TUGAS AKHIR

PENGARUH PEMANFAATAN SERBUK CANGKANG KERANG HIJAU (*PERNA VIRIDIS L.*) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON

(*THE EFFECT OF GREEN SHELLS (PERNA VIRIDIS L.) POWDER UTILIZATION AS A CEMENT SUBSTITUTION MATERIAL ON THE COMPRESSION AND TENSILE STRENGTH OF CONCRETE)*

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

DYAH AYU KUSUMA WARDANI

18511198

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2022

TUGAS AKHIR

PENGARUH PEMANFAATAN SERBUK CANGKANG KERANG HIJAU (*PERNA VIRIDIS L.*) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON

(*THE EFFECT OF GREEN SHELLS (PERNA VIRIDIS L.) POWDER UTILIZATION AS A CEMENT SUBSTITUTION MATERIAL ON THE COMPRESSION AND TENSILE STRENGTH OF CONCRETE)*

Disusun oleh

Dyah Ayu Kusuma Wardani

18511198

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

Diuji pada tanggal 8 Agustus 2022

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.	**Jafar, S.T., M.T., MURP.**	**Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.**
NIK: 165111301	**NIK: 185111305**	**NIK: 185111302**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 8 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Dyah Ayu Kusuma Wardani

(18511198)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Pemanfaatan Serbuk Cangkang Kerang Hijau (Perna viridis L.) sebagai Bahan Substitusi Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton*. Tugas Akhir ini adalah salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dengan jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang senantiasa membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari berbagai hambatan, namun berkat semangat, kritik, serta saran dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasihat, saran serta dorongan yang diberikan selama penulis menyusun Tugas Akhir ini,
3. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP., selaku Dosen Penguji I dalam sidang Tugas Akhir penulis
4. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji II dalam Sidang Tugas Akhir penulis,
5. Bapak Darussalam dan Bapak Suwarno selaku Laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang telah membantu penulis selama proses pengambilan data pengujian,
6. Resto Zona Seafood yang telah memperbolehkan penulis mendapatkan cangkang kerang hijau untuk penelitian ini,

7. Alm. Doso Winoto dan Ibu Sri Lestari selaku orang tua dari penulis atas dorongan baik secara material maupun spiritual hingga selesainya penyusunan Tugas Akhir ini,
8. Immanuel, Oksha, Liza, Dani, Zaneta, Zhazha, Riski, Adhi, Bagus, Fildzah dan teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2018 lainnya yang telah memberikan tenaga dan semangat hingga selesainya penulisan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 8 Agustus 2022
Penulis,



Dyah Ayu Kusuma Wardani
18511198

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 xv
ABSTRAK xvi
ABSTRACT xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Pengaruh Tambahan Cangkang Kerang Terhadap Kuat Beton 6
2.2 Pengaruh Substitusi Semen dengan Abu Cangkang Kerang Lokan (*Galolnia expansa*) dan Penambahan Serat Sabut Kelapa terhadap Kuat Tekan Beton 7
2.3 Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Palu dan Agregat Halus Pasir Mahakam 8
2.4 Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (*Anadara granosa*) Sebagai Bahan Tambah dan Komplemen Terhadap Kuat

Tekan Beton Normal 9
2.5 Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Hijau dengan Variasi Suhu Pembakaran Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen pada Pembuatan Beton 9
2.6 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang 10
BAB III LANDASAN TEORI 17
3.1 Beton 17
3.2 Semen *Portland* (PC) 20
3.3 Agregat 23
3.4 Air 25
3.5 Kerang Hijau (*Perna viridis L.*) 26
3.6 Faktor Air Semen (FAS) 27
3.7 *Slump* 28
3.8 Kuat Tekan Beton 29
3.9 Kuat Tarik Belah Beton 30
3.10 Benda Uji 31
3.11 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat 32
3.12 Analisa Saringan Agregat 35
3.13 Berat Volume Padat/Gembur Agregat 36
3.14 Lolos Saringan No. 200 36
BAB IV METODE PENELITIAN 38
4.1 Tinjauan Umum 38
4.2 Bahan – bahan 38
4.3 Peralatan 39
4.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 50
4.5 Pelaksanaan Penelitian 56
4.5.1 Tahap Persiapan 56
4.5.2 Tahap Pemeriksaan Bahan 57
4.5.3 Pembuatan Benda Uji 66
4.5.4 Perawatan Benda Uji (Curring) 67
4.5.5 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji 67

4.5.6 Pengujian Kuat Tarik Belah Benda Uji 69
4.6 Bagan Alir Penelitian (*Flowchart)* 70
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 74
5.1 Umum 74
5.2 Pemeriksaan Agregat 74
5.2.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus 74
5.2.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar 76
5.2.3 Pemeriksaan Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus 78
5.2.4 Pemeriksaan Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar 85
5.2.5 Pemeriksaan Berat Isi Gembur dan Padat Agregat Halus 93
5.2.6 Pemeriksaan Berat Isi Gembur dan Padat Agregat Kasar 96
5.2.7 Pemeriksaan Butiran yang Lolos Saringan No. 200 100
5.3 Mix Design Beton 101
5.4 Pengujian pada Beton Variasi 109
5.4.1 Pengujian Slump pada Beton 109
5.4.2 Pengukuran Dimensi Silinder Beton 110
5.4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton 112
5.4.4 Pengujian Kuat Tarik Beton 119
5.5 Pembahasan Hasil Pengujian Beton 126
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 131
6.1 Kesimpulan 131
6.2 Saran 131
DAFTAR PUSTAKA 132
LAMPIRAN 135

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	11
Tabel 3.1	Gradasi Agregat Halus	24
Tabel 3.2	Gradasi Agregat Kasar	25
Tabel 3.3	Perbandingan Kandungan Senyawa Penyusun Semen *Portland*	27
Tabel 3.4	Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) dengan fas = 0,5	28
Tabel 3.5	Rekomendasi Nilai Slump	29
Tabel 3.6	Benda Uji	31
Tabel 3.7	Berat Contoh Minimum Agregat Halus	35
Tabel 3.8	Berat Contoh Minimum Agregat Kasar	36
Tabel 3.9	Berat Contoh Minimum Lolos Saringan No. 200	37
Tabel 4.1	Variasi dari Campuran Beton	50
Tabel 4.2	Mutu Pelaksanaan, Volume Adukan dan Deviasi Standar	51
Tabel 4.3	Nilai Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	51
Tabel 4.4	Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3)	53
Tabel 4.5	Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Fas Maksimum	54
Tabel 5.1	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	76
Tabel 5.2	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	78
Tabel 5.3	Perhitungan MHB Agregat Halus Sampel 1	80
Tabel 5.4	Perhitungan MHB Agregat Halus Sampel 2	84
Tabel 5.5	Perhitungan MHB Agregat Kasar Sampel 1	88
Tabel 5.6	Perhitungan MHB Agregat Kasar Sampel 2	92
Tabel 5.7	Pemeriksaan Berat Isi Gembur Agregat Halus	94
Tabel 5.8	Pemeriksaan Berat Isi Padat Agregat Halus	96
Tabel 5.9	Pemeriksaan Berat Isi Gembur Agregat Kasar	98
Tabel 5.10	Pemeriksaan Berat Isi Padat Agregat Kasar	99

Tabel 5.11	Pemeriksaan Butiran yang Lolos Saringan No. 200	100
Tabel 5.12	Mix Design Beton	108
Tabel 5.13	Berat Proporsi Campuran Beton Pada Setiap Variasi	108
Tabel 5.14	Berat Proporsi Campuran Beton pada Setiap Variasi dengan Angka Penyusutan 20%	108
Tabel 5.15	Hasil Pengujian Slump	109
Tabel 5.16	Dimensi Silinder Beton	111
Tabel 5.17	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	117
Tabel 5.18	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	124

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Kerang Hijau	26
Gambar 3.2	Sketsa Kuat Tekan Beton	30
Gambar 3.3	Sketsa Kuat Tarik Belah Beton	31
Gambar 4.1	Cetakan Silinder Beton	39
Gambar 4.2	Sendok Agregat	39
Gambar 4.3	Mixer Beton	40
Gambar 4.4	Saringan Agregat	40
Gambar 4.5	Timbangan	41
Gambar 4.6	Piknometer	41
Gambar 4.7	Kerucut Terpancung	42
Gambar 4.8	Kerucut *abrams*	42
Gambar 4.9	Batang Penumbuk	43
Gambar 4.10	Oven	43
Gambar 4.11	Bak Air	44
Gambar 4.12	Kain Lap	44
Gambar 4.13	*Sieve Shaker*	45
Gambar 4.14	Kuas	45
Gambar 4.15	Talam	46
Gambar 4.16	Gelas Ukur	46
Gambar 4.17	Jangka Sorong	46
Gambar 4.18	*Compressing Test Machine* (CTM)	47
Gambar 4.19	Keranjang Kawat	47
Gambar 4.20	Ember Air	48
Gambar 4.21	Bak Perendaman	48
Gambar 4.22	Gerobak Sorong	49
Gambar 4.23	Lumpang Batu	49
Gambar 4.24	Grinder	50

Gambar 4.25	Grafik Kuat Tekan dengan Faktor Air Semen	52
Gambar 4.26	Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Agregat Maksimum 20 mm	55
Gambar 4.27	Perkiraan Berat Isi Beton yang Selesai Dipadatkan	55
Gambar 4.28	Uji Kuat Tekan Silinder Beton	68
Gambar 4.29	Uji Kuat Tarik Belah Silinder Beton	70
Gambar 4.30	Bagan Alir *(Flowchart)* Penelitian	71
Gambar 4.31	Bagan Alir *(Flowchart)* Pembuatan Serbuk Cangkang Kerang Hijau	73
Gambar 5.1	Gradasi Agregat Halus Sampel 1 dan Batas-batasnya	81
Gambar 5.2	Gradasi Agregat Halus Sampel 2 dan Batas-batasnya	85
Gambar 5.3	Gradasi Agregat Kasar Sampel 1 dan Batas-batasnya	89
Gambar 5.4	Gradasi Agregat Kasar Sampel 2 dan Batas-batasnya	93
Gambar 5.5	Grafik Kuat Tekan Rata-rata Beton	102
Gambar 5.6	Kuat Tarik Belah Rata-rata Beton	103
Gambar 5.7	Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian	104
Gambar 5.8	Hasil Pengujian *Slump*	110
Gambar 5.9	Grafik Kuat Tekan Rata-rata Beton	118
Gambar 5.10	Grafik Kuat Tarik Belah Rata-rata Beton	125
Gambar 5.11	Grafik Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton	126
Gambar 5.12	Grafik Persentase Penurunan Kuat Tarik Belah Beton	128
Gambar 5.13	Grafik Kuat Tarik Belah Beton Dibandingkan dengan General Formula	128
Gambar 5.14	Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian	129

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian	136
Lampiran 2	Laporan Sementara Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	137
Lampiran 3	Laporan Sementara Gambar Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	138
Lampiran 4	Lampiran 16 Gambar Selama Pembuatan Benda Uji dan Pengujian	139
Lampiran 5	Laporan Sementara Gambar Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	140
Lampiran 6	Laporan Sementara Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	141
Lampiran 7	Laporan Sementara Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	142
Lampiran 8	Laporan Sementara Pengujian Kadar Lumpur dalam Pasir	143
Lampiran 9	Laporan Sementara Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	144
Lampiran 10	Laporan Sementara Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm Sampel 1	145
Lampiran 11	Laporan Sementara Gambar Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm Sampel 1	146
Lampiran 12	Laporan Sementara Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm Sampel 2	147
Lampiran 13	Laporan Sementara Gambar Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm Sampel 2	148

Lampiran 14 Laporan Sementara Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar 149
Lampiran 15 Laporan Sementara Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar 150
Lampiran 16 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tekan Beton 151
Lampiran 17 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 152
Lampiran 18 Gambar Selama Pembuatan Benda Uji dan Pengujian 153

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Al_2O_3 = Aluminium Oksida (Alumina)

BCK = Beton Cangkang Kerang

CTM = *Compressing Test Machine*

C2S = Dikalsium Silikat

C3S = Trikalsium Silikat

C3A = Trikalsium Aluminat

C4AF = Tetrakalsium Aluminoferit

$CaCO_3$ = Kalsium Karbonat

CO_2 = Karbon Dioksida

Fe_2O_3 = Besi Oksida

FAS = Faktor Air Semen

f'c = Kuat Tekan Beton

fct = Kuat Tarik Belah Beton

MHB = Modulus Halus Butir

MgO = Magnesium Oksida

OPC = *Ordinary Portland Cement*

PCC = *Portland Composite Cement*

PPC = *Portland Pozzolan Cement*

PBI = Peraturan Beton Indonesia

PUBI = Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia

SNI = Standar Nasional Indonesia

SSD = *Saturated Surface Dry* (Kering Permukaan Jenuh)

ABSTRAK

Wilayah Indonesia yang sebagian besar adalah perairan laut. Laut mendatangkan limbah hasil laut salah satunya adalah cangkang kerang hijau. Cangkang kerang hijau diketahui memiliki kandungan serupa dengan kandungan utama semen *portland* salah satunya adalah Kalsium Karbonat ($CaCO_3$) yang tinggi. $CaCO_3$ diketahui merupakan salah satu senyawa yang berfungsi sebagai pengikat dan pengeras pada campuran beton. Oleh karena itu, diharapkan dengan penggantian kadar senyawa ini pada suatu campuran beton didapatkan beton dengan kekuatan yang maksimal. Kekuatan beton dapat dilihat melalui nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh cangkang kerang hijau terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton serta persentase optimum dari penggunaan serbuk cangkang kerang hijau sebagai substitusi dari sebagian kebutuhan semen.

Perhitungan perencanaan campuran beton dilakukan berdasarkan metode SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana sebesar 20 MPa. Benda uji yang dibuat berbentuk silinder dengan ukuran 150 x 300 mm sebanyak 36 buah. Pengujian benda uji dilakukan saat beton mencapai umur 28 hari.

Pengujian yang dilakukan pada 6 variasi yaitu variasi 0%, 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% menghasilkan kuat tekan beton sebesar: 24,161 MPa, 18,128 MPa, 17,005 MPa, 19,534 MPa, 19,176 MPa, dan 15,681 MPa. Pada pengujian kuat tarik belah beton dengan persentase yang sama secara berturut-turut menghasilkan kekuatan sebesar: 2,400 MPa, 2,408 MPa, 2,134 MPa, 2,290 MPa, 2,225 MPa, dan 1,891 MPa. Dari hasil penelitian didapatkan pengaruh dari serbuk cangkang kerang hijau adalah dapat menaikkan kekuatan beton jika digunakan dengan kadar yang tepat. Penggunaannya dengan kadar yang semakin besar dapat menurunkan kekuatan beton. Kemudian, tidak ditemukan persentase optimum dari beberapa variasi yang diuji karena hasil yang didapatkan masih di bawah kuat tekan dan kuat tarik belah beton normal. Meskipun demikian, didapatkan nilai kuat tekan terbesar dari beberapa variasi yaitu pada kadar 6% sebesar 19,534 MPa dan nilai kuat tarik belah beton yang setara dengan beton normal pada kadar 4% yakni sebesar 2,408 MPa.

Kata kunci: Cangkang kerang hijau, Kuat tekan, Kuat tarik belah

ABSTRACT

The territory of Indonesia, which is mostly maritime area, brings in marine product waste, one of which is green mussel shells. Green mussel shells are known to have similar content to the main content of portland cement, one of which is high calcium carbonate ($CaCO_3$). $CaCO_3$ is known to be one of the compounds that function as a binder and hardener in concrete mixtures. Therefore, it is hoped that by replacing the content of this compound to a concrete mixture, concrete with maximum strength is obtained. The strength of concrete can be seen through the value of the compressive strength and split tensile strength of the concrete. This study aims to determine how much influence the green mussel shells have on the compressive strength and split tensile strength of concrete and to determine the optimum percentage of the use of green mussel shell powder as a substitution for some cement needs.

The mix design is carried out based on the SNI 03-2834-2000 method with a design compressive strength of 20 MPa. The test objects made in the form of a cylinder with a size of 150 x 300 mm were 36 pieces. Testing of the specimens was carried out when the concrete reached the age of 28 days. Tests carried out on 6 variations, which are variations 0%, 4%, 5%, 6%, 7%, and 8% resulted in concrete compressive strength of: 24,161 MPa, 18,128 MPa, 17,0005 MPa, 19,534 MPa, 19,176 MPa, and 15,681 MPa. The split tensile strength test of concrete with the same percentage successively yielded results of: 2,400 MPa, 2,408 MPa, 2,134 MPa, 2,290 MPa, 2,225 MPa, and 1,891 MPa. From the results of the study, it was found that the effect of green mussel shell powder is that it can increase the strength of concrete if used with the right levels. Its use with greater levels can reduce the strength of concrete. Then, the optimum percentage was not found from several variations tested because the results obtained were still below the compressive strength and split tensile strength of normal concrete. However, the greatest compressive strength value was obtained from several variations, at variation 6% content of 19,534 MPa and the value of split tensile strength of concrete which was equivalent to normal concrete at variation 4%, which was 2.408 MPa.

***Keywords**: Green mussel shells, compressive strength, split tensile strength*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk di Indonesia meningkat setiap tahun. Menurut Badan Pusat Statistik (2021) melalui data sensus penduduk tahun 2020 didapatkan laju pertumbuhan penduduk dalam 10 tahun terakhir yaitu tahun 2010 hingga 2020 sebesar 1,25%. Jumlah penduduk di Indonesia bertambah 32,56 juta jiwa dari tahun 2010 menjadi 270,20 juta jiwa di tahun 2020. Pertumbuhan penduduk yang meningkat seiring bergantinya tahun menyebabkan permintaan akan hunian dan infrastruktur di Indonesia semakin tinggi. Jenis material struktur yang masih diakui sebagai material konstruksi utama adalah beton. Beton masih diminati karena memiliki daya tahan yang tinggi terhadap api, memiliki keawetan yang lebih tanpa kehilangan daya tahan terhadap beban dan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibanding material konstruksi lainnya seperti baja dan kayu. Alhasil, bahan-bahan penyusun beton yang digunakan seperti pasir, agregat, semen, air dan lain-lain akan mengalami peningkatan karena banyaknya permintaan. Namun, banyaknya angka permintaan dapat menyebabkan sumber daya yang ada terus berkurang. Oleh karena itu, untuk menunjang pembangunan yang terus maju muncul inovasi terhadap bahan konstruksi yang digunakan. Dengan harapan, dari inovasi tersebut akan dihasilkan bangunan dengan mutu pekerjaan yang lebih baik serta harga yang lebih terjangkau.

Salah satu inovasi yang muncul adalah dengan memanfaatkan limbah-limbah di lingkungan sekitar. Menurut Rahmadi dkk. (2017), sebagian besar wilayah Indonesia adalah perairan laut. Oleh karena itu perlu mencari inovasi untuk campuran beton dengan menggunakan hasil laut. Salah satu limbah organik yang dapat menjadi permasalahan di Indonesia adalah cangkang kerang. Diketahui melalui Badan Pusat Statistik (2020), besarnya ekspor kerang beku dari Indonesia pada tahun 2019 mencapai angka 77.732 Kg. Ekspor bahan makanan beku berupa

kerang menyisakan cangkang kerang hijau menjadi limbah yang tidak sedikit. Permasalahan mengenai limbah cangkang kulit kerang ini terjadi hampir di seluruh penjuru Indonesia. Produksi limbah cangkang kerang di Sukoharjo pada tahun 2019 diperkirakan sekitar 360 kg per hari (Andika & Safarizki, 2019). Zuraidah dkk (2015) di dalam penelitiannya menyatakan bahwa selama ini pemanfaatan kerang di daerah Kenjeran hanya berupa dagingnya saja sedangkan cangkang kerang belum secara optimal dimanfaatkan. Menurut Susanti (2017), Desa Campurejo memiliki 89 unit pengolahan kerang hijau. Kerang hijau yang dapat dihasilkan setiap 1 unitnya dapat mencapai 100 kg setiap minggunya. Akibatnya, limbah cangkang kerang yang dihasilkan cukup tinggi. Sementara itu, Daerah Sleman memiliki banyak restoran yang menawarkan menu kerang-kerangan termasuk kerang hijau. Namun, pengolahan limbah kerang hijau di daerah Sleman hingga saat ini hanya sebatas kerajinan tangan saja padahal cangkang kerang dapat dimanfaatkan lebih dari itu. Kandungan Kalsium Karbonat ($CaCO_3$) yang tinggi pada cangkang kerang hijau merupakan bahan penyusun yang dibutuhkan pada material beton. Senyawa $CaCO_3$ diketahui adalah penyusun utama semen *portland*. Selain itu, terdapat senyawa-senyawa utama penyusun semen *portland* lainnya yang terkandung di dalam cangkang kerang hijau seperti silika, alumina, magnesia, dan oksida besi. Menurut Alfred dkk (2015), di dalam cangkang kerang hijau terdapat senyawa $CaCO_3$ sebesar 95,69%, S_iO_2 sebesar 0,22%, Fe_2O_3 sebesar 1,00%, MgO sebesar 3,08%, dan Al_2O_3 sebesar 0,01%. Kadar $CaCO_3$ pada cangkang kerang hijau bahkan lebih tinggi daripada kadar $CaCO_3$ pada cangkang kerang lainnya contohnya adalah kerang dara. Menurut Siregar (2009), di dalam cangkang kerang dara terdapat senyawa $CaCO_3$ sebesar 66,70%, S_iO_2 sebesar 7,88%, Fe_2O_3 sebesar 0,03%, MgO sebesar 22,28%, dan Al_2O_3 sebesar 1,25%. Persentase senyawa $CaCO_3$ di dalam semen *portland* yaitu sebesar 60 hingga 65% dibandingkan penyusun lainnya seperti alumina, silika, magnesia dan oksida besi (Tjokrodimuljo, K., 2007). Menurut Deny dkk (2013) di dalam penelitiannya, kuat tekan maksimum pada beton terjadi saat kandungan senyawa $CaCO_3$ sebagai bahan substitusi sebagian semen *portland* mencapai 5% dari kebutuhan semen *portland* pada suatu campuran beton. Agar cangkang kerang hijau ini dapat diterapkan

sebagai bahan substitusi sebagian kebutuhan semen *portland*, maka cangkang kerang hijau harus memiliki butiran yang sehalus butiran semen *portland*. Ukuran butiran dari semen *portland* diketahui adalah butiran yang lolos ayakan No. 170 atau setara dengan ukuran 0,09 mm (SNI 15-2049-2004). Demi mencapai tingkat kehalusan tersebut, cangkang kerang harus dihancurkan hingga berbentuk serbuk.

Senyawa Kalsium Karbonat ($CaCO_3$) memiliki kemampuan sebagai perekat. Kekuatan beton salah satunya bergantung pada kekuatan lekatan antara semen dengan agregatnya. Untuk mengetahui kualitas lekatan dari komponen penyusun beton dapat diukur dengan melihat nilai dari kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Kuat tekan beton adalah besarnya beban yang dapat diterima oleh beton per satuan luas hingga terjadi kehancuran pada beton saat masa pembebanan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan karena beton baik dalam menahan tegangan tekan. Sementara itu, walaupun nilai kuat tarik belah beton relatif kecil, kuat tarik belah beton penting karena berfungsi untuk mengetahui kemampuan beton dalam menerima gaya geser. Menurut Andika dan Safarizki (2019), kuat tekan maksimum terjadi saat sebagian semen disubstitusi menggunakan serbuk cangkang kerang dara dengan persentase 5% dan 7,5%. Pada penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang variasinya diambil dalam rentang 4% hingga 8% berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan jenis serbuk cangkang yang berbeda yaitu serbuk cangkang kerang hijau. Penelitian ini juga bertujuan untuk memunculkan inovasi selain kerajinan tangan sebagai penyelesaian masalah limbah cangkang kerang hijau yang berada di daerah Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang ada, muncul pertanyaan-pertanyaan yang selanjutnya dirumuskan menjadi rumusan masalah pada penelitian ini. Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh dari serbuk cangkang kerang hijau sebagai bahan substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton?
2. Berapa persentase dari serbuk cangkang kerang hijau yang dapat menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton optimum dari beberapa variasi yang diuji?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh dari serbuk cangkang kerang hijau sebagai bahan substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton
2. Mengetahui persentase dari serbuk cangkang kerang hijau yang dapat menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton optimum dari beberapa variasi yang diuji

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat untuk menemukan bahan alternatif untuk menghasilkan beton yang lebih murah. Dengan adanya senyawa pada cangkang kerang hijau yang serupa dengan senyawa penyusun semen diharapkan dapat menghasilkan beton dengan mutu yang lebih baik dari beton tanpa bahan tambah. Penelitian ini juga diharapkan dapat mengurangi limbah cangkang kerang hijau yang sulit terurai secara alami dan dapat memberikan dampak positif bagi perkembangan teknologi konstruksi.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk menghasilkan penelitian yang mendalam, maka perlu adanya batasan-batasan pada penelitian. Batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Agregat halus dan kasar yang digunakan berasal dari Kulon Progo dengan ukuran agregat kasar maksimum sebesar 20 mm
2. Cangkang kerang hijau didapatkan dari restoran yang ada di sekitaran Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.
3. Kuat tekan rencana sebesar 20 MPa
4. Semen yang digunakan merupakan semen *PCC* dengan merek *DYNAMIX*
5. Sampel berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm
6. Pengujian dilakukan adalah uji kuat tekan dan uji kuat tarik belah beton
7. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari
8. Pengujian dilakukan untuk variasi substitusi sebagian semen sebesar 0% (beton normal), 4%, 5%, 6%, 7% dan 8% dari berat semen pada setiap benda uji.

9. Penelitian dilakukan menggunakan Metode SNI 03-2834-2000
10. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaruh Substitusi Semen dengan Abu Cangkang Kerang Lokan (*Galolnia expansa*) dan Penambahan Serat Sabut Kelapa terhadap Kuat Tekan Beton

Penelitian berjudul "Pengaruh Substitusi Semen dengan Abu Cangkang Kerang Lokan (*Galolnia expansa)* dan Penambahan Serat Sabut Kelapa terhadap Kuat Tekan Beton" dilakukan oleh Maulana (2017). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh serta persentase dari penggunaan abu cangkang kerang lokan dan serat sabut kelapa sebagai bahan substitusi semen pada pembuatan beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton yang maksimal.

