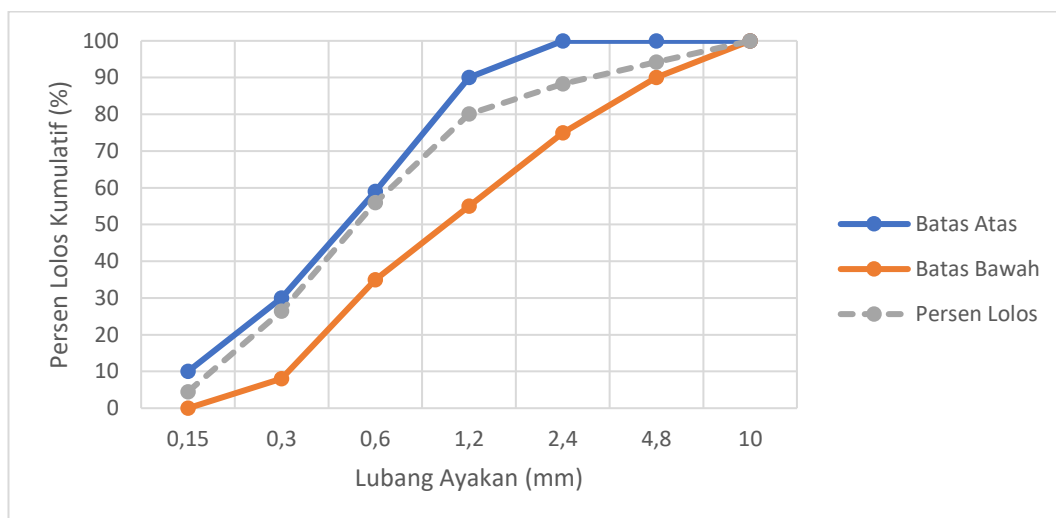
Tabel 5. 4 Daerah Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan (%)			
	Gradasi I	Gradasi II	Gradasi III	Gradasi IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0,10	0-15

(Sumber : SNI 03-1970-1990)

Dengan menggunakan data dari Tabel 5.2 dan Tabel 5.3, kita dapat menyusun grafik untuk mengidentifikasi jenis gradasi agregat halus yang digunakan, berdasarkan ketentuan yang ada di Tabel 5.4. Grafik gradasi agregat halus tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2. Grafik ini penting untuk memahami analisa saringan pada sampel 1 dan 2.

**Gambar 5. 1 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1**



Gambar 5. 2 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 dapat diketahui bahwa agregat halus yang digunakan pada penelitian ini memenuhi spesifikasi pada Tabel 5.4 dan masuk ke dalam jenis pasir gradasi II yang merupakan kategori pasir agak kasar.

5.2.3 Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-4804-1998, dengan tujuan utama untuk mengetahui berat volume agregat halus dalam kondisi gembur dan padat. Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk menentukan persentase penyusutan yang akan digunakan dalam perencanaan campuran beton. Perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus untuk sampel 1 dijelaskan sebagai berikut.

1. Berat Volume Gembur Agregat Halus

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18219 - 11060 \\
 &= 7159 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,09^2 \times 30,03
 \end{aligned}$$

$$= 5370,61 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{7159}{5370,61} \\ &= 1,33 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

2. Berat Volume Padat Agregat Halus

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\ &= 19717 - 11060 \\ &= 8657 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,09^2 \times 30,03 \\ &= 5370,61 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{8657}{5370,61} \\ &= 1,61 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk sampel 2 dilakukan dengan mengikuti prosedur yang sama seperti pada sampel 1. Hasil dari kedua perhitungan ini kemudian dirangkum dalam Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 di bawah ini. Tabel-tabel tersebut memberikan gambaran komprehensif mengenai perbandingan berat volume agregat halus dalam kondisi gembur dan padat untuk kedua sampel.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11060	11191	11125,5
Berat tabung + agregat (SSD)(W_2), gram	18219	17861	18040
Berat agregat (W_3), gram	7159	6670	7148
Diameter tabung (d), cm	15,09	14,94	15,01
Tinggi tabung (t), cm	30,03	30,10	30,06
Volume tabung (V), cm^3	5370,61	5276,64	5323,63
Berat volume gembur, gram/cm^3	1,33	1,26	1,30

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11060	11191	11125,5
Berat tabung + agregat (SSD)(W_2), gram	19717	18992	19354,5
Berat agregat (W_3), gram	8657	7801	8229
Diameter tabung (d), cm	15,09	14,94	15,01
Tinggi tabung (t), cm	30,03	30,10	30,06
Volume tabung (V), cm^3	5370,61	5276,64	5323,63
Berat volume padat, gram/cm^3	1,61	1,47	1,54

Dari data yang disajikan dalam Tabel 5.5 dan 5.6, diketahui bahwa rata-rata berat volume agregat halus dalam kondisi gembur mencapai $1,30 \text{ gram}/\text{cm}^3$, sedangkan dalam kondisi padat rata-rata berat volumenya adalah $1,54 \text{ gram}/\text{cm}^3$.

5.2.4 Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Kadar Lumpur) Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus menggunakan saringan no. 200 dilakukan berdasarkan standar SNI 03-4142-1996. Tujuan dari pengujian ini adalah

untuk menentukan persentase material halus yang dapat mempengaruhi kualitas campuran beton. Berikut ini merupakan perhitungan untuk sampel 1 dalam pengujian tersebut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur sampel 1} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 487}{500} \times 100\% \\
 &= 2,60\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk sampel 2 dilakukan menggunakan prosedur yang sama seperti sampel 1. Setelah itu, rata-rata dari hasil kedua sampel dihitung untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat mengenai kadar lumpur dalam agregat halus. Hasil akhir dari perhitungan kedua sampel tersebut disajikan dalam Tabel 5.7, yang memberikan informasi penting terkait kualitas material yang diuji.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Kadar Lumpur)

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	487	490	488,5
Kadar lumpur $[(W_1 - W_2)/W_1] \times 100\%$	2,60	2,00	2,30

Sesuai dengan PBI (1971), kandungan lumpur dalam agregat halus seharusnya tidak lebih dari 5%. Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5.7 menunjukkan bahwa nilai rata-rata kandungan lumpur adalah 2,30%, yang berarti agregat halus ini memenuhi kriteria dan dapat digunakan langsung dalam pembuatan beton tanpa perlu dicuci terlebih dahulu. Keberadaan kadar lumpur yang rendah ini sangat penting untuk menjaga kualitas dan performa campuran beton yang dihasilkan.

5.3 Pengujian Agregat Kasar

Komponen penyusun beton juga terdiri dari agregat kasar. Pengujian agregat kasar dan halus sama-sama dilakukan, tetapi agregat kasar tidak diuji kadar lumpur

karena dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan pada saat pembuatan benda uji. Pengujian agregat kasar mencakup pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, dan pemeriksaan berat volume.

5.3.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 1969:2008, agregat kasar perlu menjalani pengujian dan analisis untuk menentukan berat jenis dan penyerapan airnya. Pengujian ini bertujuan untuk menghitung berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air agregat kasar. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa agregat memenuhi spesifikasi yang diperlukan dalam pembuatan beton. Sebagai contoh, berikut adalah perhitungan berat jenis dan penyerapan air untuk agregat kasar pada sampel 1.

1. Berat Jenis Curah
$$= \frac{Bk}{(Bj - Ba)}$$
$$= \frac{4866}{(5000 - 3073)}$$
$$= 2,525$$
2. Berat Jenis SSD
$$= \frac{Bj}{(Bj - Ba)}$$
$$= \frac{5000}{(5000 - 3073)}$$
$$= 2,595$$
3. Berat Jenis Semu
$$= \frac{Bk}{(Bk - Ba)}$$
$$= \frac{4866}{(4866 - 3073)}$$
$$= 2,714$$
4. Penyerapan air
$$= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$$
$$= \frac{5000 - 4866}{4866} \times 100\%$$
$$= 2,75 \%$$

Perhitungan yang sama diterapkan pada sampel kedua. Setelah itu, nilai rata-rata dari kedua sampel yang diuji diperoleh. Tabel 5.8 di bawah ini menyajikan hasil rekapitulasi dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak (Bk), gram	4866	4859	4862,5
Berat kerikil jenuh kering muka (Bj), gram	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air (Ba), gram	3073	3065	3069
Berat jenis curah ($Bk/(Bj-Ba)$)	2,525	2,511	2,518
Berat jenis kering muka (SSD) ($Bj/(Bj-Ba)$)	2,595	2,584	2,589
Berat jenis semu ($Bk/(Bk-Ba)$)	2,714	2,708	2,711
Penyerapan air ($(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$)	2,75%	2,90%	2,83%

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat kasar adalah 2,589. Nilai ini mengindikasikan bahwa agregat kasar tersebut termasuk dalam kategori agregat normal dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan, karena berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat kasar seharusnya berada dalam rentang 2,5-2,7, sesuai dengan penelitian Tjokrodinuljo (2007). Kesesuaian nilai ini penting untuk memastikan kualitas dan performa campuran beton yang akan dihasilkan.

5.3.2 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Sesuai dengan SNI 03-1968-1990, agregat kasar wajib menjalani analisis saringan. Dalam pengujian ini, kerikil seberat 5000 gram digunakan, dan berat yang tersisa pada setiap nomor saringan dicatat untuk analisis lebih lanjut. Sebagai contoh, berikut adalah perhitungan analisis saringan agregat kasar untuk sampel 1. Pengujian ini penting untuk mengetahui ukuran partikel agregat yang dapat mempengaruhi kualitas campuran beton.

1. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{ Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{173}{5000} \times 100\% \\ &= 3,46\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{2896}{5000} \times 100\% \\ &= 57,92\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{1647}{5000} \times 100\% \\ &= 32,94\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{74}{5000} \times 100\% \\ &= 1,48\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{15}{5000} \times 100\% \\ &= 0,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{195}{5000} \times 100\% \\ &= 3,90\% \end{aligned}$$

2. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 40 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 0\% + 3,46\% \\ &= 3,46\% \end{aligned}$$

$$\text{Lubang ayakan 10 mm} = 3,56\% + 57,92\%$$

$$= 61,38\%$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 61,38\% + 32,94\% \\ &= 94,32\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 94,32\% + 1,48\% \\ &= 95,80\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 95,80\% + 0,30\% \\ &= 96,10\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pan} &= 96,10\% + 3,90\% \\ &= 100\%\end{aligned}$$

3. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 40 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 20 mm} &= 100\% - 3,46\% \\ &= 96,54\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 10 mm} &= 100\% - 61,38\% \\ &= 38,62\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 100\% - 94,32\% \\ &= 5,68\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 100\% - 95,80\% \\ &= 4,20\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 100\% - 96,10\% \\ &= 3,90\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pan} &= 100\% - 100\% \\ &= 0\%\end{aligned}$$

Perhitungan untuk sampel 2 dilakukan menggunakan prosedur yang sama seperti pada sampel 1, dan hasilnya disajikan dalam tabel. Data analisis saringan agregat halus untuk kedua sampel dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan 5.10 di bawah ini.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	173	3,46	3,46	96,54
10,00	2896	57,92	61,38	38,62
4,80	1647	32,94	94,32	5,68
2,40	74	1,48	95,80	4,20
1,20	15	0,30	96,10	3,90
0,60	0	0	96,10	3,90
0,30	0	0	96,10	3,90
0,15	0	0	96,10	3,90
Pan	195	3,90	100	0
Jumlah	5000	100	639,36	-

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100

Lanjutan Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar
Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
20,00	151	3,02	3,02	96,98
10,00	2986	59,72	62,74	37,26
4,80	1606	32,12	94,86	5,14
2,40	87	1,74	96,60	3,40
1,20	12	0,24	96,84	3,16
0,60	0	0	96,84	3,16
0,30	0	0	96,84	3,16
0,15	0	0	96,84	3,16
Pan	158	3,16	100	0
Jumlah	5000	100	644,58	-

4. Modulus Halus Butir (MHB)

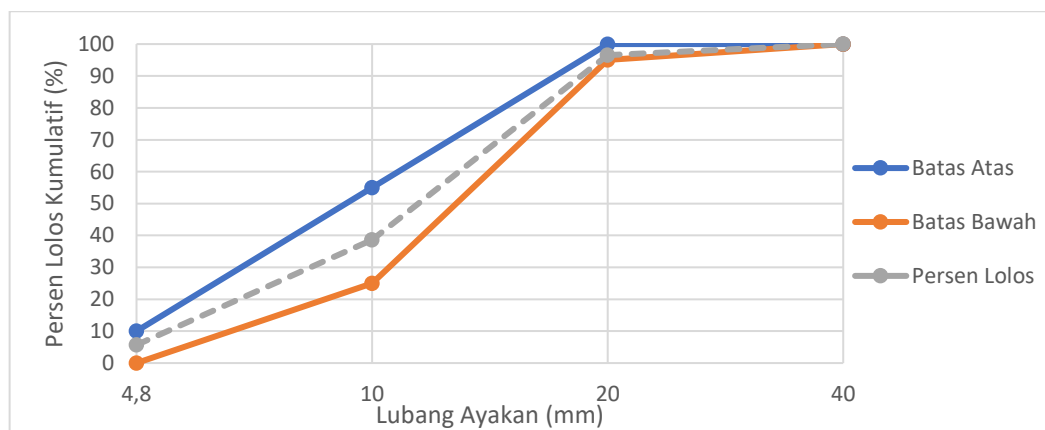
$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \text{ Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 1} &= \frac{639,36}{100} \\ &= 6,3936 \end{aligned}$$

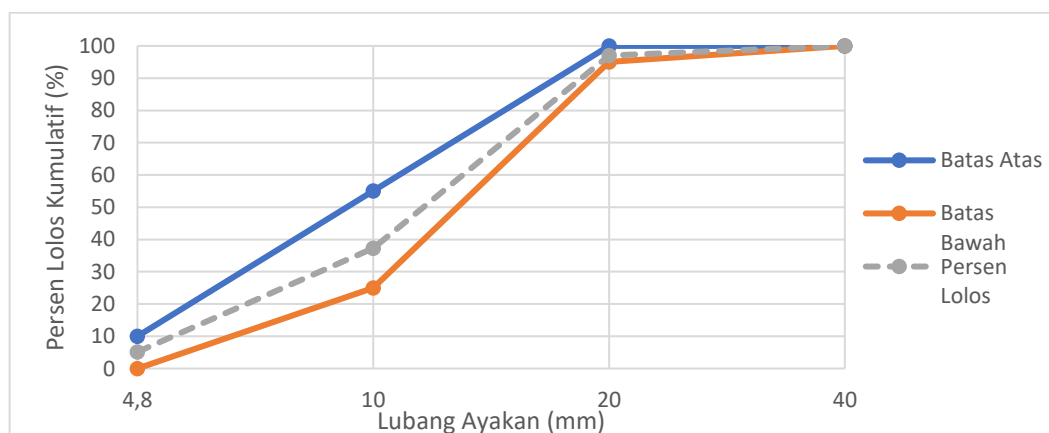
$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 2} &= \frac{644,58}{100} \\ &= 6,4458 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2} \\ &= 6,4197 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa modulus halus butir agregat kasar memenuhi standar yang diperlukan dan dapat digunakan, dikarenakan didapatkan nilai MHB dengan nilai 6,419. Menurut Tjokrodinuljo (2007), agregat kasar biasanya memiliki modulus halus butir dalam kisaran 5-8. Hasil dari pengujian modulus halus butir ini kemudian dimanfaatkan untuk menentukan ukuran maksimum agregat kasar. Penentuan ukuran maksimum dilakukan dengan mengacu pada persentase berat butir agregat yang lolos ayakan, yang dapat dilihat pada Tabel 3.2. Gambar 5.3 dan 5.4 di bawah ini menggambarkan hubungan antara persentase butir yang lolos kumulatif dan ukuran ayakan. Dari hasil pengujian tersebut, ditemukan bahwa ukuran maksimum agregat kasar adalah 20 mm, yang penting untuk memastikan kualitas campuran beton yang optimal.



Gambar 5. 3 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1



Gambar 5. 4 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

5.3.3 Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan pedoman yang tertera dalam SNI 03-4804-1998. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur berat volume agregat kasar dalam kondisi gembur dan padat, serta untuk menentukan persentase penyusutan yang penting dalam perencanaan campuran beton (*mix design*). Hasil perhitungan untuk sampel 1 akan disajikan di bawah ini.

1. Berat Volume Gembur Agregat Kasar

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\ &= 18331 - 11060 \\ &= 7271 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,09^2 \times 30,03 \\ &= 5370,61 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{7271}{5370,61} \\ &= 1,35 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

2. Berat Volume Padat Agregat Kasar

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\ &= 19411 - 11060 \\ &= 8351 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,09^2 \times 30,03 \\ &= 5370,61 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{8351}{5370,61} = 1,55 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

Selanjutnya, perhitungan untuk sampel 2 dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah yang sama seperti pada sampel 1. Hasil dari perhitungan kedua sampel ini kemudian disajikan dalam Tabel 5.11 dan Tabel 5.12 di bawah ini.

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11060	11191	11125,5
Berat tabung + agregat (SSD)(W_2), gram	18331	18378	18354,5
Berat agregat (W_3), gram	7271	7187	7229
Diameter tabung (d), cm	15,09	14,94	15,02
Tinggi tabung (t), cm	30,03	30,14	30,08
Volume tabung (V), cm^3	5370,61	5297,80	5334,21
Berat volume gembur, gram/cm^3	1,35	1,35	1,35

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11060	11191	11125,5
Berat tabung + agregat (SSD)(W_2), gram	19411	19254	19332,5
Berat agregat (W_3), gram	8351	8063	8207
Diameter tabung (d), cm	15,09	14,96	15,02
Tinggi tabung (t), cm	30,03	30,14	30,08
Volume tabung (V), cm^3	5370,61	5297,80	5334,21
Berat volume padat, gram/cm^3	1,55	1,52	1,54

Berdasarkan Tabel 5.11 dan 5.12 di atas, rata-rata berat volume agregat kasar dalam kondisi gembur adalah 1,35 gram/cm³, sedangkan rata-rata berat volume dalam kondisi padat adalah 1,54 gram/cm³.

5.4 Pengujian Serbuk Kerang

Pengujian yang dilakukan pada serbuk kerang meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air serbuk kerang, pengujian analisa saringan serbuk kerang, pengujian berat volume padat dan gembur serbuk kerang dan pengujian lolos saringan no.200 (kadar lumpur).

5.4.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Serbuk Kerang

Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada serbuk kerang dilaksanakan dengan metode yang serupa dengan yang digunakan untuk agregat halus. Berikut ini adalah perhitungan untuk sampel 1 yang mencakup analisis berat jenis dan penyerapan air serbuk kerang.

1. Berat Jenis Curah
$$= \frac{Bk}{(B+500-Bt)}$$
$$= \frac{467}{(692+500-1003)}$$
$$= 2,471$$
2. Berat Jenis SSD
$$= \frac{500}{(B+500-Bt)}$$
$$= \frac{500}{(692+500-1003)}$$
$$= 2,646$$
3. Berat Jenis Semu
$$= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$$
$$= \frac{467}{(692+467-1003)}$$
$$= 2,994$$
4. Penyerapan air
$$= \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\%$$

$$= \frac{500-467}{467} \times 100\%$$

$$= 7,066 \%$$

Perhitungan serupa juga dilakukan untuk sampel kedua. Selanjutnya, diperoleh nilai rata-rata dari kedua sampel yang telah diuji. Tabel 5.13 di bawah ini menyajikan hasil rekapitulasi pengujian berat jenis dan penyerapan air pada serbuk cangkang kerang.

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Serbuk Kerang

Uraian	Hasil Penelitian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak (Bk), gram	467	462	464,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir + air (Bt), gram	1003	991	997
Berat piknometer berisi air (B), gram	692	681	686,5
Berat jenis curah ($Bk/(B+500-Bt)$)	2,471	2,432	2,451
Berat jenis jenuh kering muka ($500/(B+500-Bt)$)	2,646	2,632	2,638
Berat jenis semu ($Bk/(B+Bk-Bt)$)	2,994	3,039	3,016
Penyerapan air ($((500-Bk)/Bk \times 100\%)$)	7,066	8,225	7,645

Hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) yang diperoleh adalah 2,638. Sesuai dengan SK SNI T-15 (1990), nilai ini sudah memenuhi standar untuk agregat normal, di mana berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) seharusnya berada dalam rentang 2,5–2,7.

5.4.2 Pengujian Analisa Saringan Serbuk Kerang

Pengujian analisis saringan serbuk kerang dilakukan dengan menggunakan metode yang serupa dengan yang diterapkan pada analisis saringan agregat halus. Berikut ini adalah perhitungan analisis saringan untuk serbuk cangkang kerang pada sampel 1.

1. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{0}{2000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{4}{2000} \times 100\% \\ &= 0,20\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{489}{2000} \times 100\% \\ &= 24,45\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= \frac{717}{2000} \times 100\% \\ &= 35,85\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= \frac{543}{2000} \times 100\% \\ &= 27,15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{153}{2000} \times 100\% \\ &= 7,65\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{94}{2000} \times 100\% \\ &= 4,70\% \end{aligned}$$

2. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 4,80 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= 0\% + 0,20\% \\ &= 0,20\% \end{aligned}$$

$$\text{Lubang ayakan 1,20 mm} = 0,20\% + 24,45\%$$

$$= 24,65\%$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= 24,65\% + 35,85\% \\ &= 60,50\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= 60,50\% + 27,15\% \\ &= 87,65\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= 87,65\% + 7,65\% \\ &= 95,30\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pan} &= 95,30\% + 4,70\% \\ &= 100\%\end{aligned}$$

3. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= 100\% - 0,20\% \\ &= 99,80\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= 100\% - 24,65\% \\ &= 75,35\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= 100\% - 60,50\% \\ &= 39,50\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= 100\% - 87,65\% \\ &= 12,35\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= 100\% - 95,30\% \\ &= 4,70\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pan} &= 100\% - 100\% \\ &= 0\%\end{aligned}$$

Perhitungan untuk sampel 2 dilakukan dengan mengikuti prosedur yang sama seperti pada sampel 1, dan hasilnya kemudian disusun dalam bentuk tabel. Data analisis saringan serbuk cangkang kerang untuk kedua sampel ini dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan 5.15 di bawah ini.