Pengujian beton dilakukan dengan metode SNI. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan umur beton selama 28 hari. Pengujian dilakukan dengan tiga variasi substitusi abu cangkang kerang lokan pada semen, yaitu sebesar 2,5%, 5%, dan 7,5%. Untuk serat sabut kelapa digunakan variasi berupa 0,5%, 1%, dan 1,5% dengan panjang serat yaitu 3 cm. Keduanya disubstitusi secara silang sehingga didapatkan jumlah variasi sebanyak 9 variasi gabungan.

Hasil dari pengujian didapatkan substitusi semen menggunakan 0,5% sabut kelapa ditambah dengan 5% abu cangkang kerang lokan dapat menaikkan nilai kuat tekan beton sebesar 11,367% dari kuat tekan beton normal. Kuat tarik belah beton juga mengalami peningkatan sebesar 4,906% dibandingkan dengan beton normal dengan kombinasi 0,5% sabut kelapa ditambah dengan 2,5% abu cangkang kerang lokan. Dapat disimpulkan dari pengujian ini bahwa kualitas beton yang dikatakan baik serta memenuhi syarat hanya pada batasan 0,5% sabut kelapa dengan 5% abu cangkang kerang lokan untuk kuat tekan beton serta 0,5% sabut kelapa dengan 2,5% abu cangkang kerang lokan untuk kuat tarik belah beton.

2.2 Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Palu dan Agregat Halus Pasir Mahakam

Penelitian berjudul "Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Palu dan Agregat Halus Pasir Mahakam" dilakukan oleh Rahmadi dkk. (2017). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari cangkang kerang terhadap kuat tekan beton dengan agregat kasar Palu dan agregat halus pasir Mahakam. Penelitian juga dilakukan untuk membandingkan nilai dari kuat tekan beton normal dengan beton yang diberikan penambahan serbuk cangkang kerang dengan agregat kasar Palu dan agregat halus pasir Mahakam. Terakhir, penelitian dilakukan untuk mengetahui persentase optimum cangkang kerang dengan campuran beton yang menggunakan agregat kasar Palu dan agregat halus pasir Mahakam.

Metode yang digunakan adalah metode SNI dengan menggunakan cetakan kubus yang berdimensi 150 mm x 150 mm x 150 mm. Sampel yang dibuat sebanyak 3 sampel pada setiap pengujian. Pada pengujian ini digunakan 5 variasi persentase serbuk cangkang kerang, yaitu sebanyak 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7% serta dibuat juga sampel beton tanpa adanya penambahan serbuk cangkang kerang (beton normal) sebagai pembanding.

Pengujian pada beton berumur 28 hari didapatkan hasil berupa nilai kuat tekan beton dengan campuran serbuk cangkang kerang dapat bertambah dari kuat tekan beton normal akibat dari penambahan serbuk cangkang kerang pada kadar tertentu. Pada pengujian ini didapatkan kuat tekan beton maksimum dengan penambahan serbuk cangkang kerang pada persentase 6%. Persentase 5,8% penambahan serbuk cangkang kerang menciptakan kadar optimum sehingga menghasilkan beton dengan kuat tekan yang mengalami peningkatan 7,57% dari kuat tekan beton normal.

2.3 Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (*Anadara granosa*) sebagai Bahan Tambah dan Komplemen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal

Penelitian berjudul "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (Anandara granosa) sebagai Bahan Tambah dan Komplemen Terhadap Kuat Tekan Beton

Normal" dilakukan oleh Andika dan Safarizki (2019). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari serbuk cangkang kerang dara dan komplemen terhadap kuat tekan beton normal. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui kadar optimum dari penambahan serbuk cangkang kerang dara.

Metode yang digunakan berupa metode SNI. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Persentase penambahan serbuk cangkang kerang dara yang digunakan adalah sebesar 5%; 7,5% terhadap kuat tekan beton 20 MPa. Beton tanpa adanya penambahan serbuk cangkang kerang dara juga dibuat sebagai pembanding.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah pada beton dengan bahan tambah yaitu serbuk cangkang kerang dara menghasilkan kuat tekan yang lebih besar nilainya daripada kuat tekan beton normal. Kenaikan nilai kuat tekan ini terjadi pada beton dengan variasi bahan tambah 5% dan 7,5%. Namun, terjadi penurunan nilai kuat tekan beton pada komplemen beton dibandingkan dengan kuat tekan beton normal. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa penurunan nilai kuat tekan ini berasal dari reaksi dari kandungan kerang dara yaitu CaO (*Kalsium Oksida*) dan MgO (*Magnesium Oksida*). Kandungan CaO menghasilkan energi panas sehingga jika bahan tambah dan komplemen digunakan dengan persentase yang sesuai dapat meningkatkan kuat tekan beton. Tetapi, jika penggunaan dari bahan tambah berlebihan maka dapat menyebabkan penurunan pada kuat tekan beton.

2.4 Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Hijau dengan Variasi Suhu Pembakaran Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen pada Pembuatan Beton

Penelitian dengan judul "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Hijau dengan Variasi Suhu Pembakaran sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Pembuatan Beton" dilakukan oleh Nika dkk. (2019). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penambahan cangkang kerang hijau yang memiliki kadar silika yang berbeda-beda. Selain itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui suhu pembakaran yang diperlukan sehingga dapat mengeluarkan kandungan kimia pada cangkang kerang hijau. Tujuan dari penelitian ini juga untuk

mengetahui suhu pembakaran cangkang kerang hijau yang dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan yang optimal.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode SNI untuk pembuatan dan perawatan benda uji. Untuk pembuatan *mix design* berdasarkan dari ASTM C33-02a. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji yang digunakan sebanyak 3 buah untuk setiap sampel dengan suhu variasi. Campuran beton dibuat dengan mengganti 10% semen dari total semen yang diperlukan dengan abu cangkang kerang hijau. Suhu pembakaran cangkang kerang hijau digunakan 3 variasi, yaitu 700°C, 800°C, dan 900°C. Kuat tekan rencana adalah sebesar 20 MPa. Pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari.

Dari pengujian kuat tekan beton didapatkan hasil berupa semakin tinggi suhu pembakaran cangkang kerang hijau, maka membuat berat beton yang dihasilkan bertambah. Semakin tinggi suhu pembakaran cangkang kerang hijau, maka semakin besar berat isi beton. Kuat tekan beton optimal didapatkan pada suhu 700°C. Pada suhu tersebut didapatkan nilai slump yang lebih tinggi daripada beton normal. Pada suhu tersebut dicapai suhu pembakaran optimum. Suhu pembakaran optimum dapat menguraikan unsur kimia yang ada pada cangkang kerang hijau sehingga didapatkan kuat tekan beton optimal.

2.5 Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang Dara dan Lokan Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Berat Volume, Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton

Penelitian dengan judul "Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang Dara dan Lokan Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Berat Volume, Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton" dilakukan oleh Asbiartha dkk. (2022). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh serbuk cangkang kerang terhadap berat volume beton. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh serbuk cangkang kerang terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

Metode yang digunakan adalah metode SNI 03-2834-2000 dengan benda uji berbentuk silinder yang berukuran 150 mm x 300 mm. Persentase campuran serbuk cangkang kerang sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15%. Pegujian kuat tekan dilakukan

saat umur beton mencapai 7 dan 28 hari, sedangkan pengujian kuat tarik belah dilakukan saat beton berumur 14 dan 28 hari. Kuat tekan yang direncanakan sebesar 20 MPa dengan slump rencana 2,5-7,6 cm dan ukuran agregat maksimum sebesar 40 mm.

Hasil yang didapatkan adalah semakin banyak persentase penambahan serbuk cangkang kerang maka akan mengurangi berat volume beton. Kuat tekan beton normal didapatkan sudah mencapai target rencana. Dari nilai kuat tekan beton terlihat bahwa semakin tinggi persentase serbuk cangkang kerang yang digunakan maka semakin rendah nilai kuat tekannya. Menurut nilai kuat tarik belah betonnya, didapatkan hasil berupa semakin tinggi persentase serbuk cangkang kerang maka akan semakin menurunkan nilai kuat tarik belahnya.

2.6 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Terdapat beberapa perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu. Berikut adalah perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang. Perbandingan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian	**Maulana (2017)**	**Rahmadi dkk (2017)**	**Andika dan Safarizki (2019)**	**Nika dkk (2019)**	**Asbiartha dkk (2022)**	**Penulis**
Judul	Pengaruh Substitusi Semen dengan Abu Cangkang Kerang Lokan (*Galolnia expansa)* dan Penambahan Serat Sabut Kelapa terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Palu dan Agregat Halus Pasir Mahakam	Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (*Anandara granosa*) sebagai Bahan Tambah dan Komplemen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal	Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Hijau dengan Variasi Suhu Pembakaran sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Pembuatan Beton	Pengaruh Serbuk Cangkang Kerang Dara dan Lokan Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Berat Volume, Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton	Pengaruh Pemanfaatan Serbuk Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis L.)* Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian	Maulana (2017)	Rahmadi dkk (2017)	Andika dan Safarizki (2019)	Nika dkk (2019)	Asbiartha dkk (2022)	Penulis
Tujuan	Mengetahui persentase penggunaan abu cangkang kerang lokan dan serat sabut kelapa sebagai bahan substitusi semen pada pembuatan beton, serta pengaruhnya terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton	Mengetahui pengaruh dari cangkang kerang dara terhadap kuat tekan beton, perbandingan dari kuat tekan beton normal dengan beton yang diberikan penambahan serbuk cangkang kerang, serta mengetahui persentase optimum cangkang kerang.	Mengetahui pengaruh dari serbuk cangkang kerang dara dan komplemen terhadap kuat tekan beton normal dan kadar optimum dari penambahan serbuk cangkang kerang dara.	Mengetahui pengaruh dari penambahan cangkang kerang hijau, suhu pembakaran yang diperlukan, dan suhu pembakaran optimal.	Mengetahui seberapa besar pengaruh serbuk cangkang kerang terhadap berat volume beton, kuat tekan dan kuat tarik belah beton	Mengetahui pengaruh serbuk cangkang kerang hijau sebagai pengganti sebagian semen dan kadar optimum penggunaan serbuk cangkang kerang hijau dari seluruh variasi yang diteliti

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian	Maulana (2017)	Rahmadi dkk (2017)	Andika dan Safarizki (2019)	Nika dkk (2019)	Asbiartha dkk (2022)	Penulis
Metode	Metode SNI. Benda uji berbentuk silinder dengan umur beton selama 28 hari, pengujian dilakukan dengan tiga variasi abu cangkang kerang lokan pada semen, yaitu 2,5%, 5%, dan 7,5%. Variasi sabut kelapa yaitu 0,5%, 1%, dan 1,5%. Panjang serat 3 cm	Metode SNI. Benda uji berupa kubus dengan dimensi 150 x 150 x 150 mm. Digunakan 5 variasi persentase serbuk cangkang kerang, yaitu 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7%. Sampel sebanyak 3 sampel tiap pengujian	Metode SNI. Benda uji berbentuk silinder 150 x 300 mm. Persentase penambahan serbuk cangkang kerang dara 5% dan 7,5%. f'c 20 Mpa.	Metode SNI (pembuatan dan perawatan benda uji), ASTM C33-02a (*mix design*), Benda uji silinder 150 x 300 mm. Campuran beton dibuat dengan mengganti 10% semen dari total semen yang dibutuhkan dengan abu cangkang kerang hijau. Suhu pembakaran cangkang	Metode SNI 03-2834-2000. Benda uji berbentuk silinder berukuran 150 mm x 300 mm. Persentase campuran serbuk cangkang kerang sebesar 0%,	Metode SNI 03-2834-2000. Benda uji berbentuk silinder 150 x 300 mm. Variasi persentase serbuk cangkang kerang yaitu 0% (beton normal), 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8%.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian	Maulana (2017)	Rahmadi dkk (2017)	Andika dan Safarizki (2019)	Nika dkk (2019)	Asbiartha dkk (2022)	Penulis
Metode				kerang hijau digunakan 3 variasi, yaitu 700°C, 800°C, dan 900°C, f'c sebesar 20 MPa. Pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari.	5%, 10%, dan 15%. Pegujian kuat tekan dilakukan saat 7 dan 28 hari, pengujian kuat tarik belah dilakukan saat 14 dan 28 hari. f'c sebesar 20 MPa	Pengujian yang dilakukan yaitu kuat tekan dan kuat tarik belah pada umur beton 28 hari. Kuat tekan rencana sebesar 20 MPa.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian	Maulana (2017)	Rahmadi dkk (2017)	Andika dan Safarizki (2019)	Nika dkk (2019)	Asbiartha dkk (2022)	Penulis
Hasil	Kualitas beton yang dikatakan baik serta memenuhi syarat hanya pada batasan proporsi campuran tertentu saja. Substitusi semen menggunakan 0,5% sabut kelapa ditambah dengan 5% abu cangkang kerang lokan dapat	Nilai kuat tekan beton dengan campuran serbuk cangkang kerang dapat bertambah dari kuat tekan beton normal pada kadar tertentu., kuat tekan beton maksimum dengan penambahan serbuk cangkang	Beton dengan bahan tambah serbuk cangkang kerang dara menghasilkan kuat tekan yang lebih besar nilainya daripada kuat tekan beton normal. Kenaikan nilai	Semakin tinggi suhu pembakaran cangkang kerang hijau, maka membuat berat beton yang dihasilkan bertambah. Kuat tekan beton optimal didapatkan pada suhu 700°C. Pada suhu tersebut didapatkan	Semakin banyak persentase penambahan serbuk cangkang kerang maka akan mengurangi berat volume beton. Semakin tinggi persentase	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian	Maulana (2017)	Rahmadi dkk (2017)	Andika dan Safarizki (2019)	Nika dkk (2019)	Asbiartha dkk (2022)	Penulis
Hasil	menaikkan nilai kuat tekan beton, Kuat tarik belah beton mengalami peningkatan dibandingkan beton normal dengan kombinasi 0,5% sabut kelapa ditambah dengan 2,5% abu cangkang kerang lokan.	kerang pada persentase 6%. Persentase 5,8% penambahan serbuk cangkang kerang menciptakan kadar optimum.	kuat tekan terjadi pada variasi bahan tambah 5% dan 7,5%. Lalu, terjadi penurunan nilai kuat tekan beton pada komplemen beton dibandingkan dengan kuat tekan beton normal.	nilai slump yang lebih tinggi daripada beton normal.	serbuk cangkang kerang yang digunakan maka semakin rendah nilai kuat tekan dan kuat tarik belah beton.	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton dapat diartikan sebagai bahan yang didapatkan dari campuran agregat kasar, agregat halus, air, dan semen. Seiring berkembangnya zaman, material penyusun beton ikut berkembang seperti munculnya variasi dalam material agar menghasilkan kekuatan yang lebih baik pada beton. Beton dapat didefinisikan sebagai campuran dari agregat kasar, agregat halus, air, semen portland atau semen hidraulik dengan atau tanpa bahan tambahan, membentuk massa yang kuat, stabil, dan padat (SNI 7656-2012). Bahan tambahan yang dimaksud dapat berbentuk cairan atau bubukan yang dicampurkan ke dalam campuran beton selama proses pengadukan untuk mendapatkan perubahan pada sifat beton dalam jumlah tertentu.

Menurut Sujatmiko (2019) beton memiliki keuntungan dan kerugian tersendiri sebagai bahan konstruksi. Keuntungan menggunakan beton adalah beton merupakan material yang cukup aman dari gempa bumi karena nilai kuat tekannya yang cukup kuat. Beton juga merupakan bahan yang awet dan tahan terhadap api. Beton mudah dicetak dan dapat dicor secara insitu serta ekonomis. Kekurangan dari beton diantaranya dapat menimbulkan kerugian berupa adanya emisi CO_2 dan perubahan iklim, kemungkinan terkontaminasi oleh radioaktif dan racun serta masalah daur ulang. Kekurangan beton lainnya adalah beton memiliki nilai kuat tarik yang rendah.

Menurut Putra (2021) beton dapat diklasifikasikan berdasarkan bahan pembentuknya dan karakteristiknya. Beberapa klasifikasi tersebut adalah sebagai berikut.

1. Beton berdasarkan berat jenisnya

   Beton berdasarkan berat jenisnya dapat dibagi menjadi 3, yaitu sebagai berikut.

a. Beton ringan

Beton ringan memiliki berat jenis antara 1140 Kg/m^3 dan 1840 Kg/m^3. Material yang digunakan dalam pembuatan beton ringan adalah agregat ringan. Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan cara mengurangi penggunaan agregat kasar pada campuran sehingga menghasilkan beton yang berongga dan berpori.

b. Beton Normal

Beton normal memiliki berat jenis 2155 Kg/m^3 hingga 2560 Kg/m^3. Namun, nilai yang diambil normalnya adalah 2320 Kg/m^3 sampai 2400 Kg/m^3. Beton normal biasanya digunakan untuk bangunan struktur. Material yang digunakan untuk beton normal adalah batu pecah dari alam.

c. Beton Berat

Beton berat memiliki berat jenis > 2500 Kg/m^3. Beton berat digunakan hanya jika dibutuhkan pada struktur tertentu seperti untuk menahan benturan, dan radiasi atom

2. Beton berdasarkan kuat tekan karakteristik dan mutunya

Berdasarkan PBI (1971), benda uji yang digunakan adalah beton berbentuk kubus dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 15 cm. Klasifikasi beton berdasarkan kuat tekan karakteristik dan mutunya adalah sebagai berikut.

a. Kelas I

Beton Kelas I adalah beton yang cocok diperuntukkan dalam pekerjaan non struktural. Beton bermutu B_0 merupakan beton yang termasuk dalam beton kelas I. Beton B_0 adalah beton dengan kuat tekan kurang dari 100 Kg/m^2. Pengawasan mutu bahan dilakukan tanpa pengawasan yang ketat dan tidak ada persyaratan untuk dilakukan pemeriksaan kuat tekan.

b. Kelas II

Beton Kelas II adalah beton yang cocok diperuntukkan dalam pekerjaan struktural. Mutu beton yang termasuk dalam Kelas II adalah Beton B_1, K125, K175 dan K225. Beton mutu B_1 diawasi dengan pengawasan sedang dan pemeriksaan kuat tekan pada mutu beton ini tidak disyaratkan. Pada beton dengan mutu K125, K175 dan K225 pengawasan mutu agregat

diawasi dengan ketat serta untuk pemeriksaan kuat tekannya dilakukan secara kontinu. Dibutuhkan tenaga ahli dalam pembuatan beton mutu ini

c. Kelas III

Beton Kelas III adalah beton yang cocok digunakan dalam pekerjaan struktural. Beton yang termasuk ke dalam kelas ini adalah beton dengan mutu di atas K225. Dalam pengawasan mutu agregat, dilaksanakan secara ketat dan pemeriksaan kuat tekan dilakukan secara kontinu. Dibutuhkan tenaga ahli dalam pembuatan beton mutu ini

3. Beton berdasarkan nilai kuat tekan (f'c)

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Klasifikasi beton berdasarkan nilai f'c adalah sebagai berikut.

a. Beton mutu rendah

Beton mutu rendah adalah beton yang memiliki nilai f'c kurang dari 20 MPa

b. Beton mutu sedang

Beton mutu sedang adalah beton yang memiliki nilai f'c di antara 20 MPa hingga 40 MPa

c. Beton mutu tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki nilai f'c di atas 40 MPa

4. Beton berdasarkan aplikasi dan mutunya

Berdasarkan aplikasi dan mutunya, beton dapat diklasifikasikan sebagai berikut

a. Beton mutu rendah

Beton mutu rendah dapat diaplikasikan sebagai beton cor tanpa adanya tulangan. Salah satu pekerjaan yang cocok untuk diaplikasikan dengan beton kelas ini adalah pekerjaan dinding, alas lantai, trotoar, dan pasangan bata kosong yang berisi adukan pasangan batu

b. Beton mutu sedang

Beton mutu sedang dapat diaplikasikan untuk beton bertulang contohnya pada jalan, struktur jembatan baik pada struktur atas (*upper structure)*

maupun struktur bawah *(lower structure)* seperti gorong-gorong, gelagar, diafragma, dan sejenisnya.

c. Beton mutu tinggi

Beton mutu tinggi juga dapat diaplikasikan untuk beton prategang contohnya pada struktur atas dan struktur bawah jembatan yaitu tiang pancang, gelagar, diafragma, pelat dan lain-lain yang sejenis.

5. Berdasarkan komposisi dan cara pembuatannya

Beton berdasarkan komposisi dan cara pembuatannya dapat dibagi menjadi beton sederhana, beton normal, beton prategang, dan beton kuat tekan tinggi atau sangat tinggi, untuk lebih jelasnya adalah sebagai berikut.

a. Beton sederhana

Beton sederhana digunakan untuk bangunan non struktur yang tidak berfungsi sebagai penahan beban. Biasanya beton sederhana memiliki kuat tekan hingga 10 MPa.

b. Beton normal

Beton normal digunakan untuk bangunan struktur seperti balok, kolom, dan segaa pekerjaan yang membutuhkan beton bertulang. Beton normal memiliki kuat tekan rata-rata sekitar 10 MPa hingga 30 MPa.

c. Beton prategang

Beton prategang adalah beton bertulang yang telah diberikan tegangan dalam sehingga tegangan tarik potensial dalam beton akibat dari adanya beban yang bekerja dapat direduksi.

d. Beton kuat tekan tinggi atau sangat tinggi

Beton dengan kuat tekan tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih dari 40 MPa.

3.2 Semen Portland (PC)

Semen Portland (PC) adalah bahan yang digunakan sebagai campuran beton yang berasal dari serbuk kapur, tanah liat dan sebagainya yang memiliki sifat hidrolis (mengikat). Semen memiliki fungsi sebagai perekat atau pengikat antar agregat dalam campuran beton. Hasil ikatan antara semen dengan air disebut

dengan pasta semen. Semen portland dapat memiliki karakteristik yang berbeda tergantung dari kadar empat senyawa utama pada semen *portland*. Empat senyawa itu adalah *Tricalcium Silicate* (C_3S)*, Dicalcium Silicate* (C_2S)**,** *Tricalcium Aluminate* (C_3A)**,** dan *TetraCalcium Aluminoferrite* (C_4AF). C_3S dan C_2S merupakan senyawa-senyawa yang sangat penting. Adanya kekuatan pada pasta semen yang telah berhidrasi dipicu oleh senyawa-senyawa tersebut. C_3A tidak memberikan pengaruh besar pada kekuatan beton kecuali pada beton berusia awal, namun senyawa ini berfungsi saat proses fabrikasi. Temperatur pembakaran pada klinker dapat diturunkan dengan adanya senyawa ini. C_4AF tidak berpengaruh besar pada perilaku semen, tetapi jika senyawa ini bereaksi dengan gypsum maka hidrasi senyawa *Silicate* dapat terjadi dengan cepat.

Jenis-jenis semen portland utamanya dibedakan menjadi dua, yaitu *Ordinary Portland Cement* (OPC), *Portland Pozzolan Cement* (PPC), dan *Portland Composite Cement* (PCC). Untuk lebih jelasnya mengenai OPC, PPC, dan PCC adalah sebagai berikut.

1. *Ordinary Portland Cement* (OPC)

   OPC atau dikenal sebagai semen biasa dapat digunakan pada segala macam kegiatan konstruksi secara umum. Semen Portland dapat dibagi menjadi lima tipe. Tipe-tipe semen dapat dilihat sebagai berikut.

   a. Tipe I

      Semen tipe I memiliki kandungan C_2S sebesar 45% hingga 55% dan kandungan C_3A sebesar 8% hingga 12%. Semen tipe ini digunakan jika pekerjaan konstruksi yang dilakukan tidak memiliki persyaratan khusus. Penggunaan semen tipe ini biasanya pada bangunan dengan beton bertulang, jalan, hingga jembatan. Waktu pengerasan yang dibutuhkan untuk beton yang menggunakan semen tipe ini adalah 14 hari. Beton mencapai kekuatan rencananya setelah berumur 28 hari. Berdasarkan Paul dan Antoni (2007) komposisi kimia dari semen portland terdiri dari beberapa oksida yang beratnya digambarkan dalam persentase. Oksida dan berat dalam persen adalah kapur ($CaCO_3$) sebesar 63%, Silika (SiO_2) sebesar 22%, Alumina (Al_2O_3) sebesar 6%, Ferrit Oksida (Fe_2O_3) sebesar

2,5%, Magnesia (MgO) sebesar 2,6%, Alkalis (K_2O) sebesar 0,6%, Disodium Oksida (Na_2O) sebesar 0,3%, dan Sulfur Dioksida sebesar 2,0%.

b. Tipe II

Semen tipe II memiliki kandungan C_2S sebesar 40% hingga 45% dan kandungan C_3A sebesar 5% hingga 7%. Semen tipe ini digunakan jika pekerjaan konstruksi memerlukan bahan yang tahan terhadap panas hidrasi sedang dan sulfat dengan konsentrasi sedang. Penggunaan semen tipe ini baik untuk pekerjaan seperti pembangunan sistem drainase dengan konsentrasi sulfat pada air tanah yang tinggi.

c. Tipe III

Semen tipe III memiliki kandungan C_2S lebih dari 55% dan kandungan C_3A yang melebihi 12%. Semen dengan kadar C_2S dan C_3A yang tinggi mempercepat terjadinya hidrasi sehingga cocok digunakan pada pekerjaan konstruksi yang memerlukan kuat tekan tinggi di awal. Namun, pada beton berumur 28 hari akan didapatkan hasil nilai kuat tekan yang lebih rendah daripada semen tipe I sehingga kurang baik jika digunakan pada beton bermutu tinggi.

d. Tipe IV

Semen tipe IV memiliki kandungan C_2S maksimal 35% dan kandungan C_3A maksimal berada pada 7%. Semen tipe ini cocok digunakan pada pekerjaan konstruksi yang memerlukan panas hidrasi rendah dengan waktu *setting* yang lama. Umumnya semen tipe ini digunakan pada pekerjaan beton yang volumenya besar seperti pondasi sumuran, bendungan, dermaga, dan lain-lain.

e. Tipe V

Semen tipe V memiliki kandungan C_2S sebesar 45% hingga 55% dan kandungan C_3A lebih dari 4% namun kurang dari 5% sehingga semen tipe ini memiliki ketahanan tinggi akan sulfat. Semen tipe ini memiliki laju pengerasan yang rendah dan sangat kuat jika digunakan pada konstruksi yang memerlukan kuat rekat yang tinggi. Oleh karena itu, semen tipe V ini cocok digunakan pada pekerjaan seperti terowongan dan pelabuhan.