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Analisa Saringan Serbuk Kerang Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	0	0	0	100
2,40	4	0,20	0,20	99,80
1,20	489	24,45	24,65	75,35
0,60	717	35,85	60,50	39,50
0,30	543	27,15	87,65	12,35
0,15	153	7,65	95,30	4,70
Pan	94	4,70	100	0
Jumlah	2000	100	268,30	-

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Serbuk Kerang Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100

**Lanjutan Tabel 5.15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Serbuk Kerang
Sampel 2**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	0	0	0	100
2,40	6	0,30	0,30	99,70
1,20	428	21,40	21,70	78,30
0,60	589	29,45	51,15	48,85
0,30	619	30,95	82,10	17,90
0,15	231	11,55	93,65	6,35
Pan	127	6,35	100	0
Jumlah	2000	100	248,90	-

4. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100}$$

$$\text{MHB sampel 1} = \frac{268,30}{100}$$

$$= 2,683$$

$$\text{MHB sampel 2} = \frac{248,90}{100}$$

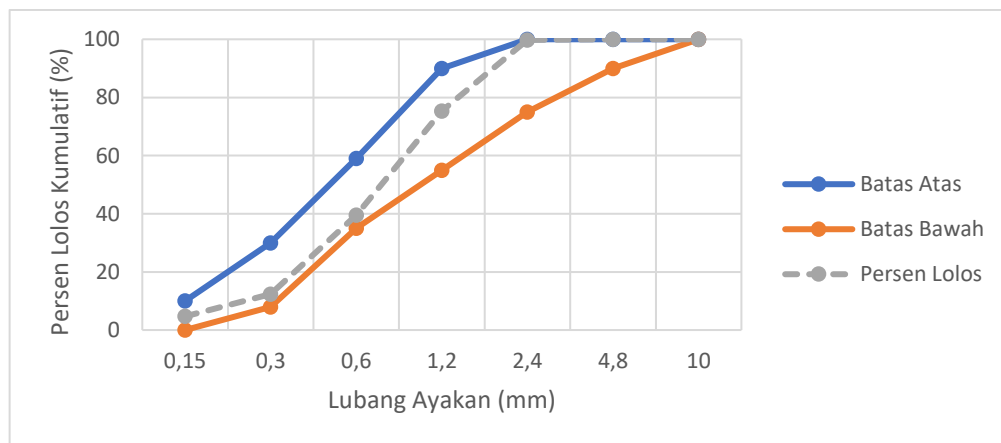
$$= 2,489$$

$$\text{MHB rata-rata} = \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2}$$

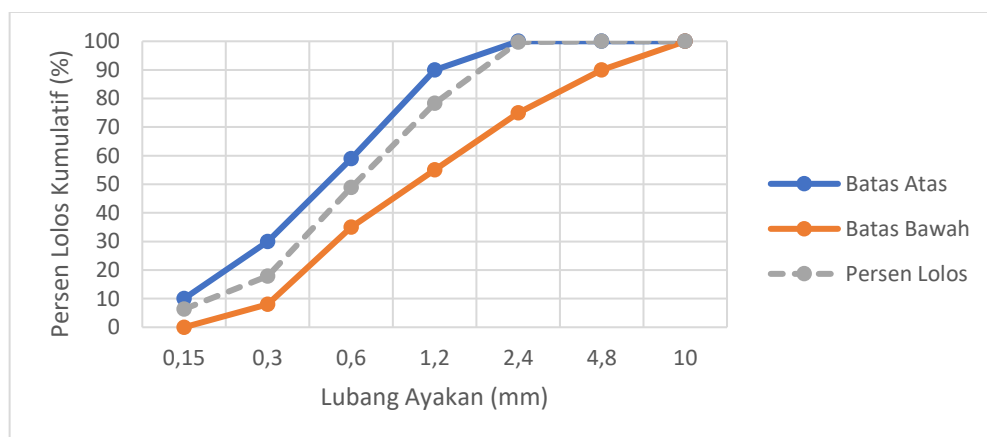
$$= 2,586$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, modulus halus butir serbuk cangkang kerang telah memenuhi kriteria dan dapat digunakan. Selanjutnya, penting untuk memastikan daerah gradasi serbuk cangkang kerang melalui nilai persen lolos kumulatif yang ditampilkan pada Tabel 5.4.

Dari data yang diperoleh di Tabel 5.14 dan Tabel 5.15, grafik dapat dibuat untuk mengidentifikasi jenis gradasi serbuk cangkang kerang yang digunakan, sesuai dengan pedoman dalam Tabel 5.4. Grafik gradasi serbuk cangkang kerang ini dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6



Gambar 5. 5 Analisa Saringan Serbuk Cangkang Kerang Sampel 1



Gambar 5. 6 Analisa Saringan Serbuk Cangkang Kerang Sampel 2

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6, dapat disimpulkan bahwa serbuk kerang yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi spesifikasi yang tercantum dalam Tabel 5.4 dan termasuk dalam kategori gradasi II.

Ini menunjukkan bahwa serbuk kerang tersebut tergolong sebagai agregat halus dengan tekstur agak kasar, dan juga memiliki gradasi yang sama dengan agregat halus yang digunakan pada penelitian ini.

5.4.3 Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Serbuk Kerang

Pengujian berat volume gembur dan padat serbuk kerang dilakukan dengan menggunakan metode yang serupa dengan yang diterapkan pada pengujian berat volue gembur dan padat agregat halus. Berikut ini adalah perhitungan berat volume gembur dan padat untuk serbuk cangkang kerang pada sampel 1.

1. Berat Volume Gembur Serbuk Kerang

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\ &= 18163 - 11031 \\ &= 7132 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,10^2 \times 30,10 \\ &= 5390,27 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{7132}{5390,27} \\ &= 1,32 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

2. Berat Volume Padat Agregat Halus

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\ &= 19948 - 11031 \\ &= 8917 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,10^2 \times 30,10\end{aligned}$$

$$= 5390,27 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{8917}{5390,27} \end{aligned}$$

$$= 1,65 \text{ gram/cm}^3$$

Selanjutnya, perhitungan untuk sampel 2 dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah yang sama seperti pada sampel 1. Hasil dari perhitungan kedua sampel ini disajikan dalam Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 di bawah ini.

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Serbuk Kerang

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11031	11060	11045,5
Berat tabung + agregat (SSD)(W_2), gram	18163	18208	18185,5
Berat agregat (W_3), gram	7132	7148	7140
Diameter tabung (d), cm	15,10	15,09	15,095
Tinggi tabung (t), cm	30,10	30,03	30,065
Volume tabung (V), cm^3	5390,27	5370,61	5380,44
Berat volume gembur, gram/cm^3	1,32	1,33	1,33

Tabel 5. 17 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung (W_1), gram	11031	11060	11045,5
Berat tabung + agregat (SSD)(W_2), gram	19948	19979	19963,5
Berat agregat (W_3), gram	8917	8919	8918
Diameter tabung (d), cm	15,10	15,09	15,095

Lanjutan Tabel 5.17 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Tinggi tabung (t), cm	30,10	30,03	30,065
Volume tabung (V), cm ³	5390,27	5370,61	5380,44
Berat volume padat, gram/cm ³	1,65	1,66	1,66

Berdasarkan Tabel 5.16 dan 5.17 di atas, rata-rata berat volume serbuk cangkang kerang dalam kondisi gembur tercatat sebesar 1,33 gram/cm³, sedangkan rata-rata berat volume dalam kondisi padat mencapai 1,66 gram/cm³.

5.4.4 Pengujian Lolos Saringan No.200 (Kadar Lumpur) Cangkang Kerang

Pengujian kadar lumpur menggunakan saringan no. 200 pada serbuk cangkang kerang dilaksanakan sesuai dengan SNI 03-4142-1996. Berikut ini adalah perhitungan untuk sampel 1

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur sampel 1} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 476}{500} \times 100\% \\
 &= 4,80\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk sampel 2 dilakukan dengan metode yang sama seperti yang diterapkan pada sampel 1, dan selanjutnya, rata-rata dari kedua sampel ini dihitung. Hasil perhitungan untuk kedua sampel tersebut disajikan dalam Tabel 5.18 di bawah ini,

**Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Kadar Lumpur)
Serbuk Cangkang Kerang**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	476	478	477
Kadar lumpur [(W1-W2)/W1] x 100%	4,80	4,40	4,60

Berdasarkan PBI (1971), kandungan lumpur pada agregat halus seharusnya tidak melebihi 5%, sehingga agregat halus dapat langsung digunakan dalam pembuatan beton tanpa perlu dicuci terlebih dahulu. Hasil yang ditunjukkan dalam Tabel 5.18 menunjukkan bahwa rata-rata kandungan lumpur mencapai 4,60%, sehingga material ini memenuhi syarat dan dapat digunakan langsung dalam proses pembuatan beton tanpa dicuci terlebih dahulu.

5.5 Perencanaan Campuran Beton

Dalam penelitian ini, campuran beton dirancang berdasarkan standar SNI 03-2834-2000 dengan target mutu sebesar 20 MPa. Prosedur perancangan campuran beton dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Kuat tekan yang direncanakan ($f'c$) ditetapkan sebesar 20 MPa.
2. Mengingat jumlah sampel yang digunakan tidak lebih dari 15, nilai tambah atau margin (M) ditentukan sebesar 12 MPa.
3. Kuat tekan beton rencana yang ditargetkan ($f'cr$) dihitung sebagai berikut.