2. *Portland Pozzolan Cement* (PPC)

   Portland Pozzolan Cement (PPC) adalah campuran dari semen *portland* dengan bubuk *pozolan* dengan kadar 6 hingga 40% dari massa semen PPC. *Pozolan* sendiri adalah bahan yang mengandung senyawa alumina dan silika dan tidak memiliki sifat perekat layaknya semen. Contoh bahan *pozolan* adalah *fly ash. Pozolan* akan bereaksi secara kimiawi jika bertemu dengan air sehingga terbentuk suatu senyawa yang memiliki sifat serupa dengan semen. Waktu perkerasan yang dibutuhkan semen PPC ini lebih lama daripada semen OPC karena panas hidrasi yang dihasilkan rendah. PPC cocok digunakan pada bangunan konstruksi yang mempunyai kedap air tinggi seperti basement, dam, *ground water tank*, fondasi, dan bangunan sejenisnya.

3. *Portland Composite Cement* (PCC)

   Portland Composite Cement (PCC) adalah campuran antara semen *portland* dengan gipsum atau bubuk anorganik lain dengan kadar bahan anorganik mencapai 6 hingga 35% dari massa PCC. Bahan anorganik pada PCC diantaranya dapat berupa batu kapur, *pozolan*, senyawa silikat, dan bahan anorganik sejenisnya. PCC dapat digunakan pada konstruksi jalan, beton pratekan, beton pracetak, *paving block*, dan lain-lain.

3.3 Agregat

Agregat adalah bahan campuran beton atau mortar berupa butiran alami seperti batu pecah, kerikil, hingga pasir yang berperan sebagai pengisi dengan tambahan bahan perekat. Fungsi agregat dalam campuran beton adalah untuk menambah kekuatan dan kepadatan pada beton jika gradasinya baik dan mengurangi terjadinya penyusutan pada beton. Persentase agregat yang terdapat di dalam beton sekitar 60% hingga 75% dari total volume beton atau mortar. Agregat dapat dibagi menjadi dua yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus adalah agregat yang memiliki butiran yang kecil sedangkan agregat kasar adalah agregat yang memiliki butiran yang besar.

Agregat memiliki ukuran yang berbeda beda. Menurut Sujatmiko (2019) agregat dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran butirnya menjadi empat jenis sebagai berikut.

1. Batu

   Batu adalah agregat yang memiliki ukuran butiran yang lebih dari 40 mm
2. Kerikil

   Kerikil adalah agregat memiliki ukuran butiran sebesar 4,8 mm hingga 40 mm
3. Pasir

   Pasir adalah agregat yang memiliki ukuran butiran sebesar 0,15 mm hingga 4,8 mm
4. Debu

   Debu atau *silt* adalah agregat yang memiliki ukuran butiran sebesar kurang dari 0,15 mm

Penentuan gradasi agregat berdasarkan BS (*British Standard*) yang juga digunakan di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 sebagai berikut

Tabel 3.1 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	**Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan**			
	Daerah I	**Daerah II**	**Daerah III**	**Daerah IV**
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: Tjokrodimulyo (1996)

Keterangan:

Daerah I = Pasir kasar

Daerah II = Pasir agak kasar

Daerah III = Pasir agak halus

Daerah IV = Pasir halus

Tabel 3.2 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan	
	40 mm	**20 mm**
40,00	95-100	100
20,00	30-70	95-100
10,00	10-35	25-55
4,80	0-5	0-10

Sumber: Tjokrodimulyo (1996)

3.4 Air

Air adalah bahan campuran beton yang penting. Fungsi air adalah sebagai pelumas agregat pada campuran beton untuk memudahkan pencampuran antara agregat dengan semen dan memudahkan pelaksanaan dalam pengecoran. Air yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan semen kira kira sebesar 25 persen dari berat semen. Air dapat menjadi pengikat agregat pada campuran beton. Namun, penggunaan air pada campuran beton yang berlebihan dapat mengurangi kekuatan beton. Kelebihan air dapat menyebabkan *bleeding*. *Bleeding* adalah peristiwa air bergerak naik ke permukaan beton segar yang kemudian membentuk lapisan tipis yang disebut dengan *laurance*. *Laurance* menyebabkan kuat lekat antara lapisan beton berkurang. Cetakan beton yang kurang sesuai dapat menyebabkan mengalirnya air keluar cetakan sehingga menyebabkan terbentuknya sarang kerikil. Sarang kerikil yang terbentuk dapat mengurangi nilai kuat tekan beton.

Air yang digunakan pada campuran beton juga tidak boleh sembarangan. Air yang digunakan tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat mempengaruhi kekuatan dari campuran beton. Penggunaan air yang diperbolehkan untuk digunakan pada campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Bebas dari lumpur, minyak dan benda terapung lainnya
2. Tidak mengandung pasir, lumpur, tanah liat dan komponen biotik seperti plankton, fungi, hingga bakteri dengan kandungan lebih dari 2 gram/liter

3. Kandungan klorida (Cl) yang dimiliki kurang dari 0,5 gram/liter
4. Kandungan senyawa sulfat kurang dari 1 gram/liter
5. Bebas dari kandungan garam yang dapat berpotensi merusak beton.

3.5 Kerang Hijau (Perna viridis L.)

Kerang hijau (*Perna viridis*) adalah kerang yang hidup di laut. Menurut Cappenberg (2008) Kerang hijau merupakan binatang *Pelecypoda* atau binatang yang berpindah dengan kaki kapak dan benang *byssus*. Informasi mengenai kerang hijau adalah sebagai berikut.

Nama ilmiah : *Perna viridis*
Kerajaan : *Animalia*
Kelas : *Bivalvia*
Filum : Moluska
Spesies : *P. viridis*
Ordo : *Mytiloida*
Famili : *Mytilidae*

Kerang ini memiliki sepasang cangkang yang berwarna hijau yang dapat dilihat melalui Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Kerang Hijau

Cangkang pada kerang hijau tersusun atas kalsium karbonat dan kalsium aktif (Gregoire C, 1972). Kandungan kalsium yang tinggi dari cangkang kerang ini menyebabkan cangkang kerang hijau masuk ke dalam kategori yang tidak mudah diuraikan secara alami. Oleh karena itu, cangkang kerang hijau banyak dimanfaatkan baik untuk cinderamata hingga obat-obatan. Salah satu senyawa

dalam cangkang kerang hijau yaitu kalsium karbonat ($CaCO_3$). Senyawa ini diketahui merupakan senyawa yang selalu ada dalam kehidupan sehari-hari mulai dari obat-obatan seperti obat maag, hingga bahan penyusun semen *portland* yang digunakan dalam bahan konstruksi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Liemawan dkk. (2015), didapatkan senyawa kimia dalam cangkang kulit kerang hijau beserta kadarnya yaitu senyawa C_aCO_3 sebesar 95,69%, S_iO_2 sebesar 0,22%, Fe_2O_3 sebesar 1,00%, MgO sebesar 3,08%, dan Al_2O_3 sebesar 0,01%. Perbandingan senyawa antara cangkang kerang hijau dengan semen *portland* dapat dilihat melalui Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Perbandingan Kandungan Senyawa Penyusun Semen Portland

Senyawa	Kadar Senyawa pada Cangkang Kerang Hijau	Kadar Senyawa pada Semen Portland
$CaCO_3$	95,69%	63%
SiO_2	0,22%	22%
Fe_2O_3	1,00%	2,5%
MgO	3,08%	2,6%
Al_2O_3	0,01%	6%

Sumber: Penulis

3.6 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor Air Semen (FAS) adalah sebuah nilai yang menentukan kebutuhan air dalam campuran beton. FAS merupakan rasio dari total berat air (termasuk yang terdapat di dalam agregat) terhadap total berat semen dalam campuran beton. Nilai FAS yang rendah menyebabkan kekuatan beton tinggi. Namun, perlu diketahui pula bahwa nilai FAS yang rendah menyebabkan campuran beton akan lebih sulit untuk dikerjakan (*workability* kurang baik) dan menyebabkan mutu beton kurang baik karena sulit dilakukan pemadatan. Nilai FAS yang tinggi memang mempermudah proses pekerjaan, namun dampak yang dihasilkan adalah kekuatan beton dapat berkurang sehingga dapat menyebabkan *bleeding* dan *segregasi*. Dengan demikian, perlu adanya faktor air yang optimum agar menghasilkan kuat tekan maksimum

pada beton. Menurut Tjokrodimulyo (2007) nilai FAS pada umumnya berada di angka 0,4 hingga 0,65.

Menurut Darwin dkk. (2003), kepadatan beton mempengaruhi kuat tekan beton setelah mengeras. Jika dalam adukan beton terdapat udara walaupun hanya sebesar 5%, kekuatan beton dapat berkurang hingga 35%. Jika di dalam campuran beton terdapat pori-pori sebesar 10%, kuat tekan beton dapat berkurang hingga 60%. Perkiraan kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas = 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Benda Uji
		3	7	28	91	
Semen Portland tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

3.7 Slump

Slump adalah pengujian untuk mengukur kekentalan dari suatu campuran beton dalam satuan milimeter untuk pekerjaan konstruksi. Pengujian slump ini memiliki tujuan untuk menjaga kekuatan dari beton serta menjaga kesesuaian beton yang diproduksi agar memiliki spesifikasi yang sesuai dengan rencana. Pekerjaan ini dilakukan pada beton segar menggunakan kerucut *abram*.

Nilai *slump* direkomendasikan sesuai dengan penggunaan beton segar dalam elemen struktur. Rekomendasi nilai slump dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut

Tabel 3.5 Rekomendasi Nilai Slump

No	Elemen Struktur	Slump maks (cm)	Slump min (cm)
1	Plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2	Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi di bawah tanah	9,0	2,5
3	Plat (lantai), balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
4	Jalan beton bertulang	7,5	5,0
5	Pembetonan massal	7,5	2,5

Sumber: PBI 1971

3.8 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang dapat menyebabkan hancurnya benda uji jika dikenai gaya tekan. Mutu suatu beton biasanya dilihat dari nilai kuat tekannya. Nilai kuat tekan beton yang tinggi, memiliki mutu beton yang baik.

Kuat tekan beton dapat dipengaruhi oleh FAS dan cara pemadatan. Beberapa faktor lain dapat mempengaruhi hasil dari campuran beton. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut.

1. Jenis dan bentuk agregat

   Bentuk agregat yang baik digunakan agar dapat menunjang kuat tekan dari beton. Bentuk agregat yang baik adalah agregat yang tidak memiliki permukaan licin dan berbentuk bulat. Permukaan agregat dan bentuk agregat yang bulat malah dapat menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih kecil
2. Jenis dan kualitas semen

   Kuat batas beton dan kekuatan beton rata-rata dapat dipengaruhi oleh jenis semen dan kualitas dari semen
3. Umur beton

   Kekuatan beton dapat bertambah seiring bertambahnya umur beton. Beton umumnya menghasilkan kekuatan maksimumnya pada umur 28 hari.
4. Mutu dari agregat

Agregat yang digunakan harus dipastikan tahan terhadap abrasi (aus) terutama agregat kasar. Agregat yang tidak tahan terhadap aus dapat memperbesar resiko hancurnya agregat dalam proses pencampuran sehingga hasil campuran memiliki kekuatan yang kurang baik.

5. Peralatan yang efisien

   Pengeringan beton yang tidak sesuai waktunya dapat menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton hingga 40 persen dari kuat tekan beton seharusnya.

Rumus yang dapat digunakan dalam menghitung kekuatan tekan beton adalah sebagai berikut.

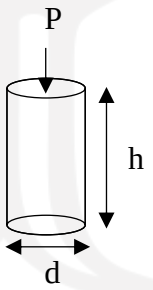
$$f'c = \frac{P}{A} \tag{3.1}$$

dengan:

f'c = Kuat desak beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)



Gambar 3.2 Sketsa Kuat Tekan Beton

3.9 Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah pada beton merupakan salah satu parameter untuk mengetahui kekuatan dari beton. Pengujian kuat tarik belah dilakukan dengan mesin uji tekan. Kuat tarik belah dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \tag{3.2}$$

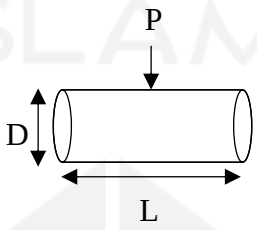
dengan:

f_{ct} = Kuat tarik belah (Mpa)

P = Beban uji maksimum dalam Newton (N) yang ditunjukkan mesin uji tekan

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)



Gambar 3.3 Sketsa Kuat Tarik Belah Beton

Nilai kuat tarik belah beton meningkat kecil setiap adanya usaha dalam perbaikan dari mutu beton. Kuat tarik belah dan kuat tekan pada beton tidak berbanding lurus. Kekuatan beton dalam tarik belah merupakan sifat penting yang berpengaruh pada cepat rambat dan ukuran pada retak di dalam struktur.

3.10 Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berupa beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 36 buah dengan rincian pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Benda Uji

Kode	Umur Beton 28 Hari		Total (buah)
	Uji Tekan (buah)	Uji Tarik (buah)	
BCK0	3	3	6
BCK4	3	3	6
BCK5	3	3	6

Lanjutan Tabel 3.6 Benda Uji

Kode	Umur Beton 28 Hari		Kode
	Uji Tekan (buah)	Uji Tarik (buah)	
BCK6	3	3	6
BCK7	3	3	6
BCK8	3	3	6
Jumlah Benda Uji Keseluruhan			36

Sumber: Penulis

dengan:

BCK0 : Beton Cangkang Kerang 0%

BCK4 : Beton Cangkang Kerang 4%

BCK5 : Beton Cangkang Kerang 5%

BCK6 : Beton Cangkang Kerang 6%

BCK7 : Beton Cangkang Kerang 7%

BCK8 : Beton Cangkang Kerang 8%

3.11 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara massa agregat dengan massa air pada suhu dan volume yang sama. Berat jenis agregat halus dan penyerapan dilakukan dengan agregat yang tertahan pada saringan nomor 4 atau setara dengan 4,75 mm. Berat jenis agregat halus dan penyerapan selengkapnya adalah sebagai berikut.

1. Berat jenis curah

   Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama seperti isi agregat saat keadaan jenuh pada suhu 25°C. Nilai berat jenis curah dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{\text{Bk}}{\text{B}+500-\text{Bt}} \tag{3.3}$$

   dengan:

   Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

   B = Berat piknometer berisi air (gram)

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

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

2. Berat jenis kering jenuh permukaan (SSD)

   Berat jenis kering jenuh permukaan (SSD) adalah perbandingan antara berat agregat kering jenuh permukaan dengan berat air suling yang isinya sama seperti isi agregat saat keadaan jenuh pada suhu 25°C. Nilai berat jenis kering jenuh permukaan (SSD) dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{500}{B+500-Bt} \tag{3.4}$$

   dengan:

   Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

   B = Berat piknometer berisi air (gram)

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

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

3. Berat jenis semu

   Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dengan air suling yang isinya sama seperti isi agregat saat keadaan kering pada suhu 25°C. Nilai berat jenis semu dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \tag{3.5}$$

   dengan:

   Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

   B = Berat piknometer berisi air (gram)

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

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

4. Penyerapan adalah perbandingan dari berat air yang terserap oleh pori-pori terhadap agregat kering dalam bentuk persentase. Nilai penyerapan dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% \tag{3.6}$$

dengan:

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

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

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

Berat jenis agregat kasar dan penyerapan pada agregat kasar memiliki rumus yang berbeda dengan agregat halus. Rumus untuk mencari berat jenis dan penyerapan agregat kasar selengkapnya adalah sebagai berikut.

1. Berat jenis curah (*Bulk specific grafity*)

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{\text{Bk}}{\text{Bj}-\text{Ba}} \tag{3.7}$$

dengan:

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

2. Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{\text{Bj}}{\text{Bj}-\text{Ba}} \tag{3.8}$$

dengan:

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

3. Berat jenis semu (*Apparent specific gravity*)

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{\text{Bk}}{\text{Bk}-\text{Ba}} \tag{3.9}$$

dengan:

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

4. Penyerapan air

$$\text{Penyerapan} = \frac{\text{Bj}-\text{Bk}}{\text{Bk}} \times 100\% \quad (3.10)$$

dengan:

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

3.12 Analisa Saringan Agregat

Analisa saringan adalah besarnya persentase berat suatu agregat yang lolos dari satu set saringan dengan ukuran berbeda-beda. Pengujian dari analisa saringan agregat ini adalah untuk menentukan gradasi butir dari agregat halus maupun agregat kasar dengan saringan. Pengujian dilakukan untuk agregat yang lolos saringan nomor 4 atau setara dengan 4,75 mm. Dari analisa saringan dapat diketahui nilai Modulus Halus Butir (MHB). MHB adalah nilai indeks yang berfungsi untuk mengetahui kekasaran atau kehalusan dari suatu agregat. Informasi terkait perbandingan kerikil dan pasir dalam suatu campuran beton dapat diketahui melalui nilai MHB.

MHB didefinisikan sebagai persentase berat agregat tertahan di setiap ukuran saringan yang dihitung terhadap berat agregat total setelah dilakukan penyaringan. Setelah itu, dapat digambarkan angka persentase yang telah dicari ke dalam grafik pembagian butir. Melalui grafik pembagian butir didapatkan gradasi agregat dan batas-batasnya. Syarat minimum besarnya berat agregat yang akan diuji dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3.7 Berat Contoh Minimum Agregat Halus

Ukuran Maksimum (mm)	Berat Contoh Minimum (gram)
4,76	500
2,38	100

Sumber: SNI 03-1968-1990

Tabel 3.8 Berat Contoh Minimum Agregat Kasar

Ukuran Maksimum (inci)	Berat Contoh Minimum (Kg)
3,5”	35,5
3”	30,0
2,5”	25,0
2”	20,0
1,5”	10,0
3/4“	5,0
1/2”	2,5
3/8”	1,0

Sumber: SNI 03-1968-1990

3.13 Berat Volume Padat/Gembur Agregat

Berat volume padat agregat adalah indeks nilai dari massa agregat (per satuan volume) dalam kondisi padat. Berat volume gembur agregat adalah indeks nilai dari massa agregat (per satuan volume) dalam kondisi gembur. Untuk mengetahui berat volume agregat diperlukan data berupa volume dari benda uji dan berat dari agregat.

Pengujian berat volume gembur dilakukan tanpa adanya perlakuan seperti penumbukan. Silinder ukur diisi sampai penuh lalu ditimbang untuk mendapatkan berat volume gembur agregat. Pada pengujian berat volume padat, agregat ditumbuk di dalam silinder ukur sebanyak 25 kali sebanyak 1/3 bagian hingga 3/3 bagian silinder ukur. Setelah itu, silinder ukur berisi agregat yang telah ditumbuk ditimbang untuk mendapatkan berat volume padat agregat.

3.14 Lolos Saringan No. 200

Tujuan dari pemeriksaan agregat yang lolos saringan nomor 200 atau setara dengan 0,075 mm adalah untuk mengetahui kadar pasir dan lumpur untuk syarat bahan konstruksi. Benda uji yang digunakan adalah agregat dengan kondisi kering oven yang lolos saringan nomor 4. Agregat yang telah diletakkan di atas saringan lalu dialiri air hingga agregat ada yang menembus saringan nomor 200. Pekerjaan diulang hingga air pencucian tidak berwarna/jernih. Setelah itu, agregat yang lolos

saringan nomor 200 dikeringkan dengan oven hingga beratnya tetap. Rumus untuk mencari berat yang lolos saringan nomor 200 adalah sebagai berikut.

$$\text{Lolos saringan No. 200} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100\% \quad (3.11)$$

dengan:

W_1 : Berat kering oven sebelum dicuci (gram)

W_2 : Berat kering oven setelah dicuci (gram)

Menurut PUBI (1982), syarat berat bagian yang lolos ayakan nomor 200 untuk pasir maksimal sebesar 5% dan untuk kerikil maksimal sebesar 1%. Berat minimum yang akan diuji berdasarkan jenis agregat dan ukuran butir maksimumnya dapat dilihat pada Tabel 3.9 sebagai berikut

Tabel 3.9 Berat Contoh Minimum Lolos Saringan No. 200

Ukuran Maksimum (mm)	Berat Contoh Minimum (gram)
2,35	100
4,75	500

Sumber: SNI 03-4142-1996

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian dapat didefinisikan sebagai langkah yang ditempuh untuk mendapatkan data dalam suatu penelitian. Penelitian dilaksanakan dengan Metode SNI 03-2834-2000. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Penelitian dilakukan untuk beton normal dengan kuat tekan rencana sebesar 20 MPa dan bahan tambah serbuk cangkang kerang hijau pada sebagian kebutuhan semen.

4.2 Bahan-bahan

Pada penelitian ini, bahan yang digunakan pada pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Agregat halus

   Agregat halus berupa pasir yang berasal dari Kulon Progo
2. Agregat kasar

   Agregat kasar berupa batu yang berasal dari Kulon Progo dengan ukuran butiran maksimum 20 mm
3. Semen Portland

   Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen *PCC* dengan merek *DYNAMIX*.
4. Air

   Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Cangkang Kerang Hijau

   Cangkang kerang hijau yang digunakan berasal dari restoran yang berada di sekitar daerah Sleman.

4.3 Peralatan

Peralatan yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Peralatan yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Cetakan berbentuk silinder

   Cetakan berbentuk silinder ini berfungsi sebagai cetakan benda uji untuk pengujian kuat tekan dan pengujian kuat tarik belah beton. Cetakan beton berbentuk silinder dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Cetakan Silinder Beton

(Sumber: Penulis)

2. Sendok agregat

   Sendok agregat digunakan untuk memasukkan campuran beton ke dalam cetakan berbentuk silinder. Sendok agregat dapat dilihat melalui Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.2 Sendok Agregat

(Sumber: Penulis)

3. *Mixer* Beton

   Mixer beton berfungsi untuk mengaduk campuran beton. Gambar *mixer* beton dapat dilihat melalui Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3 *Mixer* Beton

(Sumber: Penulis)

4. Saringan agregat

   Saringan agregat yang digunakan yaitu satu set berfungsi untuk mengetahui persentase agregat yang lolos saringan. Saringan agregat dapat dilihat melalui Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 Saringan Agregat

(Sumber: Penulis)

5. Timbangan

   Timbangan berfungsi untuk menimbang material hingga benda uji (beton berbentuk silinder). Timbangan dapat dilihat melalui Gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Timbangan

(Sumber: Penulis)

6. Piknometer

   Piknometer berfungsi untuk mengukur berat jenis dari agregat halus (pasir). Piknometer dapat dilihat melalui Gambar 4.6 sebagai berikut.

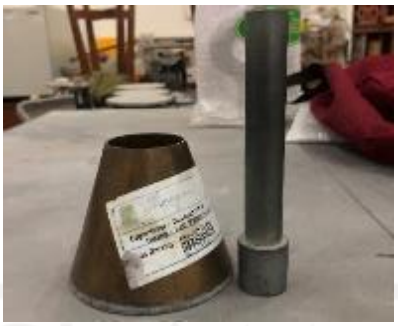


Gambar 4.6 Piknometer

(Sumber: Penulis)

7. Kerucut terpancung

   Kerucut terpancung (*cone*) berfungsi untuk mengukur keadaan kering permukaan jenuh (SSD) dari agregat. Kerucut terpancung dapat dilihat melalui Gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4.7 Kerucut Terpancung

(Sumber: Penulis)

8. Kerucut *abrams*

   Cone berfungsi untuk mengetahui nilai *slump* dari campuran beton. Kerucut *abrams* dapat dilihat melalui Gambar 4.8 sebagai berikut.



Gambar 4.8 Kerucut *Abrams*

(Sumber: Penulis)

9. Batang penumbuk

   Batang penumbuk merupakan satu set dari peralatan yang digunakan untuk mengukur slump dari campuran beton. Batang penumbuk berfungsi untuk menumbuk campuran beton di dalam kerucut *abrams*. Batang penumbuk dapat dilihat melalui Gambar 4.9 sebagai berikut.



Gambar 4.9 Batang Penumbuk

(Sumber: Penulis)

10. Oven

    Oven berfungsi untuk mengeringkan benda uji agar terbebas dari kandungan air. Pada pengujian agregat diperlukan sampel agregat dalam keadaan kering oven. Oven dapat dilihat melalui Gambar 4.10 sebagai berikut.



Gambar 4.10 Oven

(Sumber: Google)

11. Bak air

    Bak air digunakan untuk mencuci dan merendam agregat. Bak air dapat dilihat melalui Gambar 4.11 sebagai berikut.



Gambar 4.11 Bak Air

(Sumber: Penulis)

12. Kain lap

    Kain lap berfungsi untuk menyeka selaput air pada agregat setelah dilakukan perendaman. Kain lap dapat dilihat melalui Gambar 4.12 sebagai berikut.



Gambar 4.12 Kain Lap

(Sumber: Penulis)

13. Mesin penggetar saringan (*sieve shaker*)

    Mesin penggetar saringan (*sieve shaker*) berfungsi untuk mempermudah penyaringan agregat sehingga pembagian gradasi agregat dapat diselesaikan dengan cepat. *Sieve shaker* dapat dilihat melalui Gambar 4.13 sebagai berikut.



Gambar 4.13 *Sieve Shaker*

(Sumber: Penulis)

14. Kuas

    Kuas berfungsi untuk membersihkan kotoran dan debu yang masih menempel pada saringan. Kuas dapat dilihat melalui Gambar 4.14 sebagai berikut.



Gambar 4.14 Kuas

(Sumber: Penulis)

15. Talam

    Talam berfungsi untuk alas penakaran material yang halus dan ringan. Talam dapat dilihat melalui Gambar 4.15 sebagai berikut.



Gambar 4.15 Talam

(Sumber: Penulis)

16. Gelas ukur

    Gelas ukur berfungsi untuk menakar air yang dibutuhkan dalam campuran beton. Gelas ukur dapat dilihat melalui Gambar 4.16 sebagai berikut.



Gambar 4.16 Gelas Ukur

(Sumber: Penulis)

17. Jangka sorong

    Jangka sorong berfungsi untuk mengukur dimensi dari cetakan, benda uji, dan hal-hal yang dibutuhkan pengukuran selama penelitian berlangsung. Jangka sorong dapat dilihat melalui Gambar 4.17 sebagai berikut.



Gambar 4.17 Jangka Sorong

(Sumber: Penulis)

18. *Compressing Test Machine* (CTM)

    Compressing Test Machine (CTM) digunakan untuk pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. *Compressing Test Machine* dapat dilihat melalui Gambar 4.18 sebagai berikut.



Gambar 4.18 *Compressing Test Machine* (CTM)

(Sumber: Penulis)

19. Keranjang kawat,

    Keranjang kawat berfungsi sebagai wadah agregat kasar saat direndam di dalam sebuah tangki air. Keranjang ini harus dibuat agar tidak ada udara yang terperangkap saat wadah direndam di dalam tangki. Keranjang kawat dapat dilihat melalui Gambar 4.19 sebagai berikut.



Gambar 4.19 Keranjang Kawat

(Sumber: Penulis)

20. Ember air

    Ember air berfungsi sebagai tempat direndamnya agregat kasar untuk bisa mengetahui berat agregat di dalam air. Bak air dapat dilihat melalui Gambar 4.20 sebagai berikut.



Gambar 4.20 Ember Air

(Sumber: Penulis)

21. Bak Perendaman

    Bak perendaman berfungsi sebagai tempat perendaman benda uji dalam rangka perawatan benda uji untuk menjaga hidrasi semen selama 28 hari agar beton mencapai mutu yang direncanakan. Bak perendaman dapat dilihat melalui Gambar 4.21 sebagai berikut.



Gambar 4.21 Bak Perendaman

(Sumber: Penulis)

22. Gerobak Sorong

    Gerobak sorong berfungsi sebagai alat angkut material untuk mempermudah pemindahan material yang dibutuhkan dalam pembuatan benda uji. Gambar gerobak sorong dapat dilihat melalui Gambar 4.22 sebagai berikut.



Gambar 4.22 Gerobak Sorong

(Sumber: Penulis)

23. Lumpang batu

    Lumpang batu digunakan untuk menumbuk cangkang kerang hijau yang telah dikeringkan hingga berbentuk potongan kecil. Gambar lumpang batu dapat dilihat melalui Gambar 4.23 sebagai berikut.



Gambar 4.23 Lumpang Batu

(Sumber: Penulis)

24. *Grinder*

    Grinder digunakan untuk menghaluskan potongan kecil cangkang kerang hijau hingga menjadi bubuk. Gambar *grinder* dapat dilihat melalui Gambar 4.24 sebagai berikut.



Gambar 4.24 *Grinder*

(Sumber: Penulis)

4.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Pada penelitian ini dibuat 6 varian beton. 1 variasi berupa beton tanpa bahan pengganti dan 5 variasi beton dengan bahan pengganti. Bahan pengganti yang digunakan adalah cangkang kerang hijau yang dihaluskan menjadi serbuk sebagai bahan substitusi sebagian semen dari total kebutuhan berat semen yang diperlukan. Variasi beton yang akan diteliti dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Variasi dari Campuran Beton

Jenis Variasi	Serbuk Cangkang Kerang Hijau (%)	Jumlah Benda Uji (Buah)
Variasi 0	0	6
Variasi 1	4	6
Variasi 2	5	6
Variasi 3	6	6
Variasi 4	7	6
Variasi 5	8	6

Sumber: Penulis

Tata cara dalam perencanaan campuran beton untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tertentu menggunakan Metode SNI 03-2834-2000 dapat dilakukan sebagai berikut.

1. Kuat tekan yang disyaratkan (f'c) ditentukan terlebih dahulu

2. Deviasi standar dihitung berdasarkan volume dari pembetonan dan mutu dari pekerjaan. Penetapan nilai deviasi standar dapat dilihat menggunakan Tabel 4.2 atau Tabel 4.3. Berdasarkan syarat pada SNI 03-2834-2000, kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'cr) digunakan tidak kurang dari (f'c + 12 Mpa) jika tidak ada deviasi standar yang didapat melalui pengalaman di lapangan selama produksi beton. Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4.2 Mutu Pelaksanaan, Volume Adukan dan Deviasi Standar

Volume Pekerjaan		**Deviasi Standar sd (MPa)**		
Sebutan	**Volume Beton (m^3)**	**Mutu Pekerjaan**		
		Baik Sekali	**Baik**	**Dapat Diterima**
Kecil	< 1000	4,5 < s ≤ 5,5	5,5 < s ≤ 6,5	6,5 < s ≤ 8,5
Sedang	1000-3000	3,5 < s ≤ 4,5	4,5 < s ≤ 5,5	5,5 < s ≤ 7,5
Besar	> 3000	2,5 < s ≤ 3,5	3,5 < s ≤ 4,5	4,5 < s ≤ 6,5

Sumber: SNI 03-2834-2000

Tabel 4.3 Nilai Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

3. Nilai tambah (Margin) ditentukan dengan rumus sebagai berikut

$$M = 1{,}64 \times Sd \qquad (4.1)$$

dengan:

M = Nilai tambah (*margin*) (MPa)

Sd = Standar deviasi (MPa)

4. Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}) ditentukan dengan rumus sebagai berikut

$$f'cr = f'c + M \quad (4.2)$$

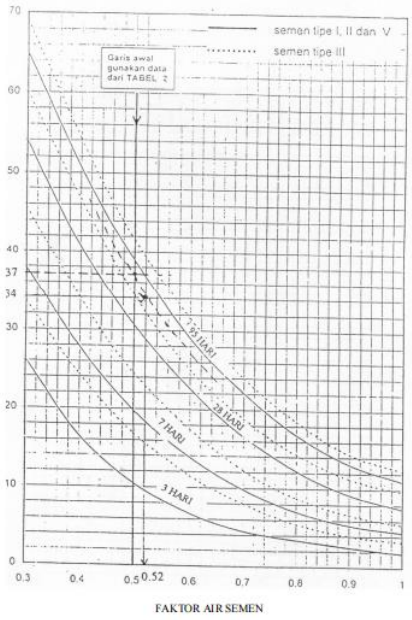
dengan:

f'cr = Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (MPa)

f'c = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)

M = Nilai tambah (*margin*) (MPa)

5. Jenis semen ditentukan
6. Jenis agregat yang digunakan ditentukan
7. Faktor air semen (fas) ditentukan menggunakan tabel perkiraan kuat tekan beton dengan fas sebesar 0,5. Maksimum nilai fas sebesar 0,60. Perkiraan kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 3.4
8. Nilai fas yang digunakan ditentukan dengan menggunakan grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.25 sebagai berikut.



Gambar 4.25 Grafik Kuat Tekan dengan Faktor Air Semen

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

9. Nilai slump ditentukan saat perencanaan *mix design*
10. Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton ditentukan menggunakan Tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3)

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

Kadar air bebas untuk agregat yang dipecah dan tidak dipecah (campuran) dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad (4.3)$$

dengan:

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

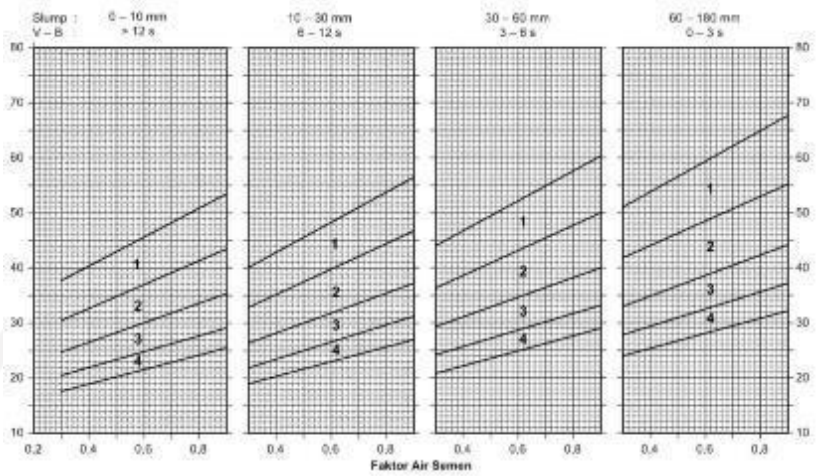
11. Jumlah semen ditentukan dengan cara membagi kadar air bebas dengan nilai fas
12. Kadar semen minimum dan persyaratan fas maksimum ditentukan menggunakan Tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4.5 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Fas Maksimum

Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m^3 beton (kg)	Nilai FAS Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kendensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5 SNI 03-2834-2000
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. Air tawar		
b. Air laut		Tabel 6 SNI 03-2834-2000

Sumber: SNI 03-2834-2000

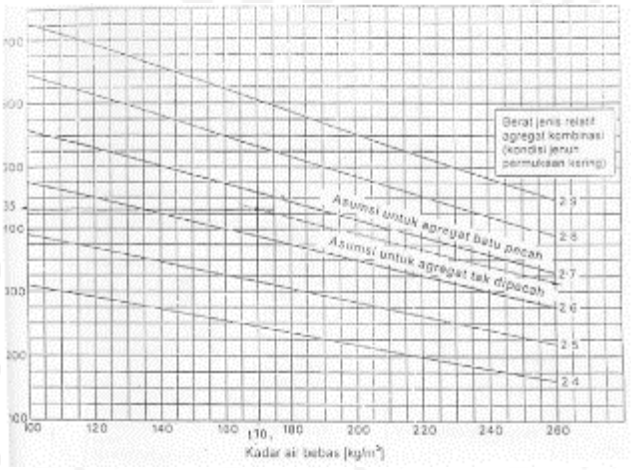
13. Persen agregat halus dicari menggunakan grafik seperti pada Gambar 4.26 sebagai berikut.



Gambar 4.26 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Agregat Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

14. Berat isi beton dicari dengan menggunakan grafik pada Gambar 4.27 sebagai berikut.



Gambar 4.27 Perkiraan Berat Isi Beton yang Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

15. Kadar agregat gabungan dicari dengan cara mengurangi berat isi beton dengan kadar semen yang digunakan dan kadar air bebas
16. Kadar agregat halus dicari dengan cara mengalikan agregat halus (persen) dengan kadar agregat gabungan

17. Kadar agregat kasar dapat dicari dengan cara mengurangi kadar agregat gabungan dengan kadar agregat halus
18. Kebutuhan proporsi campuran baik secara keseluruhan maupun proporsi dalam setiap campuran uji dihitung
19. Koreksi proporsi setiap campuran uji dikoreksi agar didapatkan susunan sebenarnya dari campuran uji
20. Pada proporsi berat semen yang dibutuhkan, sebagian kebutuhan semen akan digantikan dengan bubuk cangkang kerang hijau sebesar persentase variasi yang telah ditentukan.
21. Volume benda uji dihitung pada setiap sampel silindernya

Tata cara dalam pembuatan serbuk cangkang hijau untuk substitusi sebagian semen dalam campuran beton dapat dilakukan sebagai berikut.

1. Semua alat dan bahan disiapkan
2. Cangkang kerang hijau dibersihkan dari sisa-sisa debu dan kotoran dengan sikat dan air sabun
3. Cangkang kerang hijau dibilas dan dijemur di bawah terik matahari selama 3 hari sampai beratnya tetap
4. Cangkang kerang hijau ditumbuk hingga menjadi potongan-potongan kecil
5. Cangkang kerang hijau dihaluskan dengan *grinder* hingga menjadi serbuk
6. Serbuk cangkang kerang hijau disaring menggunakan ayakan no. 200 untuk mendapatkan butiran yang setara dengan semen.

4.5 Pelaksanaan Penelitian

Pada bagian ini yang akan dibahas adalah mengenai langkah-langkah dari setiap pengujian yang akan dilakukan selama penelitian berlangsung

4.5.1 Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan, bahan dan segala peralatan disiapkan agar mempermudah proses penelitian yang berlangsung. Adapun rincian hal-hal perlu disiapkan adalah sebagai berikut.

1. Bahan-bahan
   a. Semen portland tipe I disiapkan di lokasi pemeriksaan bahan

b. Agregat yang berasal dari Kulon Progo disiapkan di lokasi pemeriksaan bahan
c. Serbuk cangkang kerang hijau disiapkan di lokasi pembuatan benda uji
d. Air yang berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia disiapkan di lokasi pemeriksaan bahan

2. Peralatan untuk penelitian

Segala peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian disiapkan pada lokasi penelitian agar mempermudah pengujian dan memperlancar penelitian yang berlangsung.

4.5.2 Tahap Pemeriksaan Bahan

Pada tahap pemeriksaan bahan akan dilakukan pengujian agregat berupa pengujian berat jenis, modulus halus butir (MHB), berat volume padat dan gembur serta lolos saringan No. 200. Pemeriksaan bahan secara lebih rinci adalah sebagai berikut.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus

Berat jenis agregat yang diperiksa adalah berat jenis agregat halus dan agregat kasar. Pada pemeriksaan berat jenis agregat halus yang akan diuji adalah berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) dan berat jenis semu. Berikut merupakan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus berdasarkan SNI 03-1970-1990.

a. Peralatan yang dibutuhkan
   1) Timbangan kapasitas 1000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram
   2) Piknometer berkapasitas 500 ml
   3) Kerucut terpancung dan penumbuknya
   4) Saringan No. 4 (4,75 mm)
   5) Oven dengan ketelitian pengukuran suhu sebesar 0,1°C
   6) Bak air
b. Benda uji

   Benda uji yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm)

c. Prosedur pengujian

1) Benda uji disaring dengan saringan No. 4
2) Benda uji yang lolos saringan No. 4 dicuci hingga bersih
3) Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5) °C hingga berat uji memiliki berat tetap lalu dinginkan agregat pada suhu ruang
4) Dilakukan pemeriksaan agregat dalam kondisi kering permukaan jenuh dengan cara sebagai berikut.
    a) Benda uji direndam di dalam air selama 24 ± 4 jam
    b) Air perendaman dibuang dan dikeringkan di udara sembari dibolak-balik
    c) Benda uji dimasukkan ke dalam kerucut terpancung secara berlapis dengan masing-masing lapisan sebesar 1/3 dari volume kerucut terpancung. Setiap lapisan dipadatkan menggunakan batang penumbuk dengan total tumbukan sebanyak 25 kali.
    d) Kerucut terpancung diangkat secara perlahan-lahan. Keadaan SSD tercapai jika saat diangkat terdapat keruntuhan pada benda uji namun masih ada bagiannya dalam keadaan tercetak
5) Setelah tercapai keadaan SSD benda uji dimasukkan ke dalam piknometer sebesar 500 gram
6) Air suling dimasukkan ke dalam piknometer hingga mengisi 90% dari isi piknometer
7) Piknometer diguling-gulingkan hingga gelembung udara menghilang, lalu piknometer direndam dalam air dengan suhu air sebesar 25°C
8) Air ditambahkan hingga batas atas piknometer
9) Piknometer berisi benda uji dan air ditimbang sampai ketelitian 0,1 gram (Bt)
10) Benda uji lalu dikeluarkan dari piknometer dan dikeringkan dalam oven dengan suhu pengeringan (110 ± 5) °C hingga berat uji memiliki berat tetap lalu dinginkan agregat.
11) Agregat yang telah didinginkan lalu ditimbang (Bk)

12) Piknometer diisi air hingga penuh lalu ditimbang (B)

d. Perhitungan

Perhitungan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) dan berat jenis semu dapat dilakukan menggunakan rumus pada Persamaan 3.3 sampai Persamaan 3.6

2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pada pemeriksaan berat jenis agregat kasar ini yang akan diuji adalah berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), dan berat jenis semu. Berikut merupakan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar berdasarkan SNI 03-1969-1990.

a. Peralatan yang dibutuhkan
   1) Timbangan kapasitas 2000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram lengkap dengan alat penggantung keranjang kawat
   2) Keranjang kawat dengan kapasitas ± 5000 gram
   3) Saringan No. 4 (4,75 mm)
   4) Ember air
   5) Oven dengan ketelitian pengukuran suhu sebesar 0,1°C
   6) Kain lap
   7) Sendok agregat

b. Benda uji

Benda uji yang digunakan adalah agregat yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm)

c. Prosedur pengujian
   1) Benda uji dicuci untuk menghilangkan debu-debu dan bahan lain yang melekat
   2) Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5) °C hingga berat uji memiliki berat tetap tetapi jika benda uji sudah memiliki kadar air sesuai kadar air aslinya maka tidak perlu dikeringkan di dalam oven
   3) Benda uji didinginkan selama 1-3 jam dengan suhu kamar lalu ditimbang dengan ketelitian 0,5 gram (Bk)

4) Benda uji direndam pada suhu kamar selama (24 ± 4) jam
5) Benda uji dikeluarkan dari air dan dilap (satu persatu untuk butiran yang berukuran besar) menggunakan kain lap di seluruh permukaannya hingga benda uji tidak diselimuti oleh selaput air
6) Benda uji ditimbang agar didapatkan kondisi kering permukaan jenuh/SSD (Bj)
7) Benda uji diletakkan di dalam keranjang lalu digoncangkan agar tidak ada udara yang terperangkap, keranjang direndam ke dalam ember air untuk mendapatkan berat agregat di dalam air (Ba) pada suhu (23 ± 2) °C.

d. Perhitungan

Perhitungan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) dan berat jenis semu dapat dilakukan menggunakan rumus pada Persamaan 3.7 hingga Persamaan 3.10.

3. Pemeriksaan modulus halus butir agregat halus

Berikut adalah pemeriksaan modulus halus butir agregat halus berdasarkan SNI 03-1968-1990.

a. Peralatan yang dibutuhkan
   1) Timbangan
   2) Saringan satu set (ukuran 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, pan serta tutup saringan
   3) Mesin penggetar saringan (*sieve shaker*)
   4) Talam
   5) Oven
   6) Kuas

b. Benda uji

Benda uji yang digunakan adalah agregat yang lolos dari saringan No. 4 (4,75 mm)

c. Prosedur pengujian
   1) Benda uji dikeringkan dalam oven bersuhu (110 ± 5) °C sampai beratnya tetap
   2) Benda uji didinginkan pada suhu kamar 1-3 jam lalu ditimbang

3) Saringan disusun berurutan dari atas ke bawah mulai dari lubang terbesar hingga ke ukuran lubang terkecil
4) Pengayakan dilakukan dengan mesin penggetar saringan selama 10 hingga 15 menit
5) Benda uji dipisahkan berdasarkan saringannya ke talam yang berbeda lalu ditimbang dan dicatat berat dari benda uji yang tertahan di masing-masing saringan
6) Saringan dibersihkan dari sisa sisa benda uji menggunakan kuas

d. Perhitungan

1) Persentase berat tertinggal

Perhitungan persentase berat tertinggal pada masing-masing saringan dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Persen berat tertinggal} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\text{Berat total}} \times 100\% \quad (4.4)$$

2) Persentase berat lolos kumulatif

Untuk perhitungan persentase dari berat lolos kumulatif dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

$$100\% - \text{Berat tertinggal kumulatif} \quad (4.5)$$

3) Modulus Halus Butir (MHB)

Modulus Halus Butir (MHB) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

$$\text{MHB} = \frac{\sum \%\text{Berat tertinggal kumulatif}}{100\%} \quad (4.6)$$

4) Gradasi pasir ditentukan menggunakan tabel gradasi pasir pada Tabel 3.1
5) Grafik analisa saringan agregat halus digambar untuk melihat letak hasil analisis saringan terhadap batas atas dan batas bawah agregat lolos ayakan yang telah ditentukan.

4. Pemeriksaan modulus halus butir agregat kasar

   Berikut adalah pemeriksaan modulus halus butir agregat kasar berdasarkan SNI 03-1968-1990.

   a. Peralatan yang dibutuhkan
      1) Timbangan
      2) Saringan satu set (ukuran 3", 2 ½" , 2", ¾", ½" , 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, pan serta tutup saringan
      3) Mesin penggetar saringan (*sieve shaker*)
      4) Talam
      5) Oven
      6) Kuas
   b. Benda uji

      Benda uji yang digunakan adalah agregat kasar berupa kerikil atau batu split dan sejenisnya.
   c. Prosedur pengujian
      1) Benda uji dikeringkan dalam oven bersuhu (110 ± 5) °C sampai beratnya tetap
      2) Benda uji didinginkan pada suhu kamar 1-3 jam lalu ditimbang
      3) Saringan disusun berurutan dari atas ke bawah mulai dari lubang terbesar hingga ke ukuran lubang terkecil
      4) Pengayakan dilakukan dengan mesin penggetar saringan selama 10 hingga 15 menit
      5) Benda uji dipisahkan berdasarkan saringannya lalu ditimbang dan dicatat berat dari benda uji yang tertahan di masing-masing saringan
      6) Saringan dibersihkan dari sisa sisa benda uji menggunakan kuas
   d. Perhitungan
      1) Persentase berat tertinggal

         Perhitungan persentase berat tertinggal pada masing-masing saringan dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Persen berat tertinggal} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\text{Berat total}} \times 100\% \qquad (4.7)$$

2) Persentase berat lolos kumulatif

Untuk perhitungan persentase dari berat lolos kumulatif dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

100% - Berat tertinggal kumulatif (4.8)

3) Modulus Halus Butir (MHB)

Modulus Halus Butir (MHB) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

$$\text{MHB} = \frac{\sum \%\text{Berat tertinggal kumulatif}}{100\%} \quad (4.9)$$

4) Gradasi kerikil ditentukan menggunakan tabel gradasi kerikil pada Tabel 3.2

5) Grafik analisa saringan agregat kasar digambar untuk melihat letak hasil analisis saringan terhadap batas atas dan batas bawah agregat lolos ayakan yang telah ditentukan.

5. Pemeriksaan berat volume padat agregat halus dan kasar

Berikut adalah pemeriksaan berat volume padat agregat halus dan kasar berdasarkan SNI-03-4804-1998.

a. Peralatan yang dibutuhkan
   1) Timbangan
   2) Silinder
   3) Batang penumbuk
   4) Oven
   5) Sendok agregat

b. Benda uji

   Agregat halus/agregat kasar yang telah dikeringkan

c. Prosedur pengujian
   1) Benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu (110 ± 5) °C hingga mencapai berat yang tetap

2) Benda uji didinginkan dalam suhu kamar selama 1-3 jam lalu ditimbang
3) Silinder diukur dimensinya dan beratnya (W_1)
4) Silinder diisi agregat halus/padat sebanyak 1/3 bagian silinder lalu ditumbuk sebanyak 25 kali. Hal ini diulang pada kondisi 2/3 dan 3/3 bagian silinder lalu diratakan
5) Berat silinder berisi benda uji ditimbang dan dicatat hasilnya (W_2)
6) Volume tabung dihitung sebagai pembanding berat agregat agar mendapatkan nilai berat volume padat agregat halus/kasar (V)

d. Perhitungan

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai berat volume agregat halus/kasar adalah sebagai berikut

$$\text{Berat volume padat agregat} = \frac{W_2 - W_1}{\text{V}} \quad (4.10)$$

dengan:

W_1 = Berat tabung (gram)

W_2 = Berat tabung + agregat kering (gram)

V = Volume silinder (cm^3)

6. Pemeriksaan berat volume gembur agregat halus dan kasar

Berikut adalah pemeriksaan berat volume gembur agregat halus dan kasar berdasarkan SNI 03-4804-1998.

a. Peralatan yang dibutuhkan
   1) Timbangan
   2) Silinder berkapasitas 5 liter
   3) Oven
   4) Sekop kecil
b. Benda uji

   Agregat halus/kasar yang telah dikeringkan
c. Prosedur pengujian
   1) Benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu (110 ± 5) °C hingga mencapai berat yang tetap

2) Benda uji didinginkan dalam suhu kamar selama 1-3 jam lalu ditimbang
3) Silinder diukur dimensinya dan beratnya (W_1)
4) Silinder diisi agregat halus/padat hingga memenuhi silinder tanpa adanya penumbukan
5) Berat silinder berisi benda uji ditimbang dan dicatat hasilnya (W_2)
6) Volume tabung dihitung sebagai pembanding berat agregat agar mendapatkan nilai berat volume padat agregat halus/kasar (V)

d. Perhitungan

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai berat volume agregat halus/kasar adalah sebagai berikut

$$\text{Berat volume gembur agregat} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (4.11)$$

dengan:

W_1 = Berat tabung (gram)

W_2 = Berat tabung + agregat kering (gram)

V = Volume silinder (cm^3)

7. Pemeriksaan butiran yang lolos saringan No. 200

Berikut merupakan pemeriksaan butiran yang lolos saringan no. 200 berdasarkan SNI 03-4142-1996.

a. Peralatan yang dibutuhkan
   1) Timbangan
   2) Saringan No. 200
   3) Keran dan selang untuk air mengalir
   4) Cawan
   5) Oven
   6) Kain lap

b. Benda uji

Agregat kering oven yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dengan berat sesuai dengan Tabel 3.9

c. Prosedur pengujian

1) Benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu (110 ± 5) °C hingga beratnya tetap
2) Benda uji diletakkan di atas saringan No. 200 sambil dialiri air sehingga benda uji yang partikelnya lebih halus dapat melewati saringan dan yang lebih kasar akan tertinggal di atas saringan
3) Pengaliran air dilakukan hingga air dari pencucian benda uji berwarna jernih
4) Benda uji dikeringkan dengan oven di suhu (110 ± 5) °C hingga beratnya tetap

d. Perhitungan

Perhitungan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut

$$\text{Lolos saringan No. 200} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100\% \quad (4.12)$$

dengan:

W_1 : Berat kering oven sebelum dicuci (gram)

W_2 : Berat kering oven setelah dicuci (gram)

4.5.3 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Langkah-langkah dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Semua bahan dan peralatan disiapkan di Laboratorium BKT Teknik Sipil UII dalam keadaan SSD
2. Bahan-bahan ditimbang sesuai dengan keperluan perhitungan. Setiap bahan diberi tambahan sekitar 10% hingga 20% untuk menghindari kurangnya bahan akibat menempel di *mixer*, terbuang, dan lain-lain
3. Semua bahan pembetuk beton (yang sifatnya kering) dimasukkan ke dalam *mixer* sedikit demi sedikit lalu ditambahkan air sedikit demi sedikit
4. Pengujian slump dilakukan jika campuran beton sudah terlihat homogen. Pengujian slump dilakukan dengan cara 1/3 bagian dari isi cetakan diisi dengan

campuran beton lalu ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali. Kegiatan ini diulang hingga isi cetakan penuh (3/3).

5. Jika nilai slump terpenuhi, maka campuran beton dapat dicetak
6. Permukaan beton diratakan lalu cetakan yang berisi beton segar ditimbang
7. Cetakan dibuka setelah 24 jam dan diberi tanda/nama sesuai kode yang telah direncanakan
8. Benda uji direndam di dalam air sebagai bentuk perawatan benda uji
9. Benda uji dapat dikeluarkan dari rendaman dan dikeringkan dalam waktu 24 jam sebelum pengujian

4.5.4 Perawatan Benda Uji (*Curring*)

Perawatan beton saat sangat penting adanya. Perawatan beton berfungsi untuk mencegah turunnya kelembapan pada benda uji. Penurunan kelembapan dapat mengakibatkan retakan pada benda uji. Perendaman pada masa perawatan penting untuk menjaga proses hidrasi dari semen agar tetap berjalan dengan baik sehingga mencapai mutu beton yang didesain.