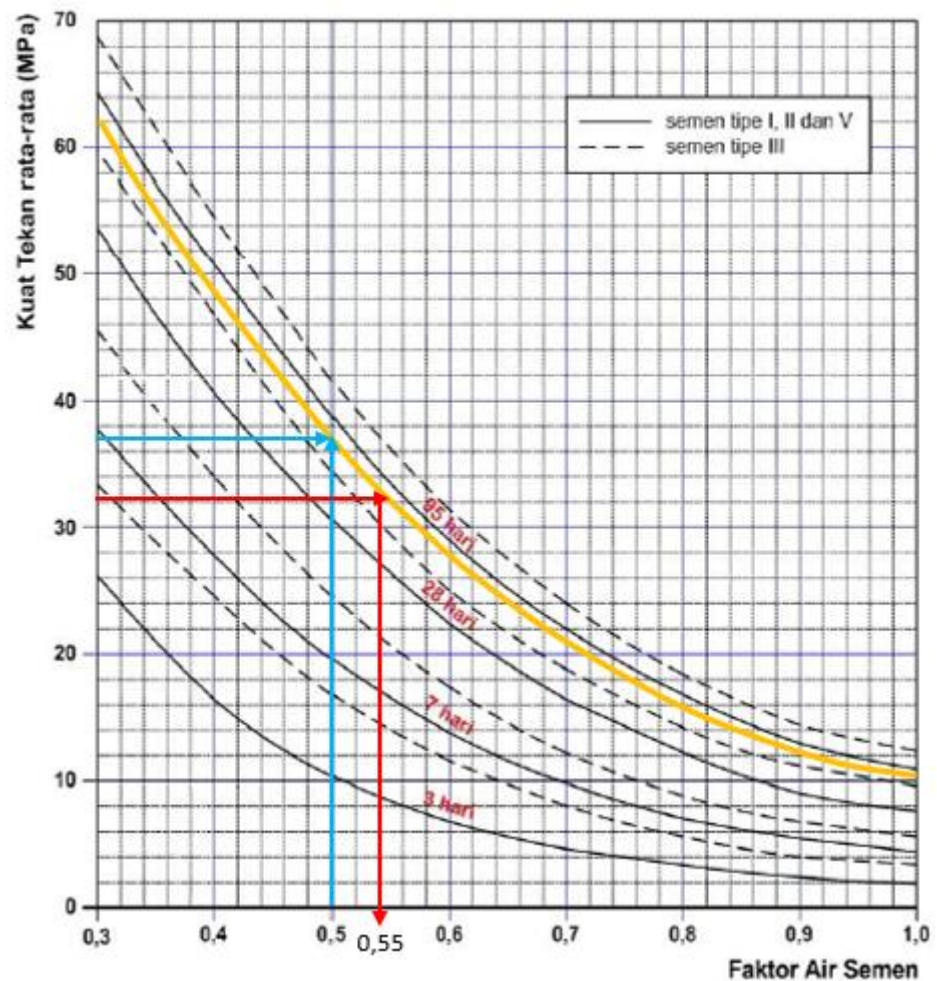
$$\begin{aligned} f'cr &= f'c + M \\ &= 20 + 12 \\ &= 32 \text{ MPa} \end{aligned}$$
4. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah PCC (*Portland Composite Cement*) tipe 1 dengan merek Tiga Roda.
5. Agregat kasar yang dipilih adalah kerikil dengan ukuran maksimum 20 mm, yang berasal dari lokasi Clereng, Kulon Progo.
6. Agregat halus menggunakan pasir yang diperoleh dari Progo, Kulon Progo.
7. Faktor air semen (fas) ditentukan dengan merujuk pada grafik yang terdapat dalam SNI 03-2834-2000 atau dapat dilihat pada Tabel 5.18 di bawah ini, guna mencapai proporsi yang optimal dalam campuran beton.

Tabel 5. 19 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5 yang digunakan di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

- Jenis semen yang diterapkan dalam penelitian ini adalah tipe 1, sedangkan agregat kasar terdiri dari batu pecah. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder, yang memungkinkan untuk memperoleh perkiraan nilai kuat tekan sebesar 37 MPa pada usia 28 hari. Hasil ini dapat dilihat lebih jelas dalam Tabel 5.19.
- Menggambar garis biru ke arah kanan pada nilai kuat tekan 37 MPa, lalu gambar juga garis biru ke arah atas pada nilai fas 0,5, hingga kedua garis biru tersebut saling berpotongan. Proses ini akan menghasilkan garis lengkung oranye yang menunjukkan titik perpotongan antara kedua garis biru. Gambar 5.7 memperlihatkan ilustrasi ini secara jelas.
- Setelah itu, gambar garis merah pada nilai $f_{cr} = 32$ MPa ke arah kanan hingga mencapai titik pertemuan dengan garis lengkung berwarna oranye. Kemudian, dari titik tersebut, gambar garis merah ke arah bawah untuk mendapatkan nilai faktor air semen (fas) sebesar 0,55. Proses ini diilustrasikan pada Gambar 5.7, memberikan panduan yang jelas untuk menentukan nilai fas sesuai hasil perhitungan.



Gambar 5. 7 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

8. Penentuan nilai *slump* dilakukan dalam rentang 60 hingga 180 mm.
9. Ukuran maksimum agregat yang dipakai adalah 20 mm, sesuai dengan agregat kasar yang telah diuji.
10. Perhitungan kadar air bebas didasarkan pada estimasi kebutuhan air untuk batu pecah (W_k) dan batu tak dipecah (W_h), yang diperoleh dari Tabel 5.20. Dalam penelitian ini, ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 20 mm, dengan nilai slump yang dipakai antara 60 hingga 180 mm,

Tabel 5. 20 Perkiraan Kadar Air Bebas Tiap m³ 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)

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k$$

$$= \frac{2}{3} 195 + \frac{1}{3} 225$$

$$= 205 \text{ Kg/m}^3$$

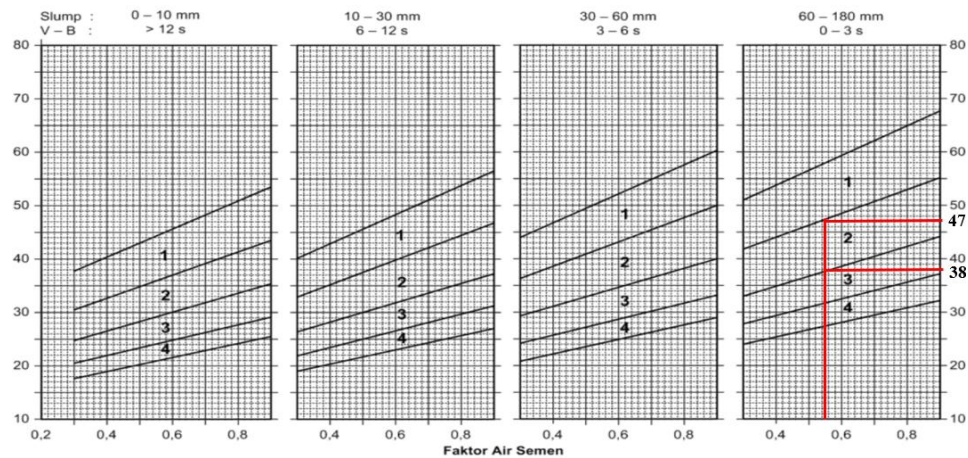
$$10. \text{ Menghitung kadar semen} = \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{FAS}}$$

$$= \frac{205}{0,55}$$

$$= 372,272 \text{ Kg/m}^3$$

11. Menghitung persentase agregat halus dan agregat kasar

Persentase agregat halus terhadap total agregat ditampilkan pada Gambar 5.8, di mana kondisi ini berlaku pada campuran dengan nilai slump antara 60 hingga 180 mm. Agregat yang digunakan memiliki ukuran maksimum 20 mm, dengan faktor air-semen (FAS) sebesar 0,55, dan agregat halus yang berada pada kategori gradasi 2, sesuai dengan yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 5. 8 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Agregat Total

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Dari Gambar 5.8, terlihat bahwa persentase agregat halus berada dalam rentang 38% hingga 47%. Untuk keperluan perhitungan, diambil nilai rata-rata sebesar 42,5%, yang dianggap paling mewakili kisaran tersebut dalam konteks campuran beton yang sedang dirancang.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\
 &= 100\% - 42,5\% \\
 &= 57,5\%
 \end{aligned}$$

12. Perhitungan berat jenis agregat

$$\text{Berat jenis agregat halus (BJ}_{AH}) = 2,65$$

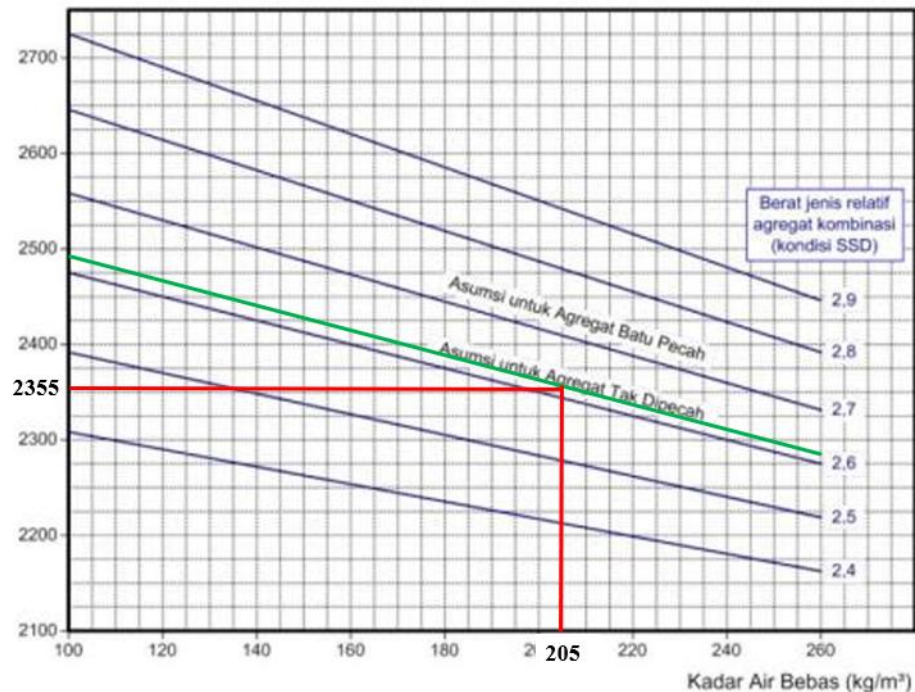
$$\text{Berat jenis agregat kasar (BJ}_{AK}) = 2,59$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis agregat gabungan (BJ}_{AG}) &= (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \\
 &= (42,5\% \times 2,65) + (57,5\% \times 2,59) \\
 &= 2,616
 \end{aligned}$$

13. Langkah-langkah untuk menentukan berat isi beton dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 5.9 sebagai berikut.

- Buat kurva sejajar sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan yang paralel dengan garis lurus pada grafik.
- Setelah itu, tarik garis vertikal ke atas hingga bertemu dengan kurva pada titik yang sesuai dengan kadar air bebas. Kemudian, tarik garis horizontal

ke arah kiri hingga kedua garis tersebut saling bertemu, menghasilkan nilai berat isi beton yang diinginkan.



Gambar 5. 9 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Dipadatkan

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Dengan merujuk pada Gambar 5.9, diperoleh perkiraan berat beton basah sebesar 2355 kg/m³, yang dapat menjadi acuan dalam perencanaan campuran beton.