Opsi perawatan pada benda uji tidak hanya berupa perendaman saja, melainkan ada beberapa cara untuk melakukan perawatan pada benda uji. Berikut merupakan beberapa cara perawatan beton yang dapat diterapkan.

1. Beton diletakkan di atas genangan air
2. Beton segar diletakkan pada ruangan yang lembab
3. Permukaan beton diselimuti dengan karung basah
4. Permukaan beton disiram terus menerus
5. Permukaan beton digenangi oleh air

4.5.5 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji

Pengujian kuat tekan pada benda uji dilakukan saat benda uji berumur 28 hari. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian kuat tekan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Peralatan
   a. Timbangan
   b. Jangka sorong
   c. Mesin uji tekan

d. Perlengkapan pelapis (*capping*)

2. Benda uji

   Silinder beton yang telah dilakukan perawatan berupa direndam di dalam air selama 28 hari di Laboratorium BKT, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

3. Pengujian
   a. Benda uji diambil dari bak perendaman 24 jam sebelum pengujian dilakukan
   b. Kotoran dan selaput air yang menempel pada benda uji dibersihkan dengan kain lap
   c. Permukaan atas dan bawah benda uji dilapisi (capping) dengan belerang
   d. Benda uji diletakkan secara sentris di mesin uji tekan
   e. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban konstan dari 2 hingga 4 kg/cm^2 per detik
   f. Pembebanan dilakukan hingga benda uji hancur
   g. Beban maksimum dicatat selama pemeriksaan berlangsung
   h. Bentuk retakan/pecahan digambarkan dan dicatat keadaannya

4. Perhitungan

   Kuat tekan dapat dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 3.1. Pengujian kuat tekan silinder beton dapat dilihat melalui Gambar 4.28 sebagai berikut.



Gambar 4.28 Uji Kuat Tekan Silinder Beton

(Sumber: Penulis)

4.5.6 Pengujian Kuat Tarik Belah Benda Uji

Pengujian kuat tekan pada benda uji dilakukan saat benda uji berumur 28 hari. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian kuat tekan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Peralatan
   a. Mesin uji tekan
   b. Timbangan
   c. Jangka sorong
   d. Pelat atau batang penekan tambahan
   e. Bantalan bantu pembebanan
2. Benda uji

   Silinder beton yang sudah dilakukan perawatan selama 28 hari di Laboratorium BKT, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
3. Pengujian
   a. Diameter dan tinggi benda uji diukur menggunakan jangka sorong pada 3 posisi ukur (di kedua ujung benda uji dan di tengah benda uji) lalu berat benda uji ditimbang
   b. Benda uji diberi tanda lalu ditarik garis tengah di setiap sisi ujung benda uji agar garis tengah terbukti berada di dalam bidang aksial yang sama
   c. Pelat atau batang penekan tambahan (jika digunakan) diletakkan di atas meja tekan bagian bawah dari mesin uji tekan secara simetris
   d. Sebuah bantalan bantu pembebanan (dibuat dari kayu) diletakkan di atas meja tekan bagian bawah dari mesin uji tekan pada tengah-tengahnya.
   e. Benda uji diletakkan di atas bantalan bantu pembebanan hingga garis tengah pada benda uji terlihat tegak lurus terhadap titik tengah bantalan bantu
   f. Bantalan bantu pembebanan kedua diletakkan sedemikian rupa hingga titik tengahnya berpotongan dengan garis tengah benda uji pada ujung silinder. Setelah itu pelat atau batang penekan tambahan diletakkan di atas bantalan
   g. Pengujian diatur hingga tercapai kondisi proyeksi dari bidang yang ditandai oleh garis tengah yang berada di kedua ujung benda uji tepat berpotongan

dengan titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin uji. Jika digunakan batang penekan tambahan atau pelat, titik tengahnya dan titik tengah benda uji harus berada tepat dubawah titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin uji tekan.

h. Mesin uji tekan dijalankan dengan pemberian beban secara menerus, tanpa sentakan, dengan kecepatan pembebanan konstan antara 0,7 Mpa per detik hingga 1,4 MPa per detik hingga benda uji terbelah/hancur. Kecepatan untuk beton berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm adalah 50 hingga 100 kN per menit

4. Perhitungan

Kuat tarik belah beton dapat dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 3.2. Pengujian kuat tarik belah silinder beton dapat dilihat melalui Gambar 4.29 sebagai berikut.

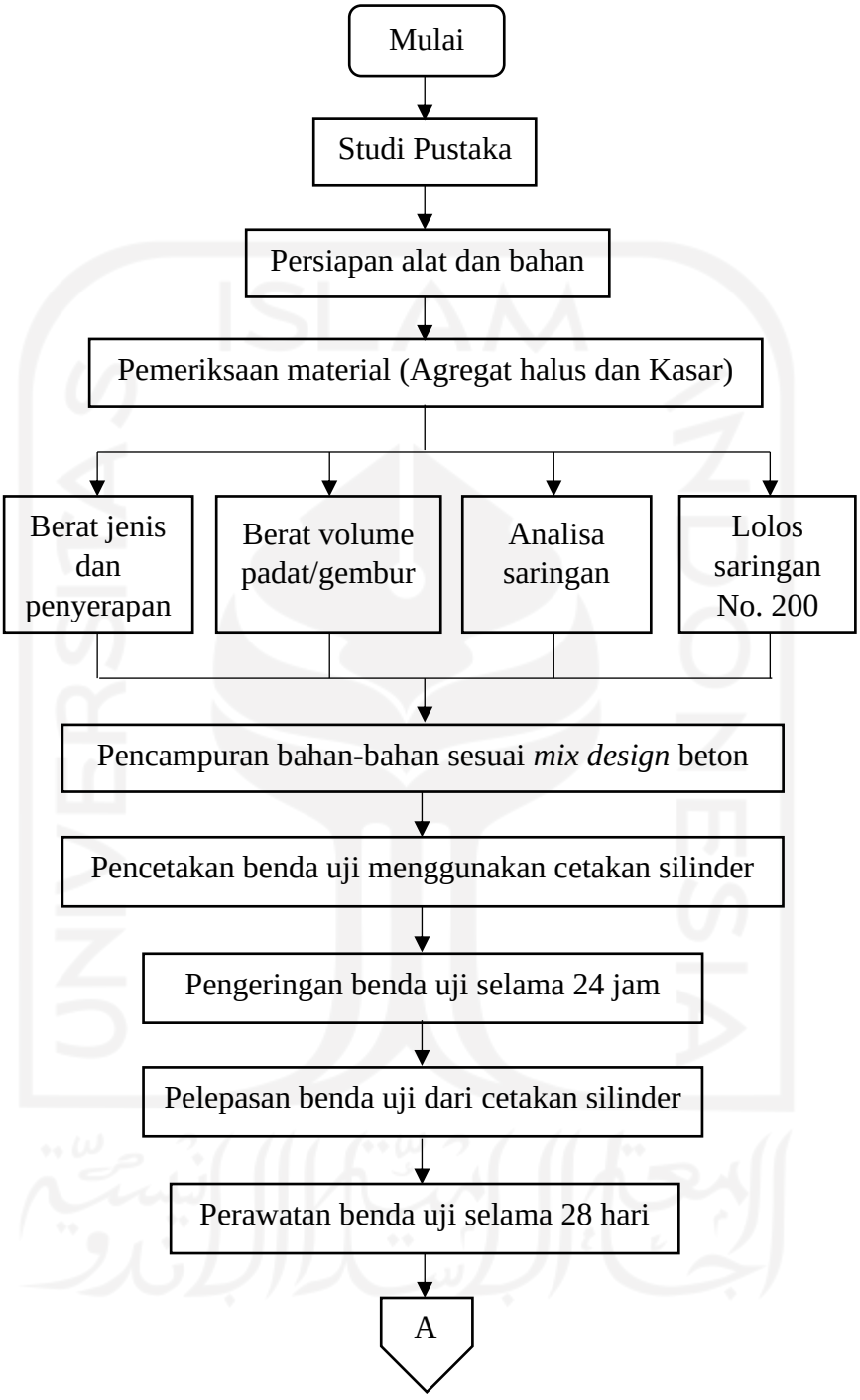


Gambar 4.29 Uji Kuat Tarik Belah Silinder Beton

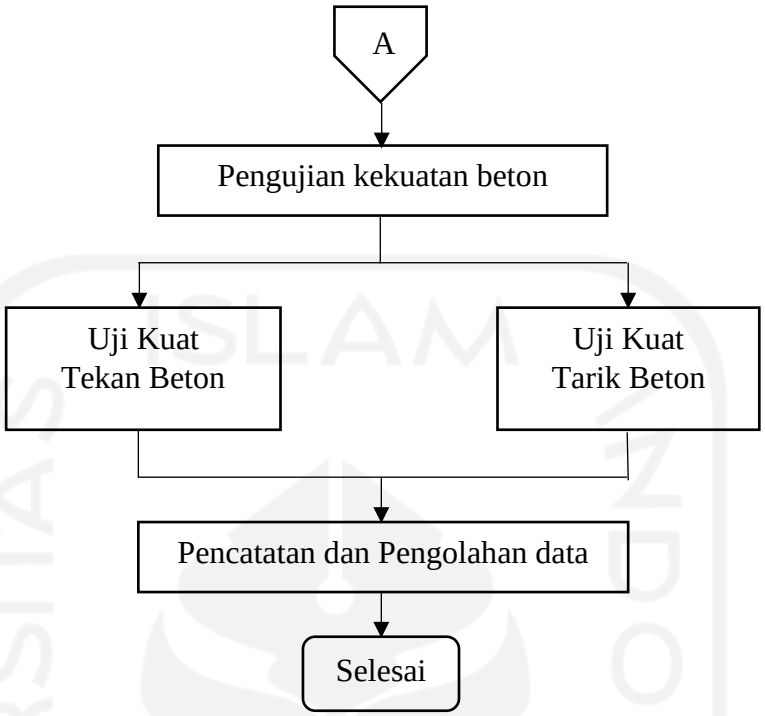
(Sumber: Penulis)

4.6 Bagan Alir Penelitian (*Flowchart*)

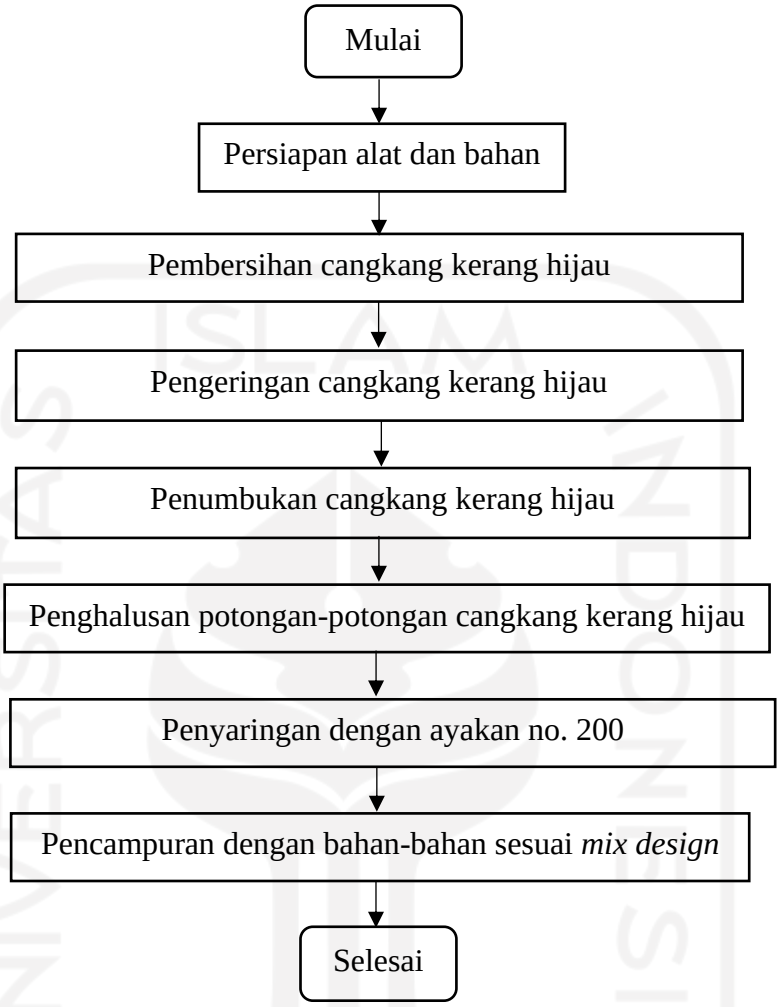
Langkah-langkah penelitian ini dan langkah-langkah pembuatan bubuk cangkang kerang hijau dapat digambarkan dengan bagan alir (*flowchart*) berurutan pada Gambar 4.30 dan Gambar 4.31 sebagai berikut.



Gambar 4.30 Bagan Alir (*Flowchart*) Penelitian



Lanjutan Gambar 4.30 Bagan Alir (*Flowchart*) Penelitian



Gambar 4.31 Bagan Alir (*Flowchart*) Pembuatan Serbuk Cangkang Kerang Hijau

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Dalam bab ini akan dijelaskan hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Hasil yang diperoleh melalui penggujian di laboratorium ini adalah berupa hasil pengujian *properties* agregat baik agregat halus maupun agregat kasar. Hasil pengujian *properties* tersebut meliputi berat jenis dan penyerapan air agregat, modulus halus butir agregat, berat isi gembur dan padat agregat, kandungan lumpur agregat halus, kuat tekan dan kuat tarik beton. Bahan pengganti yang digunakan adalah serbuk dari cangkang kerang hijau dan tidak dilakukan pengujian.

Pada bab ini juga berisi uraian pembahasan dari semua pengujian yang dilakukan. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik didapatkan dari alat uji tekan (*Compressing Test Machine*) dengan kapasitas 2000 kN.

5.2 Pemeriksaan Agregat

Agregat halus yaitu pasir yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir yang berasal dari daerah Kulon Progo. Agregat kasar yaitu kerikil yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Celereng, Kulon Progo. Sebelum melakukan pembuatan sampel, dilakukan terlebih dahulu pemeriksaan properties dari material agregat halus dan agregat kasar agar dapat diketahui karakteristik agregat tersebut. Pemeriksaan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

5.2.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan data yang diperlukan untuk mencari nilai dari berat jenis agregat halus. Perhitungan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat melalui Persamaan 3.3 hingga Persamaan 3.6 sebagai berikut.

1. Berat jenis curah

   a. Sampel 1 $= \frac{493}{710+500-1017}$

   $= 2{,}554$

   b. Sampel 2 $= \frac{492}{714+500-1027}$

   $= 2{,}631$

   c. Rata-rata $= \frac{2{,}554 + 2{,}631}{2}$

   $= 2{,}593$

2. Berat jenis jenuh kering permukaan

   a. Sampel 1 $= \frac{500}{710+500-1017}$

   $= 2{,}591$

   b. Sampel 2 $= \frac{500}{714+500-1027}$

   $= 2{,}674$

   c. Rata-rata $= \frac{2{,}591 + 2{,}674}{2}$

   $= 2{,}632$

3. Berat jenis semu

   a. Sampel 1 $= \frac{493}{710+493-1017}$

   $= 2{,}651$

   b. Sampel 2 $= \frac{492}{714+492-1027}$

   $= 2{,}749$

   c. Rata-rata $= \frac{2{,}651 + 2{,}749}{2}$

   $= 2{,}700$

4. Penyerapan air

   a. Sampel 1 $= \frac{500-493}{493} \times 100\%$

   $= 1{,}420\%$

   b. Sampel 2 $= \frac{500-492}{492} \times 100\%$

   $= 1{,}626\%$

c. Rata-rata $= \frac{1{,}420+1{,}626}{2}$

$= 1{,}523\%$

Data hasil pengujian dapat dilihat melalui Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kering mutlak, gram (Bk)	493	492	-
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, gram (SSD)	500	500	-
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1017	1027	-
Berat piknometer berisi air, gram (B)	710	714	-
Berat jenis curah, (Bk/(B+500-Bt))	2,554	2,631	2,593
Berat jenis jenuh kering muka, (500/(B+500-Bt))	2,591	2,674	2,632
Berat jenis semu, (Bk/ (B+Bk-Bt))	2,651	2,749	2,700
Penyerapan air, ((500-Bk)/ Bk x 100%)	1,420	1,626	1,523

Sumber: Hasil Pengujian

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil berat jenis agregat jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,632. Dari hasil yang didapatkan agregat halus dikatakan memenuhi persyaratan berat jenis agregat normal yaitu 2,5 hingga 2,7 (Tjokrodimuljo, 1996). Angka penyerapan air rata-rata yang didapatkan sebesar 1,523%.

5.2.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dicari menggunakan Persamaan 3.7 hingga Persamaan 3.10 sebagai berikut.

1. Berat jenis curah

a. Sampel 1 $= \frac{4926}{5000-3072}$

$= 2{,}555$

b. Sampel 2 $= \frac{4932}{5000-3076}$

$= 2{,}563$

c. Rata-rata $= \frac{2{,}555+2{,}563}{2}$

$= 2{,}559$

2. Berat jenis jenuh kering muka

a. Sampel 1 $= \frac{5000}{5000-3072}$

$= 2{,}593$

b. Sampel 2 $= \frac{5000}{5000-3076}$

$= 2{,}599$

c. Rata-rata $= \frac{2{,}593+2{,}599}{2}$

$= 2{,}596$

3. Berat jenis semu

a. Sampel 1 $= \frac{4926}{4926-3072}$

$= 2{,}657$

b. Sampel 2 $= \frac{4932}{4932-3076}$

$= 2{,}657$

c. Rata-rata $= \frac{2{,}657+2{,}657}{2}$

$= 2{,}657$

4. Penyerapan air

a. Sampel 1 $= \frac{5000-4926}{5000} \times 100\%$

$= 1{,}502$

b. Sampel 2 $= \frac{5000-4932}{5000} \times 100\%$

$= 1{,}379$

c. Rata-rata $= \frac{1{,}502+1{,}379}{2}$

$= 1{,}440$

Data hasil pengujian dapat dilihat melalui Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kering mutlak, gram (Bk)	4926	4932	-
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	-
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3072	3076	-
Berat jenis curah, (Bk/(Bj-Ba))	2,555	2,563	2,559
Berat jenis jenuh kering muka, (Bj/(Bj-Ba))	2,593	2,599	2,596
Berat jenis semu, (Bk/ (Bk-Ba))	2,657	2,657	2,657
Penyerapan air, ((Bj-Bk)/ Bk x 100%)	1,502	1,379	1,440

Sumber: Hasil Pengujian

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil berat jenis agregat jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,596. Dari hasil yang didapatkan agregat kasar dikatakan memenuhi persyaratan berat jenis agregat normal yaitu 2,5 hingga 2,7 (Tjokrodimuljo, 1996). Angka penyerapan air rata-rata yang didapatkan sebesar 1,440%.

5.2.3 Pemeriksaan Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus

Pemeriksaan MHB agregat dilakukan dengan melakukan analisa saringan. Analisa saringan ini memiliki tujuan untuk menentukan gradasi dari agregat halus. Pada analisa saringan ini digunakan agregat halus sebanyak 2000 gram. Pengujian analisa saringan agregat halus dilakukan dengan menggunakan dua sampel. Perhitungan pengujian analisa saringan agregat halus dapat dicari melalui Persamaan 4.4 hingga Persamaan 4.6. Untuk perhitungan MHB sampel 1 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Persentase berat tertinggal

$$\text{Berat tertahan (\%)} = \frac{Berat\ tertinggal\ (gram)}{Berat\ total\ (gram)} \times 100\%$$

a. Lubang ayakan 4,80 mm $= \frac{8}{2000} \times 100\%$

$= 0{,}40\%$

b. Lubang ayakan 2,40 mm $= \frac{101}{2000} \times 100\%$

= 5,05%

c. Lubang ayakan 1,20 mm = $\frac{225}{2000} \times 100\%$

= 11,25%

d. Lubang ayakan 0,60 mm = $\frac{531}{2000} \times 100\%$

= 26,55%

e. Lubang ayakan 0,30 mm = $\frac{586}{2000} \times 100\%$

= 29,30%

f. Lubang ayakan 0,15 mm = $\frac{448}{2000} \times 100\%$

= 22,40%

g. Sisa = $\frac{101}{2000} \times 100\%$

= 5,05%

2. Berat tertinggal kumulatif

a. Lubang ayakan 4,80 mm = 0% + 0,40%

= 0,40%

b. Lubang ayakan 2,40 mm = 0,40% + 5,05%

= 5,45%

c. Lubang ayakan 1,20 mm = 5,45% + 11,25%

= 16,70%

d. Lubang ayakan 0,60 mm = 16,70% + 26,55%

= 43,25%

e. Lubang ayakan 0,30 mm = 43,25% + 29,30%

= 72,55%

f. Lubang ayakan 0,15 mm = 72,55% + 22,40%

= 94,95%

g. Sisa = 94,95% + 5,05%

= 100%

3. Persentase lolos kumulatif

% lolos kumulatif = 100% - berat tertinggal kumulatif

a. Lubang ayakan 4,80 mm = 100% - 0,40%

= 99,60%

b. Lubang ayakan 2,40 mm = 100% - 5,45%

= 94,55%

c. Lubang ayakan 1,20 mm = 100% - 16,70%

= 83,30%

d. Lubang ayakan 0,60 mm = 100% - 43,25%

= 56,75%

e. Lubang ayakan 0,30 mm = 100% - 72,55%

= 27,45%

f. Lubang ayakan 0,15 mm = 100% - 94,95%

= 5,05%

g. Sisa = 100% - 100%

= 0%

4. Modulus Halus Butir (MHB)

$$MHB = \frac{\sum \%\text{Berat tertinggal kumulatif}}{100\%}$$

$$= \frac{(0{,}40+5{,}45+16{,}70+43{,}25+72{,}55+94{,}95)}{100\%}$$

$$= 2{,}333$$

Perhitungan MHB agregat halus sampel 1 untuk klasifikasi dan gradasi dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Perhitungan MHB Agregat Halus Sampel 1

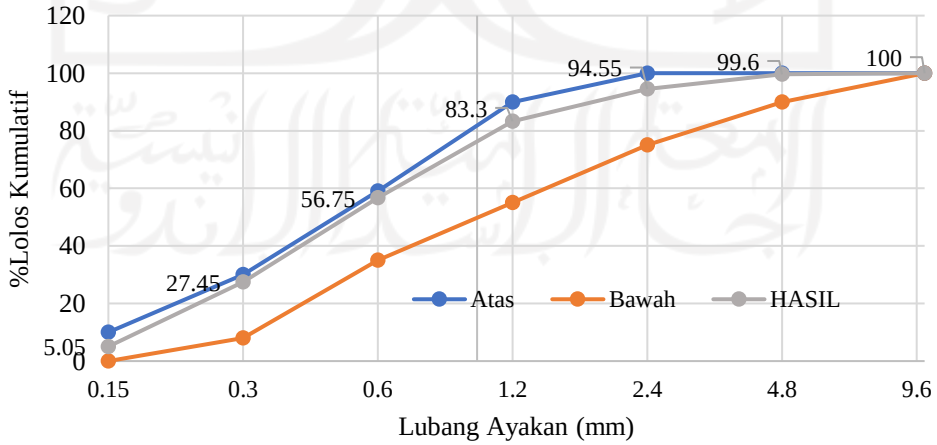
Saringan (mm)	**Berat Tertinggal (gram)**	**Berat Tertinggal (%)**	**Berat Tertinggal Kumulatif (%)**	**Persen Lolos Kumulatif (%)**
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	8	0,40	0,40	99,60

Lanjutan Tabel 5.3 Perhitungan MHB Agregat Halus Sampel 1

Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
2,40	101	5,05	5,45	94,55
1,20	225	11,25	16,70	83,30
0,60	531	26,55	43,25	56,75
0,30	586	29,30	72,55	27,45
0,15	448	22,40	94,95	5,05
Sisa	101	5,05	100	0
Jumlah	2000	100	233,30	366,70

Sumber: Hasil Pengujian

Dari data persen lolos kumulatif sampel 1 yang dipadankan dengan Tabel 3.1, didapatkan hasil berupa agregat halus masuk ke dalam Daerah II yaitu jenis pasir agak kasar. Grafik gradasi agregat halus untuk sampel 1 dapat dilihat melalui Gambar 5.1 sebagai berikut.



Gambar 5.1 Gradasi Agregat Halus Sampel 1 dan Batas-batasnya

(Sumber: Hasil Pengujian)

Untuk perhitungan gradasi agregat halus sampel 2 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Persentase berat tertinggal
   a. Lubang ayakan 4,80 mm = $\frac{11}{2000} \times 100\%$
      = 0,55%
   b. Lubang ayakan 2,40 mm = $\frac{89}{2000} \times 100\%$
      = 4,45%
   c. Lubang ayakan 1,20 mm = $\frac{218}{2000} \times 100\%$
      = 10,90%
   d. Lubang ayakan 0,60 mm = $\frac{527}{2000} \times 100\%$
      = 26,35%
   e. Lubang ayakan 0,30 mm = $\frac{592}{2000} \times 100\%$
      = 29,60%
   f. Lubang ayakan 0,15 mm = $\frac{459}{2000} \times 100\%$
      = 22,95%
   g. Sisa = $\frac{104}{2000} \times 100\%$
      = 5,20%
2. Berat tertinggal kumulatif
   a. Lubang ayakan 4,80 mm = 0% + 0,55%
      = 0,55%
   b. Lubang ayakan 2,40 mm = 0,55% + 4,45%
      = 5,00%
   c. Lubang ayakan 1,20 mm = 5% + 10,9%
      = 15,90%
   d. Lubang ayakan 0,60 mm = 15,90% + 26,35%
      = 42,25%
   e. Lubang ayakan 0,30 mm = 42,25% + 29,60%
      = 71,85%
   f. Lubang ayakan 0,15 mm = 71,85% + 22,95%

= 94,80%

g. Sisa = 94,80% + 5,20%

= 100%

3. Persentase lolos kumulatif

a. Lubang ayakan 4,80 mm = 100% - 0,55%

= 99,45%

b. Lubang ayakan 2,40 mm = 100% - 5%

= 95%

c. Lubang ayakan 1,20 mm = 100% - 15,90%

= 84,10%

d. Lubang ayakan 0,60 mm = 100% - 42,25%

= 57,75%

e. Lubang ayakan 0,30 mm = 100% - 71,85%

= 28,15%

f. Lubang ayakan 0,15 mm = 100% - 94,80%

= 5,20%

g. Sisa = 100% - 100%

= 0%

4. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \%\text{Berat tertinggal kumulatif}}{100\%}$$

$$= \frac{(0{,}55+5{,}00+15{,}90+42{,}25+71{,}85+94{,}80)}{100\%}$$

= 2,304

Perhitungan MHB agregat halus sampel 2 untuk klasifikasi dan gradasi dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Perhitungan MHB Agregat Halus Sampel 2

Saringan (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	11	0,55	0,55	99,45
2,40	89	4,45	5,00	95,00
1,20	218	10,90	15,90	84,10
0,60	527	26,35	42,25	57,75
0,30	592	29,60	71,85	28,15
0,15	459	22,95	94,80	5,20
Sisa	104	5,20	100	0
Jumlah	2000	100	230,35	369,65

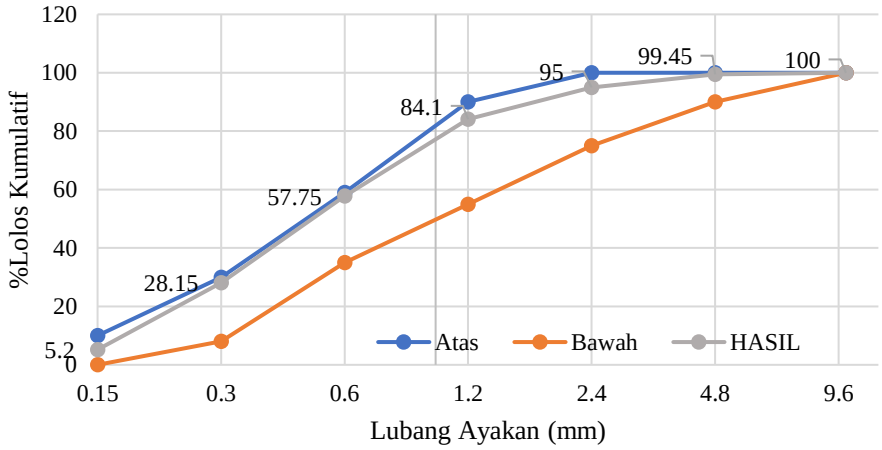
Sumber: Hasil Pengujian

5. MHB Rata-rata

$$\text{MHB Rata-rata} = \frac{2{,}333+2{,}304}{2}$$

$$= 2{,}318$$

Hasil MHB rata-rata yang didapatkan dari kedua sampel sebesar 2,318 diketahui masuk ke dalam persyaratan mutu agregat yaitu sebesar 1,5 hingga 3,8 (Tjokrodimuljo, 1996). Dari data persen lolos kumulatif sampel 2 yang dipadankan dengan Tabel 3.1, didapatkan hasil berupa agregat halus yang diuji masuk ke dalam Daerah II yaitu jenis pasir agak kasar. Grafik gradasi agregat halus untuk sampel 2 dapat dilihat melalui Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5.2 Gradasi Agregat Halus Sampel 2 dan Batas-batasnya

(Sumber: Hasil Pengujian)

5.2.4 Pemeriksaan Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar

Pada analisa saringan ini digunakan agregat kasar sebanyak 5000 gram. Pengujian analisa saringan agregat halus dilakukan dengan menggunakan dua sampel. Perhitungan pengujian analisa saringan agregat kasar dapat dicari melalui Persamaan 4.7 hingga Persamaan 4.9. Untuk perhitungan MHB sampel 1 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Persentase berat tertinggal

$$\text{Berat tertahan (\%)} = \frac{Berat\ tertinggal\ (gram)}{Berat\ total\ (gram)} \times 100\%$$

a. Lubang ayakan 40,00 mm $= \frac{0}{5000} \times 100\%$

$= 0{,}00\%$

b. Lubang ayakan 20,00 mm $= \frac{29}{5000} \times 100\%$

$= 0{,}58\%$

c. Lubang ayakan 10,00 mm $= \frac{3686}{5000} \times 100\%$

$= 73{,}72\%$

d. Lubang ayakan 4,80 mm $= \frac{1253}{5000} \times 100\%$

$= 25{,}06\%$

e. Lubang ayakan 2,40 mm $= \frac{4}{5000} \times 100\%$

= 0,08%

h. Lubang ayakan 1,20 mm = $\frac{0}{5000} \times 100\%$

= 0,00%

i. Lubang ayakan 0,60 mm = $\frac{0}{5000} \times 100\%$

= 0,00%

j. Lubang ayakan 0,30 mm = $\frac{0}{5000} \times 100\%$

= 0,00%

k. Lubang ayakan 0,15 mm = $\frac{0}{5000} \times 100\%$

= 0,00%

l. Sisa = $\frac{28}{5000} \times 100\%$

= 0,56%

2. Berat tertinggal kumulatif

a. Lubang ayakan 40,00 mm = 0% + 0%

= 0,00%

b. Lubang ayakan 20,00 mm = 0,00% + 0,58%

= 0,58%

c. Lubang ayakan 10,00 mm = 0,58% + 73,72%

= 74,30%

d. Lubang ayakan 4,80 mm = 74,30% + 25,06%

= 99,36%

e. Lubang ayakan 2,40 mm = 99,36% + 0,08%

= 99,44%

f. Lubang ayakan 1,20 mm = 99,44% + 0,00%

= 99,44%

g. Lubang ayakan 0,60 mm = 99,44% + 0,00%

= 99,44%

h. Lubang ayakan 0,30 mm = 99,44% + 0,00%

= 99,44%

i. Lubang ayakan 0,15 mm = 99,44% + 0,00%

= 99,44%

j. Sisa = 99,44% + 0,56%

= 100%

3. Persentase lolos kumulatif

% lolos kumulatif = 100% - berat tertinggal kumulatif

a. Lubang ayakan 40,00 mm = 100% - 0%

= 100,00%

b. Lubang ayakan 20,00 mm = 100% - 0,58%

= 99,42%

c. Lubang ayakan 10,00 mm = 100% - 74,30%

= 25,70%

d. Lubang ayakan 4,80 mm = 100% - 99,36%

= 0,64%

e. Lubang ayakan 2,40 mm = 100% - 99,44%

= 0,56%

f. Lubang ayakan 1,20 mm = 100% - 99,44%

= 0,56%

g. Lubang ayakan 0,60 mm = 100% - 99,44%

= 0,56%

h. Lubang ayakan 0,30 mm = 100% - 99,44%

= 0,56%

i. Lubang ayakan 0,15 mm = 100% - 99,44%

= 0,56%

j. Sisa = 100% - 100%

= 0,00%

4. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \%\text{Berat tertinggal kumulatif}}{100\%}$$

$$= \frac{(0{,}00+0{,}58+74{,}30+99{,}36+99{,}44+99{,}44+99{,}44+99{,}44)}{100\%}$$

= 6,714

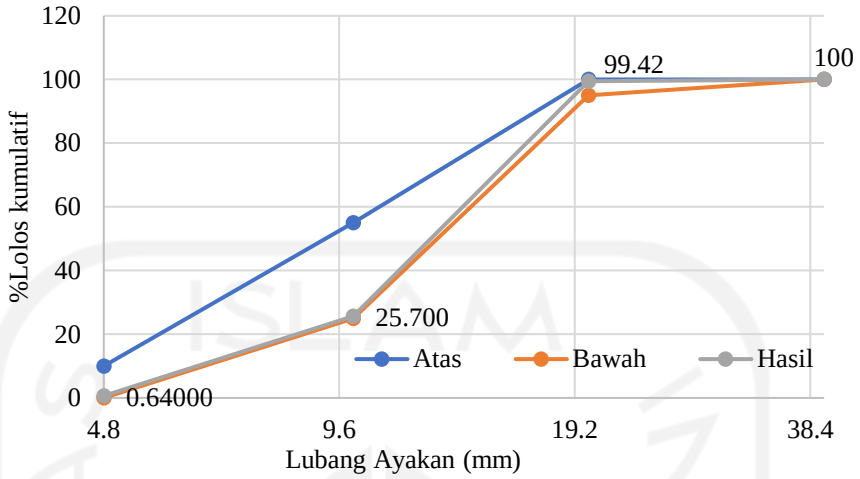
Perhitungan MHB agregat kasar sampel 1 untuk klasifikasi dan gradasi dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Perhitungan MHB Agregat Kasar Sampel 1

Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	29	0,58	0,58	99,42
10,00	3686	73,72	74,30	25,70
4,80	1253	25,06	99,36	0,64
2,40	4	0,08	99,44	0,56
1,20	0	0,00	99,44	0,56
0,60	0	0,00	99,44	0,56
0,30	0	0,00	99,44	0,56
0,15	0	0,00	99,44	0,56
Sisa	28	0,56	100,00	0,00
Jumlah	5000	100	671,44	228,56

Sumber: Hasil Pengujian

Dari data persen lolos kumulatif sampel 1 yang dipadankan dengan Tabel 3.2, didapatkan hasil berupa agregat halus masuk ke dalam agregat kasar maksimal 20 mm. Grafik gradasi agregat kasar untuk sampel 1 dapat dilihat melalui Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Gradasi Agregat Kasar Sampel 1 dan Batas-batasnya

(Sumber: Hasil Pengujian)

Untuk perhitungan gradasi agregat kasar sampel 2 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Persentase berat tertinggal

$$\text{Berat tertahan (\%)} = \frac{Berat\ tertinggal\ (gram)}{Berat\ total\ (gram)} \times 100\%$$

a. Lubang ayakan 40,00 mm $= \frac{0}{5000} \times 100\%$

$= 0{,}00\%$

b. Lubang ayakan 20,00 mm $= \frac{31}{5000} \times 100\%$

$= 0{,}62\%$

c. Lubang ayakan 10,00 mm $= \frac{3682}{5000} \times 100\%$

$= 73{,}64\%$

d. Lubang ayakan 4,80 mm $= \frac{1253}{5000} \times 100\%$

$= 25{,}06\%$

e. Lubang ayakan 2,40 mm $= \frac{4}{5000} \times 100\%$

$= 0{,}08\%$

f. Lubang ayakan 1,20 mm $= \frac{0}{5000} \times 100\%$

$= 0{,}00\%$

g. Lubang ayakan 0,60 mm = $\frac{0}{5000} \times 100\%$
= 0,00%

h. Lubang ayakan 0,30 mm = $\frac{0}{5000} \times 100\%$
= 0,00%

i. Lubang ayakan 0,15 mm = $\frac{0}{5000} \times 100\%$
= 0,00%

j. Sisa = $\frac{30}{5000} \times 100\%$
= 0,60%

2. Berat tertinggal kumulatif

a. Lubang ayakan 40,00 mm = 0% + 0%
= 0,00%

b. Lubang ayakan 20,00 mm = 0,00% + 0,62%
= 0,62%

c. Lubang ayakan 10,00 mm = 0,62% + 73,64%
= 74,26%

d. Lubang ayakan 4,80 mm = 74,26% + 25,06%
= 99,32%

e. Lubang ayakan 2,40 mm = 99,32% + 0,08%
= 99,40%

f. Lubang ayakan 1,20 mm = 99,44% + 0,00%
= 99,44%

g. Lubang ayakan 0,60 mm = 99,40% + 0,00%
= 99,40%

h. Lubang ayakan 0,30 mm = 99,40% + 0,00%
= 99,40%

i. Lubang ayakan 0,15 mm = 99,40% + 0,00%
= 99,40%

j. Sisa = 99,40% + 0,60%
= 100%

3. Persentase lolos kumulatif

% lolos kumulatif = 100% - berat tertinggal kumulatif

a. Lubang ayakan 40,00 mm = 100% - 0%
= 100,00%

b. Lubang ayakan 20,00 mm = 100% - 0,62%
= 99,38%

c. Lubang ayakan 10,00 mm = 100% - 74,26%
= 25,74%

d. Lubang ayakan 4,80 mm = 100% - 99,32%
= 0,68%

e. Lubang ayakan 2,40 mm = 100% - 99,40%
= 0,60%

f. Lubang ayakan 1,20 mm = 100% - 99,40%
= 0,60%

g. Lubang ayakan 0,60 mm = 100% - 99,44%
= 0,56%

h. Lubang ayakan 0,30 mm = 100% - 99,40%
= 0,60%

i. Lubang ayakan 0,15 mm = 100% - 99,40%
= 0,60%

j. Sisa = 100% - 100%
= 0,00%

4. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \%\text{Berat tertinggal kumulatif}}{100\%}$$

$$= \frac{(0{,}00+0{,}62+74{,}26+99{,}32+99{,}40+99{,}40+99{,}40+99{,}40)}{100\%}$$

$$= 6{,}712$$

Perhitungan MHB agregat kasar sampel 2 untuk klasifikasi dan gradasi dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Perhitungan MHB Agregat Kasar Sampel 2

Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	31	0,62	0,62	99,38
10,00	3682	73,64	74,26	25,74
4,80	1253	25,06	99,32	0,68
2,40	4	0,08	99,40	0,60
1,20	0	0,00	99,40	0,60
0,60	0	0,00	99,40	0,60
0,30	0	0,00	99,40	0,60
0,15	0	0,00	99,40	0,60
Sisa	30	0,60	100,00	0,00
Jumlah	5000	100	671,20	228,80

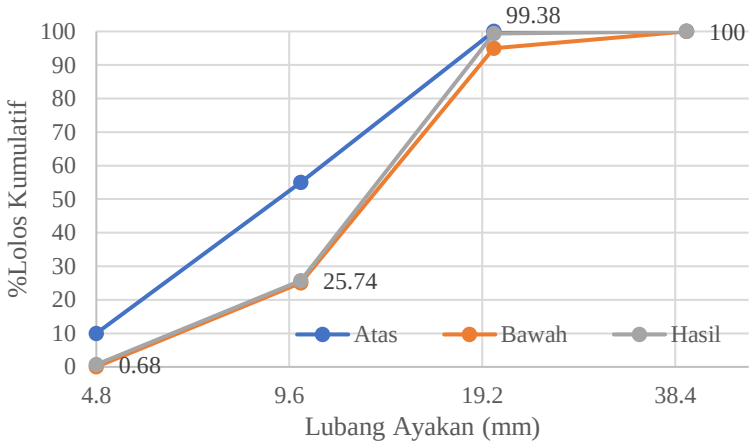
Sumber: Hasil Pengujian

5. MHB Rata-rata

$$\text{MHB Rata-rata} = \frac{6{,}714+6{,}712}{2}$$

$$= 6{,}713$$

Hasil MHB rata-rata yang didapatkan dari kedua sampel sebesar 6,713 diketahui masuk ke dalam persyaratan mutu agregat yaitu sebesar 5 hingga 8 (Tjokrodimuljo, 1996). Dari data persen lolos kumulatif sampel 2 yang dipadankan dengan Tabel 3.2, didapatkan hasil berupa agregat kasar yang diuji masuk ke dalam agregat dengan maksimal ukuran butir 20 mm. Grafik gradasi agregat kasar untuk sampel 2 dapat dilihat melalui Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5.4 Gradasi Agregat Kasar Sampel 2 dan Batas-batasnya

(Sumber: Hasil Pengujian)

5.2.5 Pemeriksaan Berat Isi Gembur dan Padat Agregat Halus

Pemeriksaan berat gembur dan padat agregat halus dilakukan untuk mengetahui berat volume dari agregat halus dengan membandingkan antara berat material dengan volumenya dalam kondisi kering. Pemeriksaan berat isi agregat halus dapat dilakukan menggunakan Persamaan 4.11. Untuk perhitungan berat isi gembur dan padat agregat halus dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pemeriksaan berat isi gembur agregat halus

   Pemeriksaan berat isi gembur agregat halus dilakukan dengan silinder dengan ukuran diameter dan tinggi sebesar 14,90 cm dan 30,22 cm. Untuk uraian perhitungan adalah sebagai berikut.

   a. Sampel 1

      Berat tabung (W_1) = 10724 gram

      Berat tabung serta agregat kering oven (W_2) = 17812 gram

      Berat agregat (W_3) = W_2 - W_1

      = 17812 – 10724

      = 7088 gram

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

      = $\frac{1}{4}\pi(14{,}9)^2$ 30,22

      = 5269,348 cm^3

Berat volume gembur $= \frac{W_3}{V}$

$= \frac{7088}{5269,348}$

$= 1,345$ gram/cm^3

b. Sampel 2

Berat tabung (W_1) = 10724 gram

Berat tabung serta agregat kering oven (W_2) = 17705 gram

Berat agregat (W_3) $= W_2 - W_1$

$= 17705 - 10724$

$= 6981$ gram

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

$= \frac{1}{4}\pi(14,9)^2\ 30,22$

$= 5269,348$ cm^3

Berat volume gembur $= \frac{W_3}{V}$

$= \frac{6981}{5269,348}$

$= 1,325$ gram/cm^3

c. Rata – rata $= \frac{1,345+1,325}{2}$

$= 1,335$ gram/cm^3

Perhitungan berat isi gembur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Pemeriksaan Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Berat tabung (W_1), gram	10724	10724
Berat tabung dan agregat kering oven (W_2), gram	17812	17705
Berat agregat (W_3), gram	7088	6981
Volume tabung (V), cm^3	5269,348	5269,348
Berat volume gembur, gram/cm^3	1,345	1,325
Rata-rata	1,335	

Sumber: Hasil Pengujian

2. Pemeriksaan berat isi padat agregat halus

   Pemeriksaan berat isi padat agregat halus dilakukan dengan silinder dengan ukuran diameter dan tinggi sebesar 14,90 cm dan 30,22 cm. Untuk uraian perhitungan adalah sebagai berikut.

   a. Sampel 1

      Berat tabung (W_1) = 10724 gram

      Berat tabung serta agregat kering oven (W_2) = 18631 gram

      Berat agregat (W_3) = W_2 - W_1

      = 18631 – 10724

      = 7907 gram

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

      = $\frac{1}{4}\pi(14{,}9)^2$ 30,22

      = 5269,348 cm^3

      Berat volume padat = $\frac{W_3}{V}$

      = $\frac{7907}{5269{,}348}$

      = 1,501 $gram/cm^3$

   b. Sampel 2

      Berat tabung (W_1) = 10724 gram

      Berat tabung serta agregat kering oven (W_2) = 18790 gram

      Berat agregat (W_3) = W_2 - W_1

      = 18790 – 10724

      = 8066 gram

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

      = $\frac{1}{4}\pi(14{,}9)^2$ 30,22

      = 5269,348 cm^3

      Berat volume padat = $\frac{W_3}{V}$

      = $\frac{8066}{5269{,}348}$

      = 1,531 $gram/cm^3$

c. Rata – rata $= \frac{1{,}501+1{,}531}{2}$

$= 1{,}516$ gram/cm^3

Perhitungan berat isi padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Pemeriksaan Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Berat tabung (W_1), gram	10724	10724
Berat tabung dan agregat kering oven (W_2), gram	18631	18790
Berat agregat (W_3), gram	7907	8066
Volume tabung (V), cm^3	5269,348	5269,348
Berat volume padat, gram/cm^3	1,501	1,531
Rata-rata	1,516	

Sumber: Hasil Penelitian

Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil berat isi gembur sebesar 1,335 gram/cm^3 dan berat isi padat agregat halus sebesar 1,516 gram/cm^3. Selisih dari hasil berat volume padat dan berat volume gembur agregat dapat menunjukkan keseragaman dari agregat tersebut.

5.2.6 Pemeriksaan Berat Isi Gembur dan Padat Agregat Kasar

Pemeriksaan berat gembur dan padat agregat kasar dilakukan untuk mengetahui berat volume dari agregat kasar dengan membandingkan antara berat material dengan volumenya dalam kondisi kering. Pemeriksaan berat isi agregat kasar dapat dilakukan menggunakan Persamaan 4.10. Untuk perhitungan berat isi gembur dan padat agregat kasar dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pemeriksaan berat isi gembur agregat kasar

   Pemeriksaan berat isi gembur agregat halus dilakukan dengan silinder dengan ukuran diameter dan tinggi sebesar 14,81 cm dan 30,23 cm. Untuk uraian perhitungan adalah sebagai berikut.

   a. Sampel 1

      Berat tabung (W_1) = 5232 gram

Berat tabung serta agregat kering oven (W_2) = 12344 gram

Berat agregat (W_3) = W_2 - W_1

= 12344 – 5232

= 7112 gram

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

= $\frac{1}{4}\pi(14{,}81)^2\ 30{,}23$

= 5207,606 cm^3

Berat volume gembur = $\frac{W_3}{V}$

= $\frac{7112}{5207{,}606}$

= 1,366 $gram/cm^3$

b. Sampel 2

Berat tabung (W_1) = 5232 gram

Berat tabung serta agregat kering oven (W_2) = 12327 gram

Berat agregat (W_3) = W_2 - W_1

= 12327 – 5232

= 7095 gram

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

= $\frac{1}{4}\pi(14{,}81)^2\ 30{,}23$

= 5207,606 cm^3

Berat volume gembur = $\frac{W_3}{V}$

= $\frac{7095}{5207{,}606}$

= 1,362 $gram/cm^3$

c. Rata – rata = $\frac{1{,}366+1{,}362}{2}$

= 1,364 $gram/cm^3$

Perhitungan berat isi gembur agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.9 Pemeriksaan Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Berat tabung (W_1), gram	5232	5232
Berat tabung dan agregat kering oven (W_2), gram	12344	12327
Berat agregat (W_3), gram	7112	7095
Volume tabung (V), cm^3	5207,606	5207,606
Berat volume gembur, $gram/cm^3$	1,366	1,362
Rata-rata	1,364	

Sumber: Hasil Penelitian

2. Pemeriksaan berat isi padat agregat kasar

   Pemeriksaan berat isi padat agregat kasar dilakukan dengan silinder dengan ukuran diameter dan tinggi sebesar 14,81 cm dan 30,23 cm. Untuk uraian perhitungan adalah sebagai berikut.

   a. Sampel 1

      Berat tabung (W_1) = 5232 gram

      Berat tabung serta agregat kering oven (W_2) = 13019 gram

      Berat agregat (W_3) = W_2 - W_1

      = 13019 – 5232

      = 7787 gram

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

      = $\frac{1}{4}\pi(14{,}81)^2\ 30{,}23$

      = 5207,606 cm^3

      Berat volume padat = $\frac{W_3}{V}$

      = $\frac{7787}{5207{,}606}$

      = 1,495 $gram/cm^3$

   b. Sampel 2

      Berat tabung (W_1) = 5232 gram

      Berat tabung serta agregat kering oven (W_2) = 13023 gram

      Berat agregat (W_3) = W_2 - W_1

= 13023 – 5232

= 7791 gram

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

$= \frac{1}{4}\pi(14{,}81)^2\ 30{,}23$

= 5207,606 cm^3

Berat volume padat $= \frac{W_3}{V}$

$= \frac{7791}{5207{,}606}$

= 1,496 $gram/cm^3$

c. Rata – rata $= \frac{1{,}495+1{,}496}{2}$

= 1,496 $gram/cm^3$

Perhitungan berat isi padat agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Pemeriksaan Berat Isi Padat Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Berat tabung (W_1), gram	5232	5232
Berat tabung dan agregat kering oven (W_2), gram	13019	13023
Berat agregat (W_3), gram	7787	7791
Volume tabung (V), cm^3	5207,606	5207,606
Berat volume gembur, $gram/cm^3$	1,495	1,496
Rata-rata	1,496	

Sumber: Hasil Pengujian

Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil berat isi gembur sebesar 1,364 $gram/cm^3$ dan berat isi padat agregat kasar sebesar 1,496 $gram/cm^3$. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa Selisih dari hasil berat volume padat dan berat volume gembur agregat dapat menunjukkan keseragaman dari agregat tersebut.

5.2.7 Pemeriksaan Butiran yang Lolos Saringan No. 200

Pemeriksaan butiran yang lolos saringan no. 200 pada agregat halus bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur yang ada pada agregat halus sebanyak 500 gram. Perhitungan butiran yang lolos dari saringan no. 200 dapat dilihat pada Persamaan 4.12. Uraian perhitungan adalah sebagai berikut.

1. Sampel 1
   a. Berat agregat kering oven (W_1) = 500 gram
   b. Berat agregat kering oven setelah dicuci (W_2) = 494 gram
   c. Persen lolos saringan no. 200 $= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$
      $= \frac{500 - 494}{500} \times 100\%$
      =1,2%
2. Sampel 2
   a. Berat agregat kering oven (W_1) = 500 gram
   b. Berat agregat kering oven setelah dicuci (W_2) = 497 gram
   c. Persen lolos saringan no. 200 $= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$
      $= \frac{500 - 497}{500} \times 100\%$
      = 0,6%
3. Rata-rata $= \frac{\%lolos\ 1 + \%lolos\ 2}{2}$
   $= \frac{1,2 + 0,6}{2}$
   = 0,9%

Rekapitulasi perhitungan butiran yang lolos saringan no. 200 dapat dilihat pada Tabel 5.11 sebagai berikut

Tabel 5.11 Pemeriksaan Butiran yang Lolos Saringan No. 200

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Berat agregat kering oven (W_1), gram	500	500
Berat agregat kering oven yang sudah dicuci (W_2), gram	494	497

Lanjutan Tabel 5.11 Pemeriksaan Butiran yang Lolos Saringan No. 200

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Persen lolos saringan no. 200 (%)	1,2	0,6
Rata-rata (%)	0,9	

Sumber: Hasil Pengujian

Dari pemeriksaan butiran yang lolos saringan no. 200, didapatkan hasil kadar lumpur pada agregat halus sebesar 0,9%. Berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia Tahun 1982 (PUBI 1982) untuk berat yang lolos saringan no. 200 untuk agregat halus maksimal sebesar 5%. Oleh karena itu, agregat halus yang diuji sudah memenuhi persyaratan sehingga dapat digunakan pada penelitian ini.