14. Menghitung kadar agregat gabungan

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2355 - 372,727 - 205 \\ &= 1777,23 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

15. Menghitung kadar agregat halus

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= \frac{42,5}{100} \times 1777,23 \\ &= 755,34 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

16. Menghitung kadar agregat kasar

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat kasar} &= \frac{\% \text{ agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\
 &= \frac{57,5}{100} \times 1777,23 \\
 &= 1021,93 \text{ Kg/m}^3
 \end{aligned}$$

17. Setelah langkah-langkah sebelumnya maka didapatkan proporsi campuran tiap m³ beton sebagai berikut.

- a. Air = 205 Kg
- b. Semen = 372,727 Kg
- c. Pasir = 755,34 Kg
- d. Kerikil = 1021,93 Kg

Setelah itu menghitung proporsi campuran dengan *safety factor* 20%, sebagai berikut.

- a. Air = 205 + (20% x 205)
= 246 Kg
- b. Semen = 372,727 + (20% x 372,727)
= 447,273 Kg
- c. Pasir = 755,34 + (20% x 755,34)
= 906,409 Kg
- d. Kerikil = 1021,93 + (20% x 1021,93)
= 1226,318 Kg

18. Menghitung proporsi bahan yang digunakan untuk pencampuran satu kali, yaitu sepuluh silinder dengan diameter 0,15 m dan tinggi 0,3 m.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume 10 silinder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \times 10 \\
 &= 0,053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga proporsi campurannya adalah sebagai berikut.

- a. Air = 246 x 0,053
= 13,042 Kg
- b. Semen = 447,273 x 0,053
= 23,712 Kg
- c. Pasir = 906,409 x 0,053

$$= 48,053 \text{ Kg}$$

$$\text{d. Kerikil} = 1226,318 \times 0,053$$

$$= 65,012 \text{ Kg}$$

19. Menghitung kadar serbuk cangkang kerang sebanyak 10 silinder

$$\text{Berat jenis serbuk cangkang kerang} = 2,64$$

$$\text{Berat jenis agregat halus} = 2,65$$

Kadar serbuk cangkang kerang adalah 10% dari berat agregat halus.

$$\text{Kadar serbuk cangkang kerang} = 48,053 \times 10\%$$

$$= 4,805$$

Setelah itu menggunakan metode persamaan dikarenakan berat jenis yang berbeda, persamaan sebagai berikut.

$$\frac{10\% \text{ berat agregat halus}}{\text{berat jenis agregat halus}} = \frac{\text{proporsi serbuk cangkang kerang}}{\text{berat jenis serbuk cangkang kerang}}$$

Perhitungannya :

$$\frac{4,805}{2,65} = \frac{x}{2,64}$$

$$\text{Proporsi serbuk cangkang kerang 10 silinder} = \frac{4,805 \times 2,64}{2,65}$$

$$= 4,787 \text{ Kg}$$

20. Menghitung kadar Sikament LN sebanyak 10 silinder.

$$\text{a. Kadar Sikament LN 1\%} = 1\% \times 23,712$$

$$= 0,237$$

$$\text{b. Kadar Sikament LN 1,25\%} = 1,25\% \times 23,712$$

$$= 0,296$$

$$\text{c. Kadar Sikament LN 1,5\%} = 1,5\% \times 23,712$$

$$= 0,356$$

Hasil perencanaan kebutuhan material untuk campuran beton (*mix design*) yang diperlukan untuk 10 silinder dapat ditemukan pada Tabel 5.21, yang menyajikan rincian lengkap mengenai komposisi material yang digunakan.

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton

Kode Benda Uji	Semen (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Air (Kg)	Serbuk Cangkang Kerang (Kg)	Sikament LN (Kg)
BN	23,712	48,053	65,012	13,042	0	0
BK0	23,712	43,247	65,012	13,042	4,787	0
BK1	23,712	43,247	65,012	13,042	4,787	0,237
BK1,25	23,712	43,247	65,012	13,042	4,787	0,296
BK1,5	23,712	43,247	65,012	13,042	4,787	0,356
Jumlah	118,559	221,042	325,062	65,208	19,149	0,889

5.6 Hasil Pengujian Benda uji

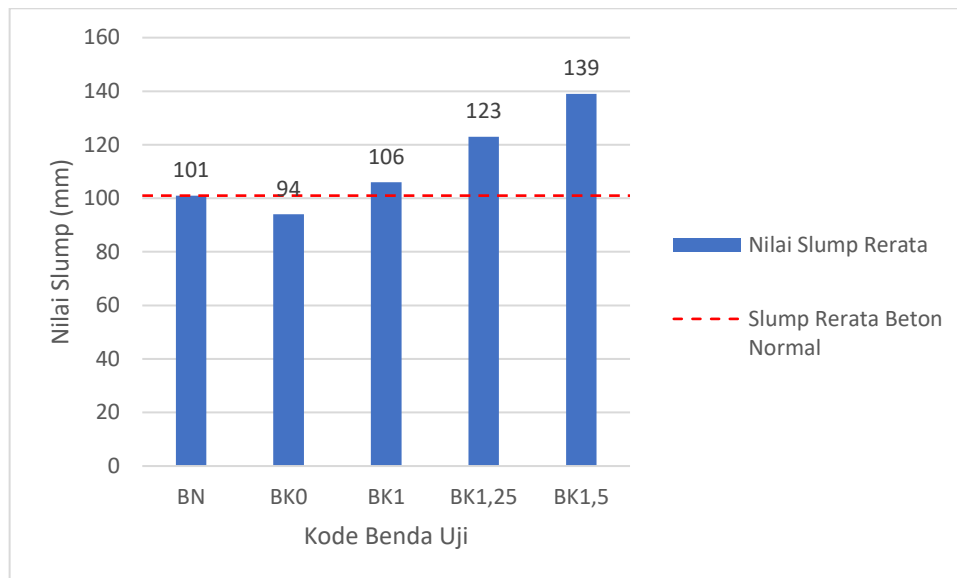
5.6.1 Hasil Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* memberikan hasil yang bervariasi pada campuran beton. Nilai *slump* ini sangat berpengaruh terhadap kemudahan pengerjaan campuran beton (*workability*). Jika campuran beton kurang air, hal ini dapat menyebabkan adukan beton menjadi tidak merata, sulit untuk dicetak, dan berpotensi pecah. Sebaliknya, jika terlalu banyak air ditambahkan ke dalam campuran, mutu beton dapat menurun secara signifikan. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat dalam Tabel 5.22, yang menyajikan data lengkap mengenai nilai *slump* yang diperoleh.

Tabel 5. 22 Hasil Pengujian *Slump*

Kode Benda Uji	Kadar Serbuk Kerang	Kadar Sikament LN	Nilai <i>slump</i> (mm)
BN	0%	0%	101
BK0	10%	0%	94
BK1	10%	1%	106
BK1,25	10%	1,25%	123
BK1,5	10%	1,5%	139

Berdasarkan hasil pengujian *slump*, dibuat grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.10. Diagram ini menggambarkan nilai *slump* pada setiap variasi beton.



Gambar 5. 10 Diagram Hasil Pengujian *Slump*

Nilai *slump* tertinggi terdapat pada BK1,5 yaitu 139 mm, dengan variasi penambahan Sikament LN 1,5% dari berat semen dan substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebesar 10%, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.22 dan Gambar 5.10. Sedangkan nilai *slump* terendah terdapat pada BK0 yaitu sebesar 94 mm dengan substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebesar 10% tanpa penambahan Sikament LN. Nilai *slump* pada setiap variasi masih berada dalam rencana yaitu 60-180 mm.

Terjadinya penurunan pada variasi BK0 disebabkan kemampuan penyerapan air serbuk cangkang kerang yang tinggi dibandingkan dengan semen yang dipengaruhi oleh kandungan kalsium oksida (CaO) pada serbuk cangkang kerang lebih tinggi daripada kandungan kalsium oksida (CaO) yang terkandung pada semen. Kalsium oksida (CaO) bereaksi dengan air menghasilkan gas hydrogen dan larutan kalsium hidroksida, lalu menghasilkan gas karbon dioksida yang bersifat panas yang membuat kadar air berkurang dan proses pengerasan lebih cepat (Asbiartha, 2022). Hal itu berbanding terbalik pada variasi dengan penambahan

Sikament LN pada campuran beton. Semakin besar persentase Sikament LN pada campuran beton maka menghasilkan nilai *slump* yang semakin tinggi dikarenakan Sikament LN dapat berfungsi untuk meningkatkan kelacakan pada beton. Maka dari itu penggunaan Sikament LN pada penelitian ini bertujuan untuk mengimbangi daya serap air yang cukup tinggi oleh serbuk cangkang kerang.

5.6.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kekuatan tekan beton dilaksanakan setelah benda uji berumur 28 hari. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa beton mampu menahan beban dari alat uji kuat tekan hingga pada saat mencapai kekuatan maksimalnya. Untuk menguji kekuatan tekan, digunakan benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, dengan total lima silinder untuk setiap variasi. Sebelum pengujian dimulai, permukaan beton benda uji diberi *capping* agar permukaan atasnya rata, sehingga beban yang diterima oleh beton dapat didistribusikan secara merata selama pengujian. Perhitungan kekuatan tekan beton normal untuk sampel 1 akan disajikan sebagai berikut.

$$\text{Diameter} = 150,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban maks} &= 384,41 \text{ Kn} \times 1000 \\ &= 384410 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150,5^2 \\ &= 17789,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{384410}{17789,465} \\ &= 21,609 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Nilai kuat tekan beton pada setiap benda uji dihitung berdasarkan contoh perhitungan yang telah dijelaskan sebelumnya untuk menentukan nilai kuat tekannya. Selanjutnya, nilai kuat tekan rata-rata untuk setiap variasi dihitung, dan

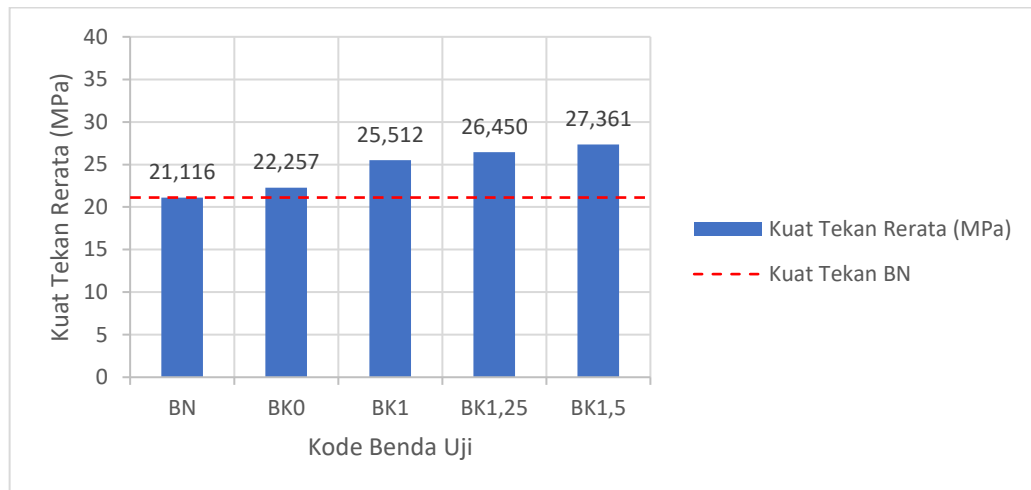
hasilnya disajikan dalam Tabel 5.23. Tabel ini memberikan gambaran yang jelas tentang perbandingan kekuatan tekan antara variasi campuran beton yang diuji.

Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
BN	S1	150,5	302,4	17789,465	12,583	384,41	21,609	21,116
	S2	151,3	300,5	17979,091	12,783	366,44	20,381	
	S3	152,4	301,5	18241,469	12,674	381,67	20,923	
	S4	151,8	302,4	18098,118	12,698	376,99	20,830	
	S5	152,2	302,1	18193,623	12,735	397,29	21,837	
BK0	S1	151,1	302,1	17931,590	12,563	398,13	22,202	22,257
	S2	150,3	301,3	17742,215	12,628	415,13	23,398	
	S3	150,8	302,3	17860,457	12,490	385,84	21,603	
	S4	152,1	301,2	18169,723	12,568	387,94	21,351	
	S5	151,8	302,7	18098,118	12,615	411,36	22,729	
BK1	S1	151,4	301,8	18002,865	12,4870	477,80	26,540	25,512
	S2	150,7	303,1	17836,777	12,5830	437,56	24,531	
	S3	150,3	302,9	17742,215	12,7230	477,14	26,893	
	S4	151,5	302,7	18026,655	12,6290	452,92	25,125	
	S5	151,8	301,8	18098,118	12,4790	442,83	24,468	
BK1,25	S1	151,9	302,1	18121,971	12,513	498,71	27,520	26,450
	S2	152,7	302,9	18313,357	12,504	520,16	28,403	
	S3	151,7	303,1	18074,282	12,682	451,93	25,004	
	S4	152,2	302,4	18193,623	12,483	462,69	25,431	
	S5	153,5	301,7	18505,748	12,530	479,13	25,891	
BK1,5	S1	151,6	302,3	18050,460	12,458	517,74	28,683	27,361
	S2	152,5	302,7	18265,416	12,483	475,05	26,008	
	S3	151,7	301,6	18074,282	12,409	468,60	25,926	
	S4	152,8	303,1	18337,351	12,683	515,72	28,124	
	S5	150,8	303,6	17860,457	12,533	501,23	28,064	

Dengan menggunakan hasil pengujian kuat tekan beton yang ditunjukkan pada Tabel 5.23, dibuatlah diagram hasil pengujian beton variasi penambahan

Sikament LN dan substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang terhadap beton normal. Sehingga peningkatan/penurunan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Tabel 5.24.



Gambar 5. 11 Diagram Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 5. 24 Kuat Tekan Beton Rata-rata

Kode Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Peningkatan (%)
BN	21,116	0,000
BK0	22,257	5,402
BK1	25,512	20,816
BK1,25	26,450	25,259
BK1,5	27,361	29,574

Berdasarkan diagram yang ditampilkan pada Gambar 5.11 dan informasi yang terdapat dalam Tabel 5.24, semua variasi penambahan Sikament LN dan substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang yang diterapkan dalam penelitian ini terbukti meningkatkan nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Benda uji beton normal menunjukkan kuat tekan sebesar 21,116 MPa, yang mengindikasikan bahwa desain campuran (*mix design*) yang digunakan telah memenuhi atau bahkan melampaui target kuat tekan rencana sebesar 20 MPa. Hal

ini menunjukkan keberhasilan dalam pemilihan bahan dan proporsi campuran. Dari penelitian yang telah dilakukan terdapat kesamaan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Umar (2020), yaitu terjadi peningkatan nilai kuat tekan pada beton dengan substitusi sebagian serbuk cangkang kerang 10% terhadap berat agregat halus dan penambahan *superplasticizer* 1% terhadap berat semen dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton normal, pada penelitian Umar (2020) didapatkan nilai 29,44 MPa, naik 25,06% dari nilai beton normal sebesar 23,54 MPa, sedangkan pada penelitian ini didapatkan nilai 25,512 MPa, naik 20,816% dari nilai beton normal sebesar 21,116 MPa.

Benda uji beton dengan variasi Sikament LN 0% (BK0), 1% (BK1), 1,25% (BK1,25) dan 1,5% (BK1,5) dari berat semen dan substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebesar 10% mengalami peningkatan dibandingkan beton normal. Benda uji BK0 mengalami peningkatan 5,402% dengan nilai kuat tekan 22,257 MPa, benda uji BK1 mengalami peningkatan 20,816% dengan nilai kuat tekan 25,512 MPa, benda uji BK1,25 mengalami peningkatan 25,259% dengan nilai kuat tekan 26,450 MPa, dan benda uji BK1,5 mengalami peningkatan 29,574% dengan nilai kuat tekan 27,361 MPa.

Kenaikan nilai kuat tekan beton pada variasi beton BK0 yang menggunakan serbuk cangkang kerang darah sebagai substitusi sebagian pasir tanpa penambahan Sikament LN dapat dipengaruhi oleh kandungan yang terdapat pada cangkang darah. Menurut penelitian yang telah dilakukan Asbiartha (2022), senyawa CaO pada cangkang kerang darah akan bereaksi dengan senyawa silika yang terdapat pada semen sehingga akan membentuk lebih banyak kalsium silikat hidrat (C-S-H) sehingga penggunaan serbuk cangkang darah dengan presentase yang sesuai dapat meningkatkan kuat tekan beton, namun penggunaan yang berlebih dapat menyebabkan beton hidrasi dan mudah getas sehingga menurunkan kuat tekan beton.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, nilai kuat tekan beton dengan substitusi serbuk cangkang kerang terhadap agregat halus mengalami peningkatan dibandingkan dengan beton normal, menurut peneliti hal ini terjadi karena

substitusi serbuk cangkang kerang darah yang mengandung kalsium oksida ke dalam campuran beton dapat meningkatkan proses hidrasi dan butiran halus yang terdapat pada serbuk cangkang kerang dapat mengurangi pori dalam beton sehingga menghasilkan beton dengan kuat tekan lebih tinggi dan struktur yang lebih padat. Penambahan Sikament LN pada campuran beton yang berfungsi untuk menjaga kelacakan pada campuran beton dan mengimbangi penurunan faktor air semen juga berpengaruh pada peningkatan kekuatan beton.

Menurut penelitian yang telah dilakukan Umar (2020), terjadinya kenaikan pada kuat tekan beton dikarenakan pada serbuk cangkang kerang darah memiliki sifat pozzolan, yang berarti akan bereaksi saat proses hidrasi semen sehingga membentuk senyawa kalsium silikat hidrat yang dapat meningkatkan kekuatan beton. Selain itu, serbuk cangkang kerang darah memiliki kandungan kalsium oksida tinggi yang dapat digunakan sebagai filler dalam campuran beton, meningkatkan kepadatan beton dan mengurangi porositasnya. Karena kandungan silika dioksidanya yang tinggi, serbuk cangkang kerang darah dapat meningkatkan kandungan silika dalam semen hingga batas tertentu, yang menghasilkan nilai kuat tekan beton maksimum pada substitusi agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebesar 10%. Penambahan *superplasticizer* juga membuat beton lebih kuat karena mengurangi faktor udara semen, yang merupakan komponen penting dalam kualitas beton, sehingga hanya udara yang dibutuhkan untuk reaksi hidrasi semen saja yang digunakan.

5.6.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode belah pada silinder beton, bertujuan untuk menentukan beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton ketika ditempatkan secara horizontal di atas mesin uji. Kuat tarik beton sangat dipengaruhi oleh kualitas material yang digunakan dalam proses pembuatannya. Jika bahan yang digunakan berkualitas tinggi dan proses pembuatan serta perawatan beton dilakukan dengan baik, maka hasil beton yang dihasilkan akan memiliki kualitas yang optimal. Pengujian ini dilaksanakan pada beton yang telah berumur 28 hari, dengan setiap variasi terdiri dari 5 silinder uji. Setelah pengujian

selesai dan beban maksimum yang dapat diterima oleh beton terukur, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk memperoleh nilai kuat tarik beton yang telah diuji. Berikut adalah contoh perhitungan kuat tarik untuk beton normal pada sampel 1.

$$D = 151,5 \text{ mm}$$

$$L = 301,6 \text{ mm}$$

$$P = 179 \text{ Kn} \times 1000$$

$$= 179000 \text{ N}$$

$$T = \frac{2P}{\pi LD}$$

$$= \frac{2 \times 179000}{\pi \times 301,6 \times 151,5}$$

$$= 2,494 \text{ MPa}$$

Setiap benda uji dalam setiap variasi dihitung menggunakan metode perhitungan yang telah dijelaskan sebelumnya untuk menentukan nilai kuat tarik betonnya. Setelah itu, nilai kuat tarik dari masing-masing variasi dihitung rata-ratanya. Hasil pengujian kuat tarik untuk tiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.25.

Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Selimut (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban (kN)	Kuat Tarik (MPa)	Rata-rata (MPa)
BN	S1	151,5	301,6	143546,9082	12,764	179	2,494	2,157
	S2	152,2	302,1	144449,2364	12,683	144	1,994	
	S3	151,4	301,5	143404,594	12,534	135	1,883	
	S4	151,3	302,4	143737,6657	12,761	160	2,226	
	S5	152,1	301,9	144258,7616	12,633	158	2,191	
BK0	S1	151,3	301,7	143404,9396	12,64	191	2,664	2,412
	S2	151,3	302,6	143832,7303	12,57	176	2,447	
	S3	151,9	302,4	144307,6762	12,44	173	2,398	