5.3 Mix Design Beton

Mix design dilakukan setelah didapatkan data properties dari agregat. Mix design direncanakan sesuai dengan metode yang ada pada SNI 03-2834-2000. Untuk perhitungan dari *mix design* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

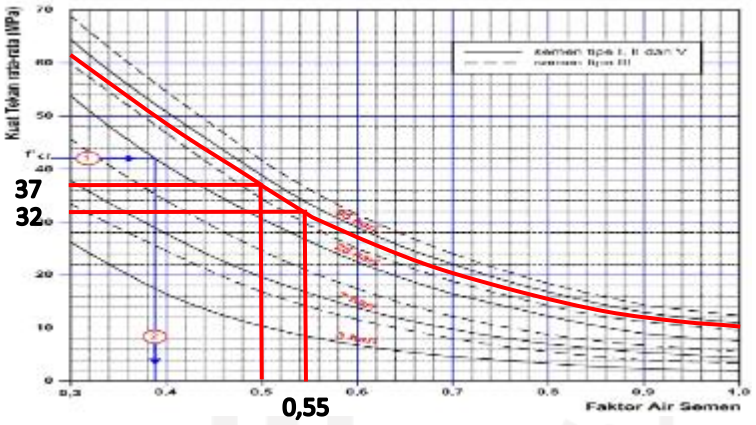
1. Kuat tekan beton yang direncanakan (f'c) adalah sebesar 20 MPa
2. Tidak ada deviasi standar yang didapat melalui pengalaman di lapangan selama produksi beton
3. Kuat tekan rata-rata beton yang ditargetkan (f'cr) dapat dicari sebagai berikut.

   f'cr = f'c + 12

   = 20 + 12

   = 32 MPa
4. Semen yang digunakan adalah semen *PCC* dengan merek *DYNAMIX*
5. Agregat halus dan kasar yang digunakan berasal dari Kulon Progo. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm.
6. Melalui Tabel 3.4 didapatkan perkiraan kuat tekan beton pada umur 28 hari untuk benda uji silinder dengan penggunaan semen portland tipe I dan jenis agregat kasar berupa batu pecah adalah 37 MPa.

7. Nilai fas dicari menggunakan Gambar 4.25 dengan cara menarik garis dari angka 37 MPa ke kanan hingga bertemu garis tegak lurus fas 0,5. Dari perpotongan dua garis tersebut dibuatlah garis lengkung baru. Dari f'cr yang didapat yaitu 32 MPa ditarik garis memotong garis lengkung yang baru dibuat. Selanjutnya, ditarik tegak lurus ke bawah sehingga ditemukan nilai fas sebesar 0,55. Nilai maksimum fas berdasarkan Tabel 4.5 sebesar 0,60. Nilai fas digunakan adalah nilai fas terendah antara yang didapatkan dengan nilai fas maksimum, sehingga yang digunakan adalah 0,55. Nilai fas dapat dilihat melalui Gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5.5 Faktor Air Semen yang dibutuhkan

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

8. Slump yang digunakan sebesar 60-180 mm
9. Kebutuhan air per meter kubik beton untuk ukuran agregat maksimum 20 mm dengan slump 60-180 mm ditentukan dengan Tabel 4.4. Didapatkan untuk batu tak dipecahkan dan batu pecah sebesar 195 kg/m^3 dan 225 kg/m^3. Setelah itu, untuk agregat campuran dapat dicari dengan Persamaan 4.3 sebagai berikut

   Kadar air bebas $= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225$

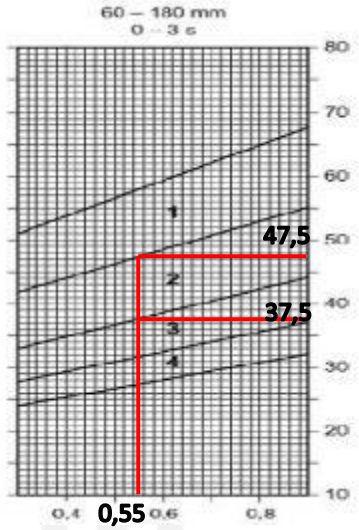
   $= 205$ kg/m^3

10. Jumlah semen $= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{fas digunakan}}$

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

    $= 372{,}727$ kg

11. Jumlah semen minimum per m^3 dapat ditentukan menggunakan Tabel 4.5. didapatkan untuk lingkungan keliling non-korosif sebesar 275 kg. Karena jumlah semen yang didapatkan lebih besar daripada jumlah semen minimum, maka kadar semen yang digunakan adalah sebesar 372,727 kg.
12. Persen agregat halus dapat dicari menggunakan grafik pada Gambar 4.26. Berdasarkan perhitungan analisa saringan, didapatkan agregat halus masuk ke dalam daerah II. Ukuran agregat maksimum sebesar 20 mm dengan slump 60 hingga 180 mm. Persen pasir didapatkan dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 5.6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari grafik didapatkan persen pasir ada di antara 37,5% hingga 47,5%. Oleh karena itu, persentase agregat halus dan agregat kasar dapat dicari sebagai berikut.

Persentase agregat halus = $\frac{37,5+47,5}{2}$

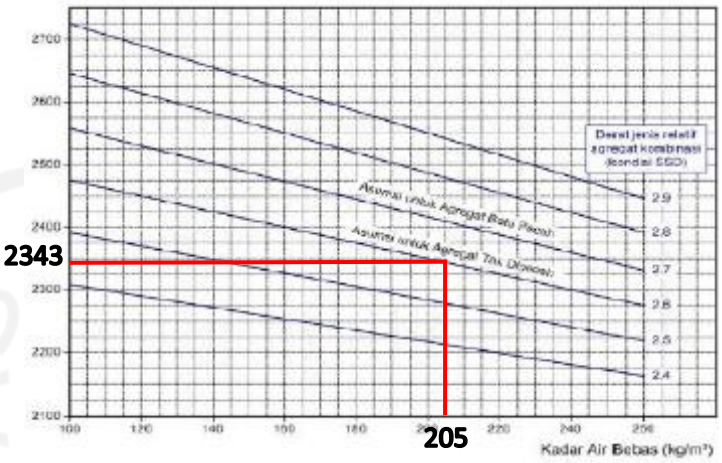
= 42,5%

Persentase agregat kasar = 100% - 42,5%

= 57,5%

13. Berat isi beton dapat dicari menggunakan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.27. Berdasarkan berat jenis agregat yang telah dicari, didapatkan berat jenis agregat gabungan sebesar 2,6. Selain itu, didapatkan kadar air bebas

sebesar 205 sehingga berat isi beton didapatkan sebesar 2343 kg. Grafik dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 5.7 Grafik Berat Isi Beton

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

14. Kadar agregat gabungan dapat dicari sebagai berikut.

    Kadar agregat gabungan = Berat isi beton – kadar semen – kadar air bebas

    = 2343 – 373,727 – 205

    = 1765,27 kg

15. Kadar agregat halus dapat dicari sebagai berikut.

    Kadar agregat halus = Persentase agregat halus x kadar agregat gabungan

    = 42,5% × 1765,27

    = 750,241 kg

16. Kadar agregat kasar dapat dicari sebagai berikut.

    Kadar agregat kasar = Kadar agregat gabungan – kadar agregat halus

    = 1765,27 – 750,241

    = 1015,030 kg

17. Volume benda uji silinder dihitung sebagai berikut.

    Diameter = 0,15 m

    Tinggi = 0,30 m

    Volume $= \frac{1}{4}\pi d^2 t$

    $= \frac{1}{4}\pi 0{,}15^2 0{,}30$

$= 0{,}0053\ m^3$

Total volume = Volume × jumlah benda uji

$= 0{,}0053 \times 36$

$= 0{,}191\ m^3$

18. Pada campuran beton akan digunakan bahan pengganti sebagian semen yaitu serbuk cangkang hijau berdasarkan persentase yang telah ditentukan, Masing-masing variasi persentase yang diuji membutuhkan 6 silinder beton dengan total variasi sebanyak 6 variasi. Berat setiap variasi dapat dicari sebagai berikut.
    a. Semen

    Semen = proporsi semen per m^3 × volume × jumlah benda uji

    $= 372{,}727 \times 0{,}0053 \times 6$

    $= 11{,}856$ kg

    b. Serbuk cangkang kerang hijau

    Berat variasi substitusi = Berat semen × %Variasi

    1) Berat variasi 0% = 11,856 × 0%
    = 0 kg
    2) Berat variasi 4% = 11,856 × 4%
    = 0,474 kg
    3) Berat variasi 5% = 11,856 × 5%
    = 0,593 kg
    4) Berat variasi 6% = 11,856 × 6%
    = 0,711 kg
    5) Berat variasi 7% = 11,856 × 7%
    = 0,830 kg
    6) Berat variasi 8% = 11,856 × 8%
    = 0,948 kg

    c. Semen (variasi)

    Semen (variasi) = Berat semen – Berat variasi substitusi

    1) Berat semen variasi 0% = 11,856 – 0
    = 11,856 kg
    2) Berat semen variasi 4% = 11,856 – 0,474

= 11,382 kg

3) Berat semen variasi 5% = 11,856 − 0,593
= 11,263 kg

4) Berat semen variasi 6% = 11,856 − 0,711
= 11,145 kg

5) Berat semen variasi 7% = 11,856 − 0,830
= 11,026 kg

6) Berat semen variasi 8% = 11,856 − 0,948
= 10,907 kg

d. Air

Air = proporsi air per m^3 × volume × jumlah benda uji
= 205 × 0,0053 × 6
= 6,521 kg

e. Agregat kasar

Agregat kasar = proporsi agregat kasar per m^3× volume × jumlah benda uji
= 1015,032 × 0,0053 × 6
= 32,287 kg

f. Agregat halus

Agregat halus = proporsi agregat halus per m^3× volume × jumlah benda uji
= 750,241 × 0,0053 × 6
= 23,864 kg

Rekapitulasi *mix design* yang digunakan pada campuran beton yang akan diuji dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.12 *Mix Design* Beton

No	Keterangan	Hasil	Satuan
1.	Kuat tekan yang disyaratkan (f'c)	20	MPa
2.	Deviasi standar	7	MPa
3.	Nilai tambah/ Margin (M)	12	Mpa
4.	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan (f'cr)	32	Mpa
5.	Jenis Semen	Tipe I	

Lanjutan Tabel 5.12 *Mix Design* Beton

No	Keterangan	Hasil	Satuan
6.	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
	Jenis agregat halus	Alami	
7.	Faktor air semen bebas	0,55	
8.	Faktor air semen maksimum	0,60	
9.	Slump	60-180	mm
10.	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11.	Kadar air bebas	205	kg/m^3
12.	Jumlah semen minimum	275	kg
13.	Jumlah semen digunakan	372,727	kg
14.	Susunan besar butir agregat halus	Daerah II	
15.	Persen agregat halus	42,5	%
16.	Persen agregat kasar	57,5	%
17.	Berat jenis agregat (SSD)	2,6	
18.	Berat isi beton	2343	kg
19.	Kadar agregat gabungan	1765,27	kg
20.	Kadar agregat halus	750,241	kg
21	Kadar agregat kasar	1015,030	kg
22.	Volume silinder	0,0053	m^3

Sumber: Hasil Pengujian

Rekapitulasi proporsi yang digunakan pada campuran beton per variasi yang akan diuji dapat dilihat pada Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5.13 Berat Proporsi Campuran Beton Pada Setiap Variasi

Variasi	Jumlah benda uji	Semen	Air	Agregat Kasar	Agregat Halus	Serbuk Cangkang Kerang Hijau	Total
		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
0%	6	11,856	6,521	32,287	23,864	0	74,528
4%	6	11,382	6,521	32,287	23,864	0,474	74,528
5%	6	11,263	6,521	32,287	23,864	0,593	74,528
6%	6	11,145	6,521	32,287	23,864	0,711	74,528
7%	6	11,026	6,521	32,287	23,864	0,830	74,528
8%	6	10,907	6,521	32,287	23,864	0,948	74,528
Total	36	67,579	39,125	193,721	143,185	3,557	447,167

Sumber: Hasil Pengujian

Angka penyusutan sebesar 20% ditambahkan ke dalam proporsi campuran beton sebagai bentuk kewaspadaan akan bahan-bahan yang beratnya berkurang akibat terjatuh atau tertumpah. Hal ini disebabkan oleh kurangnya kehati-hatian pada pelaksanaan pembuatan benda uji. Proporsi baru dengan tambahan angka penyusutan sebesar 20% adalah sebagai berikut.

Tabel 5.14 Berat Proporsi Campuran Beton pada Setiap Variasi dengan Angka Penyusutan 20%

Variasi	Jumlah benda uji	Semen	Air	Agregat Kasar	Agregat Halus	Serbuk Cangkang Kerang Hijau	Total
		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
0%	6	14,227	7,825	38,744	28,637	0	89,433
4%	6	13,658	7,825	38,744	28,637	0,569	89,433
5%	6	13,516	7,825	38,744	28,637	0,711	89,433

Lanjutan Tabel 5.14 Berat Proporsi Campuran Beton pada Setiap Variasi dengan Angka Penyusutan 20%

Variasi	Jumlah benda uji	Semen	Air	Agregat Kasar	Agregat Halus	Serbuk Cangkang Kerang Hijau	Total
		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
6%	6	13,374	7,825	38,744	28,637	0,854	89,433
7%	6	13,323	7,825	38,744	28,637	0,996	89,433
8%	6	13,089	7,825	38,744	28,637	1,138	89,433
Total	36	81,095	46,950	232,465	171,822	4,268	536,60

Sumber: Hasil Pengujian

5.4 Pengujian pada Beton Variasi

5.4.1 Pengujian Slump pada Beton

Dari pengujian slump yang dilakukan, didapatkan hasil yang beragam pada campuran beton. Nilai slump memiliki pengaruh pada kemudahan pada pengerjaan campuran beton (*workability*). Campuran beton yang makin cair menyebabkan nilai slump semakin tinggi sehingga pengerjaan beton semakin mudah (Tjokrodimuljo, 1996). Dari hasil adukan beton, didapatkan nilai slump yang masuk ke dalam kisaran harga 60 hingga 180 mm. Dapat disimpulkan bahwa harga slump telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sebelumnya. Nilai slump untuk tiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Slump

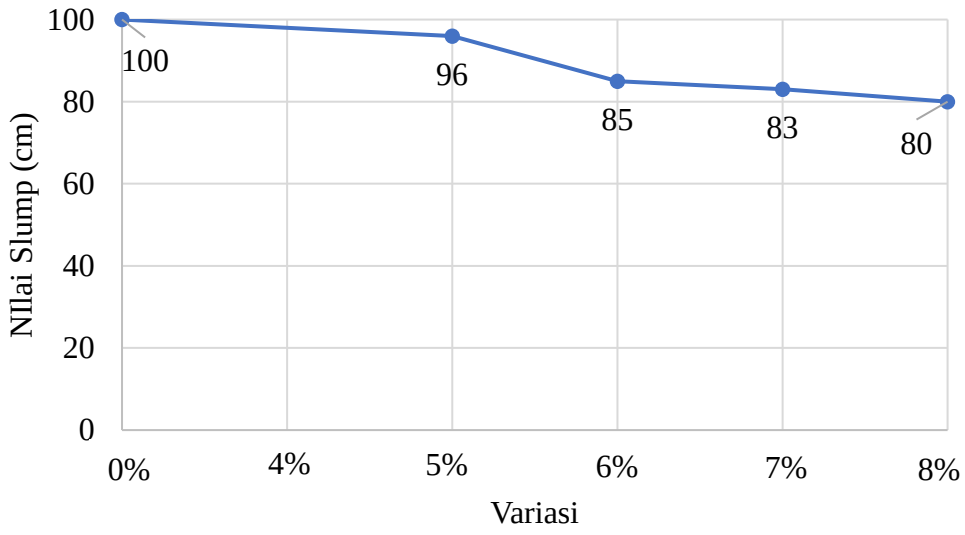
Variasi	Nilai Slump (mm)
0%	100
4%	96
5%	93
6%	85

Lanjutan Tabel 5.15 Hasil Pengujian Slump

Variasi	Nilai Slump (cm)
7%	83
8%	80

Sumber: Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian slump lalu dilakukan pembuatan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Grafik Hasil Pengujian Slump

(Sumber: Hasil Pengujian)

5.4.2 Pengukuran Dimensi Silinder Beton

Pengukuran dimensi silinder beton dilakukan sebelum pengujian kuat tekan dan kuat tarik beton. Pengukuran yang dilakukan berupa diameter dan tinggi dari silinder beton. Dari dimensi tersebut lalu dicari luas penampangnya. Rekapitulasi dimensi dan luas penampang silinder beton dapat dilihat pada Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.16 Dimensi Silinder Beton

Keterangan	Variasi	Sampel	Diameter (d)	Tinggi (h)	Luas Penampang $A = \frac{1}{4}\pi d^2$
			mm	mm	mm^2
Kuat Tekan Beton	0%	1	151,1	300,4	17931,590
		2	150	302,5	17671,459
		3	151,4	302,3	18002,865
	4%	1	152,1	302,2	18169,723
		2	151,4	301,2	18002,865
		3	150,6	300	17813,113
	5%	1	150,1	302,2	17695,028
		2	151,3	303	17979,091
		3	150,7	300,4	17836,777
	6%	1	149,2	303,4	17483,466
		2	149,5	302,7	17553,845
		3	149,6	297,7	17577,337
	7%	1	149,1	302,3	17460,037
		2	149	302,2	17436,625
		3	151	303,8	17907,864
	8%	1	150,5	301,2	17789,465
		2	149,9	303,4	17647,905
		3	152,1	300,8	18169,723
Kuat Tarik Belah Beton	0%	1	150	303,5	17671,459
		2	152,2	300,4	18193,623
		3	151,7	304,2	18074,282
	4%	1	148,3	300,6	17273,175
		2	149,9	300,5	17647,905
		3	150,3	304,2	17742,215

Lanjutan Tabel 5.16 Dimensi Silinder Beton

Keterangan	Variasi	Sampel	Diameter (d)	Tinggi (h)	Luas Penampang $A = \frac{1}{4}\pi d^2$
			mm	mm	mm^2
Kuat Tarik Belah Beton	5%	1	151,8	302,8	18098,118
		2	151,1	300,2	17931,590
		3	149,3	298,2	17506,910
	6%	1	151,8	302,7	18098,118
		2	151,5	299,9	18026,655
		3	151,4	303,3	18002,865
	7%	1	150,4	299,1	17765,832
		2	149	302,3	17436,625
		3	151	303,5	17907,864
	8%	1	152,9	303,5	18361,360
		2	150,5	302,2	17789,465
		3	148,2	302,7	17249,888

Sumber: Hasil Penelitian

5.4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian kuat tekan pada beton yang berusia 28 hari. Perhitungan kuat tekan beton dapat dilakukan dengan Persamaan 3.1. uraian perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Variasi 0%
   a. Sampel 1

      Beban maksimum (P) = 435 kN

      = 435.000 N

      Luas penampang (A) = 17931,590 mm^2

      Kuat tekan (f'c) $= \frac{435.000}{17931,590}$

= 24,259 MPa

b. Sampel 2

Beban maksimum (P) = 435 kN

= 435.000 N

Luas penampang (A) = 17671,459 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{435.000}{1767}$

= 24,616 MPa

c. Sampel 3

Beban maksimum (P) = 425 kN

= 425.000 N

Luas penampang (A) = 18002,865 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{435.000}{18002,865}$

= 23,607 MPa

d. Rata-rata

Kuat tekan rata-rata $= \frac{24,259+24,616+23,607}{3}$

= 24,161 Mpa

2. Variasi 4%

a. Sampel 1

Beban maksimum (P) = 315 kN

= 315.000 N

Luas penampang (A) = 18169,723 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{315.000}{18169,723}$

= 17,337 MPa

b. Sampel 2

Beban maksimum (P) = 385 kN

= 385.000 N

Luas penampang (A) = 18002,865 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{385.000}{18002,865}$

= 21,385 MPa

c. Sampel 3

Beban maksimum (P) = 279 kN

= 279.000 N

Luas penampang (A) = 17813,113 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{279.000}{17813,113}$

= 15,663 MPa

d. Rata-rata

Kuat tekan rata-rata $= \frac{17,337+21,385+15,663}{3}$

= 18,128 Mpa

3. Variasi 5%

a. Sampel 1

Beban maksimum (P) = 280 kN

= 280.000 N

Luas penampang (A) = 17695,028 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{280.000}{17695,028}$

= 15,824 MPa

b. Sampel 2

Beban maksimum (P) = 290 kN

= 290.000 N

Luas penampang (A) = 17979,091 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{290.000}{17979,091}$

= 16,130 MPa

c. Sampel 3

Beban maksimum (P) = 340 kN

= 340.000 N

Luas penampang (A) = 17836,777 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{340.000}{17836,777}$

= 19,062 MPa

d. Rata-rata

Kuat tekan rata-rata $= \frac{15,824+16,130+19,062}{3}$

= 17,005 Mpa

4. Variasi 6%

a. Sampel 1

Beban maksimum (P) = 293 kN

= 293.000 N

Luas penampang (A) = 17483,466 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{293.000}{17483,466}$

= 16,759 MPa

b. Sampel 2

Beban maksimum (P) = 350 kN

= 350.000 N

Luas penampang (A) = 17553,845 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{350.000}{17553,845}$

= 19,939 MPa

c. Sampel 3

Beban maksimum (P) = 385 kN

= 385.000 N

Luas penampang (A) = 17577,337 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{385.000}{17577,337}$

= 21,903 MPa

d. Rata-rata

Kuat tekan rata-rata $= \frac{16,759+19,939+21,903}{3}$

= 19,534 Mpa

5. Variasi 7%

a. Sampel 1

Beban maksimum (P) = 380 kN

= 380.000 N

Luas penampang (A) = 17460,037 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{380.000}{17460,037}$

= 21,764 MPa

b. Sampel 2

Beban maksimum (P) = 239 kN

= 239.000 N

Luas penampang (A) = 17436,625 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{239.000}{17436,625}$

= 13,707 MPa

c. Sampel 3

Beban maksimum (P) = 395 kN

= 395.000 N

Luas penampang (A) = 17907,864 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{395.000}{17907,864}$

= 22,057 MPa

d. Rata-rata

Kuat tekan rata-rata $= \frac{21,764+13,707+22,057}{3}$

= 19,176 Mpa

6. Variasi 8%

a. Sampel 1

Beban maksimum (P) = 240 kN

= 240.000 N

Luas penampang (A) = 17789,465 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{240.000}{17789,465}$

= 13,491 MPa

b. Sampel 2

Beban maksimum (P) = 291 kN

= 291.000 N

Luas penampang (A) = 17647,905 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{291.000}{17647,905}$

= 16,489 MPa

c. Sampel 3

Beban maksimum (P) = 310 kN

= 310.000 N

Luas penampang (A) = 18169,723 mm^2

Kuat tekan (f'c) $= \frac{310.000}{18169,723}$

= 17,061 MPa

d. Rata-rata

Kuat tekan rata-rata $= \frac{13,491+16,489+17,061}{3}$

= 15,681 Mpa

Rekapitulasi hasil perhitungan kuat tekan tiap variasi dapat dilihat melalui Tabel 5.17 sebagai berikut.

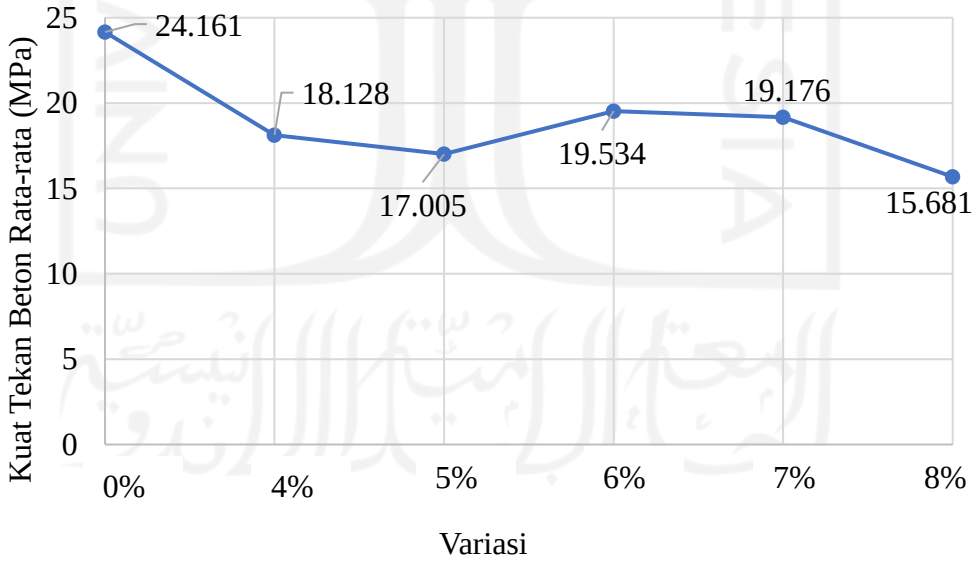
Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi	**Sampel**	**Beban maksimum**	**Luas penampang**	**Kuat tekan**	**Rata-rata**
		kN	**mm^2**	**MPa**	**MPa**
0% (Normal)	1	435	17931,590	24,259	24,161
	2	435	17671,459	24,616	
	3	425	18002,865	23,607	
4%	1	315	18169,723	17,337	18,128
	2	385	18002,865	21,385	
	3	279	17813,113	15,663	
5%	1	280	17695,028	15,824	17,005
	2	290	17979,091	16,130	
	3	340	17836,777	19,062	

Lanjutan Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi	Sampel	Beban maksimum	Luas penampang	Kuat tekan	Rata-rata
		kN	mm^2	MPa	MPa
6%	1	293	17483,466	16,759	19,534
	2	350	17553,845	19,939	
	3	385	17577,337	21,903	
7%	1	380	17460,037	21,764	19,176
	2	239	17436,625	13,707	
	3	395	17907,864	22,057	
8%	1	240	17789,465	13,491	15,681
	2	291	17647,905	16,489	
	3	310	18169,723	17,061	

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 5.9 Grafik Kuat Tekan Rata-rata Beton

(Sumber: Hasil Pengujian)

Dari hasil penelitian yang ditunjukkan melalui Tabel 5.16 didapatkan nilai kuat tekan rata-rata dari variasi 0%, 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% secara berturut-turut

sebesar 24,161 MPa, 18,128 Mpa, 17,005 MPa, 19,534 MPa, 19,176 MPa, dan 15,681 MPa. Didapatkan nilai kuat tekan beton normal sebesar 24,161 MPa yang sudah mencapai kuat tekan rencana sebesar 20 MPa. Nilai kuat tekan maksimum yang didapatkan dari tiap variasi yang disubstitusi dengan serbuk cangkang kerang hijau terdapat pada variasi 6% yaitu sebesar 19,534 MPa. Meskipun demikian, kekuatan beton pada variasi tersebut masih di bawah kekuatan beton normal.