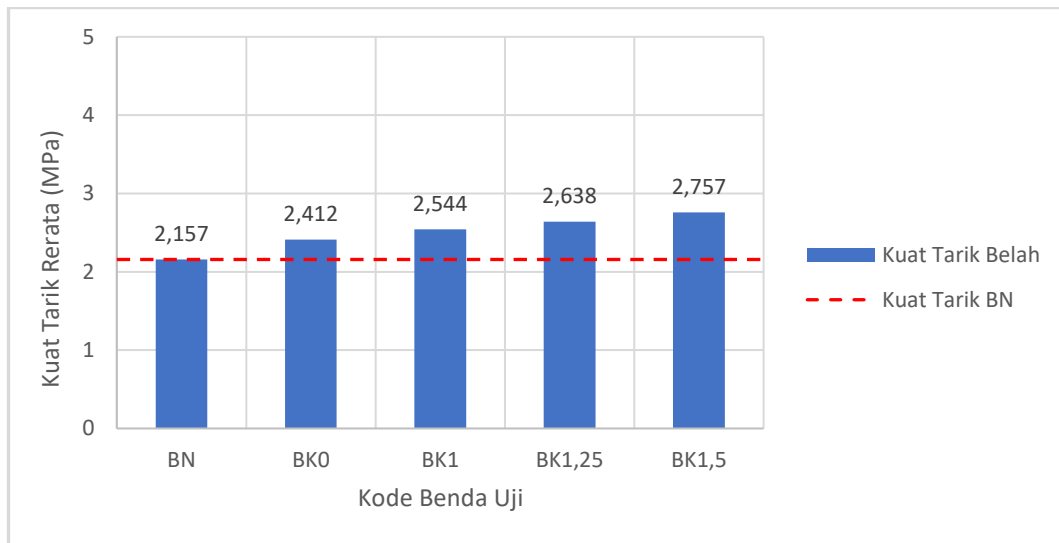
Lanjutan Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Selimut (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban (kN)	Kuat Tarik (MPa)	Rata-rata (MPa)
BK0	S4	150,4	301,9	142646,402	12,607	148	2,075	
	S5	152,8	303,1	145498,7168	12,713	180	2,474	
BK1	S1	152,8	303,5	145690,731	12,54	184	2,526	2,544
	S2	152,5	302,7	145021,4147	12,67	205	2,827	
	S3	151,4	302,1	143689,9763	12,74	194	2,700	
	S4	152,1	302,3	144449,8961	12,638	198	2,741	
	S5	153,7	301,2	145438,2726	12,402	140	1,925	
BK1,25	S1	151,3	303,2	144117,924	12,63	174	2,415	2,638
	S2	152,5	302,6	144973,5054	12,51	153	2,111	
	S3	153,3	301,9	145396,8978	12,63	224	3,081	
	S4	152,9	302,3	145209,6589	12,583	207	2,851	
	S5	152,1	303,1	144832,1651	12,652	198	2,734	
BK1,5	S1	151,2	302,4	143642,6639	12,583	217	3,021	2,757
	S2	151,8	301,5	143783,4701	12,739	187	2,601	
	S3	153,4	303,5	146262,815	12,532	188	2,571	
	S4	152,2	302,4	144592,6815	12,628	197	2,725	

Berdasarkan rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton yang terdapat pada Tabel 5.25, selanjutnya dibuatlah diagram untuk memvisualisasikan baik peningkatan maupun penurunan pada setiap variasi. Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada Tabel 5.26 dan Gambar 5.12.

Tabel 5. 26 Kuat Tarik Belah Beton Rata-rata

Kode Benda Uji	Kuat Tarik (MPa)	Peningkatan (%)
BN	2,157	0,000
BK0	2,412	11,779
BK1	2,544	17,916
BK1,25	2,638	22,291
BK1,5	2,757	27,793



Gambar 5. 12 Diagram Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan diagram yang ditampilkan pada Gambar 5.12 dan Tabel 5.26, terlihat bahwa semua variasi penambahan Sikament LN dan substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang dalam penelitian ini berhasil menunjukkan peningkatan kuat tarik beton pada usia 28 hari. Benda uji beton normal, sebagai beton pembanding memiliki nilai kuat tarik sebesar 2,157 MPa. Beton dengan variasi Sikament LN 0% (BK0), 1% (BK1), 1,25% (BK1,25), dan 1,5% (BK1,5) dari berat semen serta substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebanyak 10% dari berat agregat halus pada setiap variasi menunjukkan peningkatan kuat tarik dibandingkan beton normal. Benda uji BK0 meningkat sebesar 11,779% dengan kuat tarik 2,412 MPa, BK1 meningkat 17,916% dengan kuat tarik 2,544 MPa, BK1,25 meningkat 22,291% dengan kuat tarik 2,638 MPa, dan BK1,5 meningkat 27,793% dengan kuat tarik 2,757 MPa.

Peningkatan kuat tarik beton yang paling signifikan terjadi pada variasi penambahan Sikament LN 1,5% dari berat semen serta substitusi sebagian agregat halus menggunakan serbuk cangkang kerang sebesar 10%. Kombinasi ini menghasilkan peningkatan kuat tarik sebesar 27,793%, dengan nilai kuat tarik mencapai 2,757 MPa. Peningkatan ini disebabkan oleh reaksi antara serbuk

cangkang kerang dengan hasil hidrasi dari air dan semen, yang pada gilirannya meningkatkan daya lekat antar partikel. Selain itu, serbuk cangkang kerang berperan dalam mengurangi jumlah pori-pori dalam beton, sehingga membuat beton menjadi lebih padat dan kuat. Penambahan *superplasticizer* Sikament LN juga berpengaruh pada pengujian kuat tarik beton, karena membuat beton lebih kuat karena mengurangi faktor udara semen, yang merupakan komponen penting dalam kualitas beton, sehingga hanya udara yang dibutuhkan untuk reaksi hidrasi semen saja yang digunakan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian yang telah dilaksanakan menghasilkan beberapa kesimpulan penting sebagai berikut.

1. Penggunaan Sikament LN serta serbuk cangkang kerang sebagai substitusi sebagian agregat halus berpengaruh signifikan terhadap kekuatan beton. Semua beton dengan variasi Sikament LN dan serbuk cangkang kerang sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam studi ini menunjukkan peningkatan kuat tekan beton, dengan persentase peningkatan berkisar antara 5,402% hingga 29,574%. Selain itu, kuat tarik belah beton juga mengalami peningkatan, dengan rentang peningkatan antara 11,779% hingga 27,793%.
2. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa kuat tekan beton normal adalah sebesar 21,116 MPa. Beton tanpa Sikament LN namun dengan substitusi 10% serbuk cangkang kerang sebagai pengganti sebagian agregat halus (BK0), menunjukkan nilai kuat tekan sebesar 22,257 MPa, lalu pada penambahan Sikament LN 1% terhadap berat semen (BK1) menghasilkan kuat tekan 25,512 MPa, Sikament LN 1,25% terhadap berat semen (BK1,25) menghasilkan kuat tekan 26,450 MPa, dan Sikament LN 1,5% terhadap berat semen (BK1,5) mencapai 27,361 MPa. Selain itu, kuat tarik belah beton normal tercatat sebesar 2,157 MPa. Untuk beton tanpa Sikament LN namun dengan substitusi 10% serbuk cangkang kerang (BK0), nilai kuat tarik belah adalah 2,412 MPa, lalu pada penambahan Sikament LN 1% terhadap berat semen (BK1) menunjukkan kuat tarik belah sebesar 2,544 MPa, Sikament LN 1,25% terhadap berat semen (BK1,25) sebesar 2,638 MPa, dan Sikament LN 1,5% terhadap berat semen (BK1,5) mencapai 2,757 MPa.
3. Pada penelitian ini, variasi penambahan Sikament LN 1,5% dari berat semen serta substitusi serbuk cangkang kerang sebesar 10% dari berat agregat halus

menghasilkan nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton tertinggi. Pada variasi ini, kuat tekan beton meningkat sebesar 29,574% menjadi 27,361 MPa dibandingkan dengan beton normal yang memiliki kuat tekan sebesar 21,116 MPa. Selain itu, kuat tarik belah beton meningkat sebesar 27,793% menjadi 2,757 MPa, sedangkan beton normal memiliki nilai kuat tarik belah 2,157 MPa.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang diharapkan dapat memberikan manfaat untuk penelitian di masa mendatang.

1. Diperlukan penelitian lanjutan dengan menggunakan variasi kadar penggunaan Sikament LN yang lebih tinggi dari 1,5% untuk mendapatkan nilai optimum yang dapat secara signifikan meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Namun perlu diketahui bahwa penggunaan Sikament LN ditentukan dengan kadar maksimum 2% sesuai katalog produk Sikament LN.
2. Disarankan agar penelitian selanjutnya mencakup pengujian yang lebih beragam, tidak hanya terbatas pada uji kuat tekan beton dan uji kuat tarik belah beton, tetapi juga pengujian lainnya yang relevan.
3. Perlu dilakukan studi lebih lanjut dengan menggunakan jenis cangkang kerang yang berbeda serta merek *superplasticizer* yang beragam, asalkan memiliki fungsi dan karakteristik yang serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggiani, K. 2022. Analisis Penambahan Serbuk Cangkang Kerang terhadap Kuat Tekan Beton. Universitas Medan Area.
- Arbi, H.M. 2015. Pengaruh Substitusi Cangkang Kerang Dengan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. Universitas Al- Muslim. Aceh.
- Asbiartha, P., Alfa, A., Gasali, M., Sudeska, E. 2022. Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang Dara dan Lokan sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Berat Volume, Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. Jurnal Selodang Mayang Vol 8. No. 1. Universitas Islam Indragiri
- Badan Standarisasi Nasional (SK SNI T-15:1990). 1990. Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 03-1968-1990). 1990. Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 03-2834-2000). 2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 03-4142-1996). 1996. Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm). Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 03-4804-1998). 1998. Metode Pengujian Berat isi dan Rongga Udara Dalam Agregat. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 1969:2008). 2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 1972:2008). 2008. Cara Uji Slump Beton. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 03-1970-1990). 1990. Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 1974:2011). 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 2049:2004). Semen *Portland*. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 2491:2014). 2014. Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Specimen Beton Silinder. (ASTM C496/C496-04, IDT).
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 2493:2011). 2011. Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Jakarta.

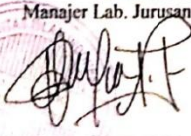
- Badan Standarisasi Nasional (SNI 2847:2013). 2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum (SNI 03-2495-1991). 1991. Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- Direktorat Penyeledikan Masalah Bangunan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.
- Ferguson, P.M. 1986. Dasar-dasar Beton Bertulang, Edisi keempat. Erlangga. Jakarta
- Hudaya, R., 2010. Pengaruh Pemberian Belimbing Wuluh terhadap Kadar Kadmium pada Kerang yang Berasal dari Laut Belawan. Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara.
- Irwansyah, Purwandito, M., Elvira, D. 2023. Analisis Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang Hijau (*Perna Viridis*) Sebagai Agregat Terhadap Kuat Tekan Campuran Beton. PRINCE, Volume 2, Nomor 2, Juli 2023. Kota Langsa.
- Mulyono, T. 2003. Teknologi Beton, Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Siregar, S.M. 2009. Pemanfaatan Kulit Kerang dan Resin Epoksi terhadap Karakteristik Beton Polimer. Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara.
- Sitanggang, R., Hutabarat, N.S., Ginting, R. 2023 ‘Penggunaan *Superplasticizer* pada Beton Mutu $F'c$ 25 MPa’, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 11(1), pp.148-157.
- Sugiharti, Qomariah, dan Firatama, A.D. 2020. Analisis Pemanfaatan Cangkang Kerang Sebagai Substitusi Pasir Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Beton Normal. Jurnal JOS-MRK 1(September), pp. 8–11.
- Syafpoetri, N.A. 2013. Pemanfaatan Abu Kulit Kerang (*Anadara Grandis*) Untuk Pembutan Ekosemen, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Tjokrodimuljo, K. 1996. Buku Teknologi Beton. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo, K. 2007. Teknologi Beton. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Yogyakarta.
- Umar, W.K. 2020. Analisis Kuat Tekan Beton yang Menggunakan Kulit Kerang sebagai Substitusi Pasir dan Bahan Tambah *Superplasticizer*. Program Studi Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

LAMPIRAN

Lampiran 1 *Time Schedule*

Uraian kegiatan	Jam kerja (jam)	Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Kegiatan																	
1. Persiapan penelitian																	
Studi literatur	19	9,5	9,5														
2. Persiapan bahan																	
Agregat	6			6													
Semen	6			6													
Bahan tambah	7			7													
Air	4			4													
3. Pembuatan benda uji																	
Pemeriksaan agregat halus	5			2,5	2,5												
Pemeriksaan agregat kasar	5			2,5	2,5												
Pemeriksaan Serbuk Cangkang Keran	6			3	3												
Analisis pengujian agregat	6,5			3		3,5											
<i>Mix design</i>	4					2	2										
Pembuatan dan perawatan benda uji	12						4	4	4								
Persiapan pengujian	12								4	5	3						
Pengujian benda uji	12										12						
Analisis data	5										5						
4. Penyusunan laporan																	
Analisis data	5											5					
Pengolahan data	10												10				
Pembahasan	6,5													6,5			
Jumlah total	131																
Rencana Mingguan (jam)		9,5	9,5	31	11	5,5	6	4	8	5	20	5	10	6,5			
Jam Kerja Kumulatif (jam)		9,5	19	50	61	66,5	72,5	76,5	84,5	89,5	109,5	114,5	124,5	131			

Lampiran 2 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium

 <p>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</p>	<p>FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN</p>	<p>Gedung KH. Moh. Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kalirejo km. 14,5 Yogyakarta 55584 T. (0274) 898644 ext 3290, 3293 F. (0274) 895330 E. dekanat.ftsp@uii.ac.id W. ftsp.uii.ac.id</p>
<p><u>SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM</u></p>		
<p>Nomor : 75/Ka.Lab/60/LBKT/VIII/2024</p>		
<p>Bismillahirrohmaanirrohiim</p>		
<p>Yang bertandatangan dibawah ini :</p>		
Nama	: Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.	
NIK	: 165111301	
Jabatan Struktural	: Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII	
<p>Dengan ini menerangkan bahwa :</p>		
Nama	: SURYA AGUSTAMA	
N I M	: 19511248	
Program Studi	: S1 Teknik Sipil	
Dosen Pembimbing TA	: Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.	
Instansi	: Universitas Islam Indonesia	
<p>Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir "PEMANFAATAN CANGKANG KERANG SEBAGAI SUBSTITUSI SEBAGAIAN AGREGAT HALUS DENGAN BAHAN TAMBAH SUPERPLASTICIZER TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON" serta sudah menyelesaikan semua administrasinya¹.</p>		
<p>Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.</p>		
<p>Diperiksa oleh : Kepala Laboratorium BKT,</p>  <p>Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.</p>		<p>Yogyakarta, 05 Agustus 2024</p> <p>Di data oleh : PLP/Teknisi</p>  <p>Zahwa Imnahosa Puty Pramadi, S.Tr.T</p>
<p>Disahkan oleh : Manajer Lab. Jurusan Teknik Sipil</p>  <p>Ir. Berlian Kuchari, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.</p>		
<p>¹ Nota/Kwitansi terlampir</p>		

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton

<i>Mix Design</i>				
No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat tekan rencana (f'_c)	20	Mpa	
2	Deviasi Standar	7		
3	Nilai tambah	12		
4	Kuat tekan yang ditargetkan (f'_{cr})	32	Mpa	
5	Jenis Semen	Tipe I		Tiga Roda
6	Jenis agregat kasar	Batu Pecah		Clereng
7	Jenis agregat halus	Pasir		Progo
8	Faktor air semen (fas)	0,55		Grafik 1 SNI
9	Slump	60-180	Mm	
10	Ukuran agregat kasar maksimum	20	Mm	
11	Wh (batu tak dipecah)	195		Tabel 3 SNI
12	Wk (batu dipecah)	225		Tabel 3 SNI
13	Kadar air bebas	205	Kg	
14	Kadar semen	372,727	Kg	
15	Kadar semen minimum	325	Kg	Tabel 4 SNI
16	Kadar semen maksimum	-		
17	Berat jenis agregat halus	2,65		Uji Properties
18	Berat jenis agregat kasar	2,59		Uji Properties
19	Persen agregat halus	42,5		
20	Persen agregat kasar	57,5		
21	Berat jenis relatif agregat gabungan	2,616		
22	Berat isi beton	2355	Kg/m ³	Grafik 6 SNI
23	Kadar agregat gabungan	1777,27	Kg/m ³	
24	Kadar agregat halus	755,341	Kg/m ³	
25	Kadar agregat kasar	1021,93	Kg/m ³	
26	Kadar semen digunakan	372,727	Kg/m ³	
27	Kadar air digunakan	205	Kg/m ³	
28	Kadar Sikament LN		Kg/m ³	Variasi 0%, 1%, 1,25%, 1,5% dari berat semen
29	Kadar serbuk cangkang kerang darah		Kg/m ³	10% dari berat pasir

Lampiran 4 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton pada Setiap Variasi

Data Hasil Perencanaan Campuran Beton

Pada Setiap Variasi Menggunakan 10 Benda Uji Silinder (0,0530 m³)

Variasi (%)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	Serbuk Cangkang Kerang Darah (kg)	Sikament LN (kg)
BN	48,053	65,012	23,712	13,042	0	0
BK0	43,247	65,012	23,712	13,042	4,787	0
BK1	43,247	65,012	23,712	13,042	4,787	0,237
BK1,25	43,247	65,012	23,712	13,042	4,787	0,296
BK1,5	43,247	65,012	23,712	13,042	4,787	0,356
Total	221,042	325,062	118,559	65,208	19,149	0,889

Lampiran 5 Proses Pengujian



Gambar L-5.1 Pengujian *Slump*



Gambar L-5.2 Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar L-5.3 Pengujian Kuat Tarik Beton



Gambar L-5.4 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar L-5.5 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tarik Beton

Lampiran 6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 896444, 896471 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Tabel Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat Beton (Kg)	Beban Maks (Kn)	A (mm ²)	f' _c (Mpa)	f' _c rerata (Mpa)
BN.1	150,5	302,4	12,58	384,41	17789,464	21,609	21,116
BN.2	151,3	300,5	12,78	366,44	17979,091	20,381	
BN.3	152,4	301,5	12,67	381,67	18241,469	20,923	
BN.4	151,8	302,4	12,69	376,99	18098,118	20,830	
BN.5	152,2	302,1	12,73	397,29	18193,622	21,837	
BK0.1	151,1	302,1	12,56	398,13	17931,590	22,202	22,257
BK0.2	150,3	301,3	12,62	415,13	17742,215	23,398	
BK0.3	150,8	302,3	12,49	385,84	17860,456	21,603	
BK0.4	152,1	301,2	12,56	387,94	18169,723	21,351	
BK0.5	151,8	302,7	12,61	411,36	18098,118	22,729	
BK1.1	151,4	301,8	12,48	477,80	18002,865	26,540	25,512
BK1.2	150,7	303,1	12,58	437,56	17836,777	24,531	
BK1.3	150,3	302,9	12,72	477,14	17742,215	26,893	
BK1.4	151,5	302,7	12,62	452,92	18026,655	25,125	
BK1.5	151,8	301,8	12,47	442,83	18098,118	24,468	
BK1,25.1	151,9	302,1	12,51	498,71	18121,970	27,520	26,450
BK1,25.2	152,7	302,9	12,50	520,16	18313,356	28,403	
BK1,25.3	151,7	303,1	12,68	451,93	18074,281	25,004	
BK1,25.4	152,2	302,4	12,48	462,69	18193,622	25,431	
BK1,25.5	153,5	301,7	12,53	479,13	18505,747	25,891	



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lanjutan Tabel Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat Beton (Kg)	Beban Maks (Kn)	A (mm ²)	f'_c (Mpa)	f'_c rerata (Mpa)
BK1,5.1	151,6	302,3	12,45	517,74	18050,460	28,683	27,361
BK1,5.2	152,5	302,7	12,48	475,05	18265,416	26,008	
BK1,5.3	151,7	301,6	12,40	468,60	18074,282	25,926	
BK1,5.4	152,8	303,1	12,68	515,72	18337,351	28,124	
BK1,5.5	150,8	303,6	12,53	501,23	17860,457	28,064	

Yogyakarta 12 November 2024

Didata oleh :
PLP/Teknisi

Daru Salam, A.Md.

Diperiksa oleh:
Kepala Laboratorium BKT

Astriana Hardawati, S.T., M. Eng

Lampiran 7 Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14.5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Tabel Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton

Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat Beton (Kg)	Beban Maks (Kn)	Luas Selimut (mm ²)	Kuat Tarik (Mpa)	Kuat Tarik rerata (Mpa)
BN.1	151,5	301,6	12,764	179	143546,91	2,494	2,157
BN.2	152,2	302,1	12,683	144	144449,24	1,994	
BN.3	151,4	301,5	12,534	135	143404,59	1,883	
BN.4	151,3	302,4	12,761	160	143737,67	2,226	
BN.5	152,1	301,9	12,633	158	144258,76	2,191	
BK0.1	151,3	301,7	12,64	191	143404,94	2,664	2,412
BK0.2	151,3	302,6	12,57	176	143832,73	2,447	
BK0.3	151,9	302,4	12,44	173	144307,68	2,398	
BK0.4	150,4	301,9	12,607	148	142646,40	2,075	
BK0.5	152,8	303,1	12,713	180	145498,72	2,474	
BK1.1	152,8	303,5	12,54	184	145690,73	2,526	2,544
BK1.2	152,5	302,7	12,67	205	145021,41	2,827	
BK1.3	151,4	302,1	12,74	194	143689,97	2,700	
BK1.4	152,1	302,3	12,638	198	144449,89	2,741	
BK1.5	153,7	301,2	12,402	140	145438,27	1,925	
BK1,25.1	151,3	303,2	12,63	174	144117,92	2,415	2,638
BK1,25.2	152,5	302,6	12,51	153	144973,50	2,111	
BK1,25.3	153,3	301,9	12,63	224	145396,80	3,081	
BK1,25.4	152,9	302,3	12,583	207	145209,64	2,851	
BK1,25.5	152,1	303,1	12,652	198	144832,16	2,734	



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lanjutan Tabel Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton

Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat Beton (Kg)	Beban Maks (Kn)	Luas Selimut (mm ²)	Kuat Tarik (Mpa)	Kuat Tarik rerata (Mpa)
BK1,5.1	151,2	302,4	12,583	217	143642,66	3,021	2,757
BK1,5.2	151,8	301,5	12,739	187	143783,47	2,601	
BK1,5.3	153,4	303,5	12,532	188	146262,82	2,571	
BK1,5.4	152,2	302,4	12,628	197	144592,68	2,725	
BK1,5.5	153,5	302,3	12,516	209	145779,48	2,867	

Yogyakarta 12 November 2024

Didata oleh :

PLP/Teknisi

Daru Salam, A.Md.

Diperiksa oleh:

Kepala Laboratorium BKT

Astriana Hardawati, S.T., M. Eng