5.4.4 Pengujian Kuat Tarik Beton

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian kuat tarik pada beton yang berusia 28 hari. Perhitungan kuat tarik beton dapat dilakukan dengan Persamaan 3.2. Uraian perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Variasi 0%
   a. Sampel 1

      Beban maksimum (P) = 160 kN
      = 160.000 N
      Diameter (D) = 150 mm
      Panjang benda uji (L) = 303,5 mm
      Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 160.000}{\pi \times 303{,}5 \times 150}$
      = 2,237 MPa

   b. Sampel 2

      Beban maksimum (P) = 174 kN
      = 174.000 N
      Diameter (D) = 152,2 mm
      Panjang benda uji (L) = 300,4 mm
      Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 174.000}{\pi \times 300{,}4 \times 152{,}2}$
      = 2,423 MPa

   c. Sampel 3

      Beban maksimum (P) = 184 kN
      = 184.000 N
      Diameter (D) = 151,7 mm
      Panjang benda uji (L) = 304,2 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) $= \frac{2 \times 184.000}{\pi \times 304{,}2 \times 151{,}7}$

$= 2{,}538$ MPa

d. Rata-rata

Kuat tarik rata-rata $= \frac{2{,}237+2{,}423+2{,}538}{3}$

$= 2{,}400$ Mpa

2. Variasi 4%

a. Sampel 1

Beban maksimum (P) = 176 kN

= 176.000 N

Diameter (D) = 148,3 mm

Panjang benda uji (L) = 300,6 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) $= \frac{2 \times 176.000}{\pi \times 300{,}6 \times 148{,}3}$

$= 2{,}513$ MPa

b. Sampel 2

Beban maksimum (P) = 158 kN

= 158.000 N

Diameter (D) = 149,9 mm

Panjang benda uji (L) = 300,5 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) $= \frac{2 \times 158.000}{\pi \times 300{,}5 \times 149{,}9}$

$= 2{,}233$ MPa

c. Sampel 3

Beban maksimum (P) = 178 kN

= 178.000 N

Diameter (D) = 150,3 mm

Panjang benda uji (L) = 304,2 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) $= \frac{2 \times 178.000}{\pi \times 304{,}2 \times 150{,}3}$

$= 2{,}478$ MPa

d. Rata-rata

Kuat tarik rata-rata $= \frac{2,513+2,233+2,478}{3}$

$= 2,408$ Mpa

3. Variasi 5%

a. Sampel 1

Beban maksimum (P) = 134 kN

= 134.000 N

Diameter (D) = 151,8 mm

Panjang benda uji (L) = 302,8 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) $= \frac{2 \times 134.000}{\pi \times 302,8 \times 151,8}$

= 1,856 MPa

b. Sampel 2

Beban maksimum (P) = 169 kN

= 169.000 N

Diameter (D) = 151,1 mm

Panjang benda uji (L) = 300,2 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) $= \frac{2 \times 169.000}{\pi \times 300,2 \times 151,1}$

= 2,372 MPa

c. Sampel 3

Beban maksimum (P) = 152 kN

= 152.000 N

Diameter (D) = 149,3 mm

Panjang benda uji (L) = 298,2 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) $= \frac{2 \times 152.000}{\pi \times 298,2 \times 149,3}$

= 2,173 MPa

d. Rata-rata

Kuat tarik rata-rata $= \frac{1,856+2,372+2,173}{3}$

$= 2,134$ Mpa

4. Variasi 6%
   a. Sampel 1

      Beban maksimum (P) = 165 kN
      = 165.000 N
      Diameter (D) = 151,8 mm
      Panjang benda uji (L) = 302,7 mm
      Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 165.000}{\pi \times 302{,}7 \times 151{,}8}$
      = 2,286 MPa

   b. Sampel 2

      Beban maksimum (P) = 154 kN
      = 154.000 N
      Diameter (D) = 151,5 mm
      Panjang benda uji (L) = 299,9 mm
      Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 154.000}{\pi \times 299{,}9 \times 151{,}5}$
      = 2,158 MPa

   c. Sampel 3

      Beban maksimum (P) = 175 kN
      = 175.000 N
      Diameter (D) = 151,4 mm
      Panjang benda uji (L) = 303,3 mm
      Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 175.000}{\pi \times 303{,}3 \times 151{,}4}$
      = 2,426 MPa

   d. Rata-rata

      Kuat tarik rata-rata = $\frac{2{,}286+2{,}158+2{,}426}{3}$
      = 2,290 Mpa

5. Variasi 7%
   a. Sampel 1

      Beban maksimum (P) = 135 kN
      = 135.000 N

Diameter (D) = 150,4 mm

Panjang benda uji (L) = 299,1 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 135.000}{\pi \times 299{,}1 \times 150{,}4}$

= 1,911 MPa

b. Sampel 2

Beban maksimum (P) = 165 kN

= 165.000 N

Diameter (D) = 149 mm

Panjang benda uji (L) = 302,3 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 165.000}{\pi \times 302{,}3 \times 149}$

= 2,332 MPa

c. Sampel 3

Beban maksimum (P) = 175 kN

= 175.000 N

Diameter (D) = 151 mm

Panjang benda uji (L) = 303,5 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 135.000}{\pi \times 303{,}5 \times 151}$

= 2,431 MPa

d. Rata-rata

Kuat tarik rata-rata = $\frac{1{,}911+2{,}332+2{,}431}{3}$

= 2,225 Mpa

6. Variasi 8%

a. Sampel 1

Beban maksimum (P) = 124 kN

= 124.000 N

Diameter (D) = 152,9 mm

Panjang benda uji (L) = 303,5 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 124.000}{\pi \times 303{,}5 \times 152{,}9}$

= 1,701 MPa

b. Sampel 2

Beban maksimum (P) = 154 kN

= 154.000 N

Diameter (D) = 150,5 mm

Panjang benda uji (L) = 302,2 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 154.000}{\pi \times 302{,}2 \times 150{,}5}$

= 2,156 MPa

c. Sampel 3

Beban maksimum (P) = 128 kN

= 128.000 N

Diameter (D) = 148,2 mm

Panjang benda uji (L) = 302,7 mm

Kuat tarik belah (f_{ct}) = $\frac{2 \times 128.000}{\pi \times 302{,}7 \times 148{,}2}$

= 1,816 MPa

d. Rata-rata

Kuat tarik rata-rata = $\frac{1{,}701+2{,}156+1{,}816}{3}$

= 1,891 Mpa

Rekapitulasi hasil perhitungan kuat tarik belah tiap variasi dapat dilihat melalui Tabel 5.18 sebagai berikut.

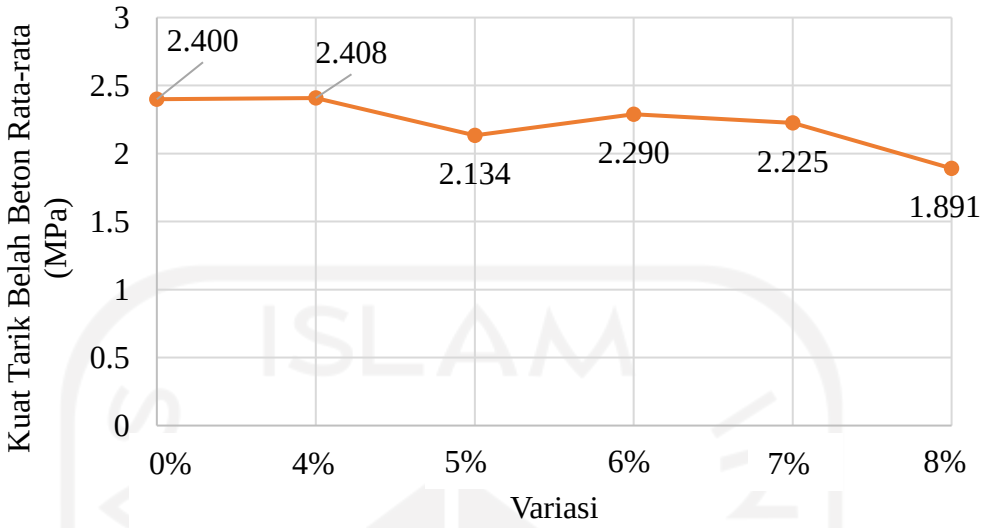
Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Variasi	Sampel	Beban maksimum	Diameter	Panjang benda uji	Kuat tarik	Rata-rata
		kN	mm	mm	MPa	MPa
0%	1	160	150	303,5	2,237	2,400
	2	174	152,2	300,4	2,423	
	3	184	151,7	304,2	2,538	

Lanjutan Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Variasi	Sampel	Beban maksimum	Diameter	Panjang benda uji	Kuat tarik	Rata-rata
		kN	mm	mm	MPa	MPa
4%	1	176	148,3	300,6	2,513	2,408
	2	158	149,9	300,5	2,233	
	3	178	150,3	304,2	2,478	
5%	1	134	151,8	302,8	1,856	2,134
	2	169	151,1	300,2	2,372	
	3	152	149,3	298,2	2,173	
6%	1	165	151,8	302,7	2,286	2,290
	2	154	151,5	299,9	2,158	
	3	175	151,4	303,3	2,426	
7%	1	135	150,4	299,1	1,911	2,225
	2	165	149	302,3	2,332	
	3	175	151	303,5	2,431	
8%	1	124	152.9	303,5	1,701	1,891
	2	154	150.5	302,2	2,156	
	3	128	148.2	302,7	1,816	

Sumber: Hasil Pengujian



Gambar 5.10 Kuat Tarik Belah Rata-rata Beton

(Sumber: Hasil Pengujian)

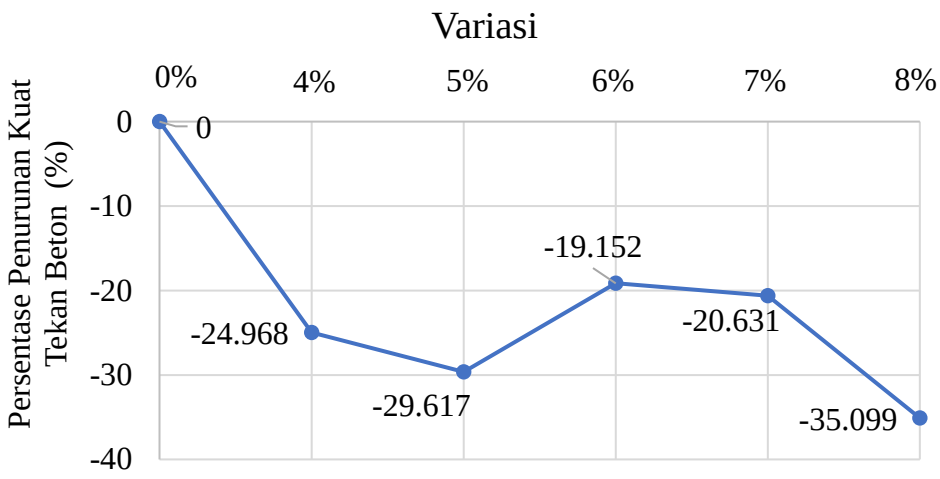
Dari hasil penelitian yang ditunjukkan melalui Tabel 5.17 didapatkan nilai kuat tarik belah rata-rata dari variasi 0%, 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% secara berturut-turut sebesar 2,400 MPa, 2,408 Mpa, 2,134 MPa, 2,290 MPa, 2,225 MPa, dan 1,891 MPa. Nilai kuat tarik belah beton variasi yang disubstitusi dengan serbuk cangkang kerang hijau yang setara dengan kuat tarik belah beton normal didapatkan pada variasi 4% yaitu sebesar 2,408 MPa.

5.5 Pembahasan Hasil Pengujian Beton

Dalam pengujian slump yang dapat dilihat melalui Tabel 5.15, didapatkan hasil bahwa persentase variasi substitusi sebagian semen menggunakan serbuk cangkang kerang hijau yang semakin tinggi menyebabkan nilai slump semakin rendah. Hal ini berkaitan dengan komposisi dari cangkang kerang hijau yang memiliki persentase kandungan kapur yang lebih tinggi dibandingkan dengan semen *portland*. Cangkang kerang hijau memiliki kandungan kapur sebesar 95,69% sedangkan semen *portland* memiliki kandungan kapur sebesar 63%. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Mulyono (2007) dengan hasil berupa semakin besar kadar kapur dalam campuran beton akan menurunkan tingkat kemudahan dari pekerjaan (*workability*). Kemudahan dari pekerjaan disebabkan

oleh daya serap air yang semakin besar. Kandungan serbuk kapur pada cangkang kerang yang lebih tinggi menyebabkan kemampuan penyerapan air yang tinggi (Asbiartha dkk., 2022).

Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil kuat tekan rata-rata dari tiap variasi yaitu 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% mengalami penurunan dari kuat tekan beton normal (0%) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



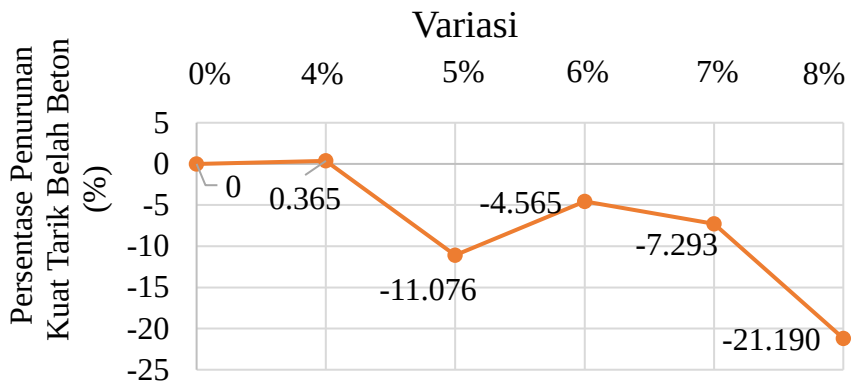
Gambar 5.11 Grafik Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton

(Sumber: Penulis)

Penurunan kuat tekan dibandingkan dengan beton normal pada variasi tersebut secara berturut-turut terjadi sebesar -24,968%; -29,617%; -19,152%; -20,631%; dan -35,099%. Tetapi jika dilihat melalui Tabel 5.17, pada variasi 6% yaitu sampel 3 menunjukkan ketercapaian target rencana beton sebesar 20 MPa yaitu sebesar 21,903 MPa. Begitu pula pada variasi 7% yakni sampel 1 dan sampel 3 juga menunjukkan hal serupa dengan nilai kuat tekan sebesar 21,764 MPa dan 22,057 MPa. Hal ini dapat memperkuat dugaan bahwa adanya ketidakseragaman hasil kuat tekan pada sampel dari rata-rata nilai kuat tekan beton pada variasi 6% dan 7%.

Dari pengujian kuat tarik belah didapatkan adanya hasil kuat tarik belah yang setara dengan kuat tarik belah beton normal yaitu pada variasi 4%. Setelah itu, pada variasi 5%, 6%, 7%, dan 8% nilai kuat tarik belah pada beton mengalami penurunan

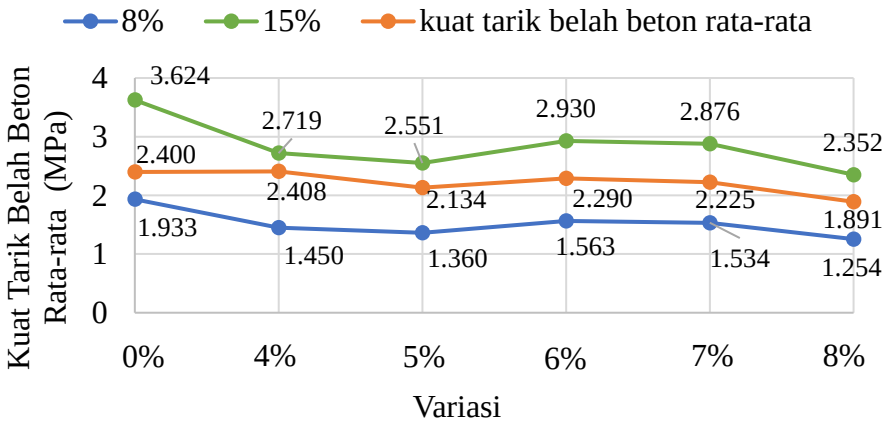
dari kuat tarik belah rata-rata beton normal seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



Gambar 5.12 Grafik Persentase Penurunan Kuat Tarik Belah Beton

(Sumber: Penulis)

Penurunan nilai kuat tarik belah beton dari variasi 5%, 6%, 7%, dan 8% secara berturut-turut sebesar -11,076%; -4,565%; -7,293%; dan -21,190%. Dari sampel yang ada pada Tabel 5.18, diketahui hasil kuat tarik belah beton rata-rata masuk ke dalam rentang *general formula* yaitu nilai dari kuat tarik belah beton adalah 8% hingga 15% dari nilai kuat tekannya (Amrinsyah, 2009) yang dapat dilihat melalui Gambar 5.13 sebagai berikut.



Gambar 5.13 Grafik Kuat Tarik Belah Beton Dibandingkan dengan *General Formula*

(Sumber: Penulis)

Turunnya kekuatan beton berkaitan dengan kandungan silika (SiO_2) yang dimiliki serbuk cangkang kerang hijau. Jika dibandingkan dengan kandungan silika pada semen *portland*, cangkang kerang hijau memiliki kadar silika yang relatif rendah. Semen *portland* memiliki kadar silika sebesar 22%, sedangkan cangkang kerang hijau hanya memiliki kadar silika sebesar 0,22%. Silika merupakan salah satu senyawa dalam semen *portland* yang membentuk senyawa utama berupa Trikalsium Silikat (C_3S) dan Dikalsium Silikat (C_2S). C_3S dan C_2S merupakan senyawa yang memiliki sifat perekat (Paul & Antoni, 2007). Hal ini dibuktikan melalui kondisi benda uji setelah pembebanan pada pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Terdapat agregat kasar yang terlepas dari benda uji akibat dari kurangnya daya rekat antar agregat yang dapat dilihat pada Gambar 5.14 sebagai berikut.



Gambar 5.14 Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian

(Sumber: Hasil Pengujian)

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Andika dan Safarizki (2019) memiliki perbedaan pada jenis cangkang kerang yang digunakan. Pada penelitian tersebut jenis cangkang kerang yang digunakan adalah kerang dara dengan persentase senyawa kimia yaitu CaO sebesar 67,072%, SiO_2 sebesar 8,252%, Fe_2O_3 sebesar 0,402%, MgO sebesar 22,652%, dan Al_2O_3 sebesar 1,622%. Diketahui melalui senyawa kimia cangkang kerang dara, kerang jenis ini memiliki kandungan

kapur (CaO) yang lebih kecil namun memiliki kandungan silika (SiO_2) yang lebih tinggi dari cangkang kerang hijau. Hasil dari penelitian ini ditemukan kadar optimum yang dapat menaikkan kekuatan beton dari kekuatan beton normal yaitu pada kadar 5% dan 7,5% adalah sebesar 29,1 MPa dan 23,9 MPa.

Senyawa $CaCO_3$ juga dapat mempengaruhi kekuatan beton. Penggunaan $CaCO_3$ dapat menaikkan kekuatan beton jika digunakan dengan kadar yang tepat. Kadar $CaCO_3$ yang semakin besar menyebabkan menurunnya kekuatan beton. Hal ini disebabkan oleh kandungan $CaCO_3$ dapat menghasilkan energi panas sehingga dapat mempercepat proses hidrasi (Sofian dkk., 2019). Proses hidrasi yang terjadi secara cepat dapat menyebabkan beton berpotensi retak akibat susut kering beton. Selain itu, kondisi saat dilakukannya pencampuran dari campuran beton juga dapat memengaruhi kekuatan beton.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta pembahasannya, maka diperoleh kesimpulan yaitu sebagai berikut.

1. Pengaruh dari serbuk cangkang kerang hijau adalah dapat menaikkan kekuatan beton jika digunakan dengan kadar yang tepat. Penggunaannya dengan kadar yang semakin besar dapat menurunkan kekuatan beton.
2. Tidak ditemukan persentase optimum dari beberapa variasi serbuk cangkang kerang hijau sebagai substitusi sebagian semen yang diuji pada pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton karena hasil yang didapatkan masih di bawah kuat tekan dan kuat tarik belah beton normal. Meskipun demikian, didapatkan nilai kuat tekan terbesar dari beberapa variasi yaitu pada kadar 6% sebesar 19,534 MPa dan didapatkan nilai kuat tarik belah beton yang setara dengan beton normal pada kadar 4% yakni sebesar 2,408 MPa.

6.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, masih didapatkan beberapa kekurangan. Oleh karena itu, saran yang dapat diberikan melalui penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi optimum serbuk cangkang kerang hijau yang dapat menaikkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton.
2. Diperlukan alat yang lebih baik untuk menghaluskan cangkang kerang hijau agar lebih mudah seperti penggunaan *stone crusher* untuk penghancuran kulit kerang disertai mesin *disk mill* (alat penepung) atau *hammer mill* (alat penepung dengan kapasitas besar) untuk penghalusan cangkang kerang hijau.
3. Diperlukan penambahan benda uji (lebih dari 3 benda uji per pengujian) untuk menghindari hasil kuat tekan dan kuat tarik belah beton yang tidak terlalu seragam

DAFTAR PUSTAKA

Andika, R., & Safarizki, H. A. (2019). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (Anadara Granosa) Sebagai Bahan Tambah Dan Komplemen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, *1*(1), 1–6.

Asbiartha, P., Alfa, A., Gasali M, 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. *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Indragiri Hilir*, *8*(1), 48–56. https://doi.org/10.47521/selodangmayang.v8i1.246

Badan Pusat Statistik. (2020). *Statistik Ekspor Hasil Perikanan Tahun 2015 - 2019*. Direktorat Jenderal Penguatan Daya Saing Produk Kelautan dan Perikanan.

Badan Pusat Statistik. (2021). Berita Resmi Statistik. *Bps.Go.Id*, *7*(1), 1–12.

Badan Standarisasi Nasional. (1996). *SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075 mm)*

Badan Standarisasi Nasional. (2000). *SNI 03-6468-2000 Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang*

Badan Standarisasi Nasional. (2004). *SNI 15-0302-2004 Semen Portland Pozolan*

Badan Standarisasi Nasional. (2004). *SNI 15-2049-2004 Semen Portland*

Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 7656-2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*

Badan Standarisasi Nasional. (2014). *SNI 15-7064-2014 Semen Portland Komposit*

Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan*

Balintbang PU. (1990). *SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*

Balintbang PU. (1990). *SNI 03-1969-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*

Balintbang PU. (1990). *SNI 03-1970-1990 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*

Cappenberg, H. A. W. (2008). Beberapa Aspek Biologi Kerang Hijau Perna viridis Linnaeus 1758. *Oseana*, *33*(1), 33–40.

Darwin, D., Mindess, S., & Young, J. . (2003). *Concrete*. Prentice Hall.

DPU. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia PBI NI-2 1971*

DPU. (1982). *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia PUBI 1982*

Gregoire C. (1972). *Structure of Mollusca Shell. Di dalam: Florkin M, Scheer BT,* editor (7 ed.). Academic Press.

Liemawan, A. E., Tavio, T., & Raka, I. G. P. (2015). Pemanfaatan Limbah Kerang Hijau (Perna Viridis L.) Sebagai Bahan Campuran Kadar Optimum Agregat Halus Pada Beton Mix Design Dengan Metode Substitusi. *Jurnal Teknik ITS*, *4*(1), F128–F133.

Maulana, S. (2017). Pengaruh Substitusi Semen Dengan Abu Cangkang Kerang Lokan (Galolnia Expansa) Dan Penambahan Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, *5*(Vol 5 No 2 (2017): FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)), 108–123.

Mulyono, T. (2007). Kapur Sebagai Bahan Tambah Untuk Beton Normal. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, *2*(1), 11. https://doi.org/10.21009/jmenara.v2i1.7875

Nasution, A. (2009). *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*. Penerbit ITB.

Nika, J. W., Anisah, A., & Saleh, R. (2019). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Hijau Dengan Variasi Suhu Pembakaran Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Pembuatan Beton. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, *14*(1), 10–18.

Paul, N., & Antoni. (2007). *Teknologi Beton* (1 ed.). Andi.

Purnama, A. H., Tjaronge, M. W., & Djamaluddin, A. R. (2016). *Studi Eksperimental Kuat Tarik Belah Beton Yang Menggunakan Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar*. *Universitas Hasanuddin Journal*.

Putra, H. (2021). *Beton Sebagai Material Konstruksi* (1 ed.). Gre Publishing.

Rahmadi, S., Abdi, F. N., & Haryanto, B. (2017). *Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Palu dan Agregat Halus Pasir Mahakam*. 37–45.

Simatupang, R. M., Nuralinah, D., & Remayanti, C. (2016). *Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Antara Hammer Test, Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Dan Compression Test*. *Rekayasa Sipil*, *10*(1), 26–32.

Siregar, S. M., & Dharma S, A. (2009). Pemanfaatan Kulit Kerang Dan Resin Epoksi Terhadap Karakteristik Beton Polimer. *Pemanfaatan Kulit Kerang Dan Resin Epoksi Terhadap Karakteristik Beton Polimer*, 1–74.

Sofian, A., Ramadhan, A. B., & Arrosyid, A. (2019). Analisis Pengaruh Campuran Fly Ash, Sikament NN dan Serbuk CaCO3 Pada Beton Terhadap Nilai Kuat Tekan Awal Beton. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, *2*(2), 31–41.

Sujatmiko, B. (2019). *Teknologi Beton dan Bahan Bangunan*. MediaSahabat Cendikia.

Susanti, D. P. (2017). *Pengaruh Penambahan Limbah Kulit Kerang Hijau Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton*. Universitas Brawijaya.

Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Nafiri.

Tjokrodimulyo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit.

Wijaya, D., & Sumiyanto, J. (2013). *Kajian Kuat Tekan Beton Dengan Kalsium Karbonat Sebagai Substitusi Sebagian Portland Cement*. Jurnal Tugas Akhir, 1–4.

Zuraidah, S., S, L. O. A., Hastono, B., & Soemantoro. (2015). *Limbah Cangkang Kerang Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton*. 117–124.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Laporan Sementara Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS (SNI 03-1970-1990)

Uraian		Hasil Pengujian		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Pasir Kering Mutlak,	gr	493	492	-
Berat Pasir Jenuh Kering Muka (SSD),	gr	500	500	-
Berat Piknometer berisi Pasir dan Air,	gr	1017	1027	-
Berat Piknometer berisi Air,	gr	710	714	-
Berat Jenis Curah		2,554	2,631	2,593
Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD		2,591	2,674	2,632
Berat Jenis Semu		2,651	2,749	2,700
Penyerapan Air,	%	1,420	1,626	1,523

Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 2. Laporan Sementara Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS SAMPEL 1
(SNI 03-1968-1990)

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	8	0,40	0,40	99,60
2,40	101	5,05	5,45	94,55
1,20	225	11,25	16,70	83,30
0,60	531	26,55	43,25	56,75
0,30	586	29,30	72,55	27,45
0,15	448	22,40	94,95	5,05
Sisa	101	5,05	100	0
Jumlah	2000	100	233,3	366,7

Modulus Halus Butir = $\frac{233,3}{100}$ = 2,333

Lampiran 3. Laporan Sementara Gambar Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

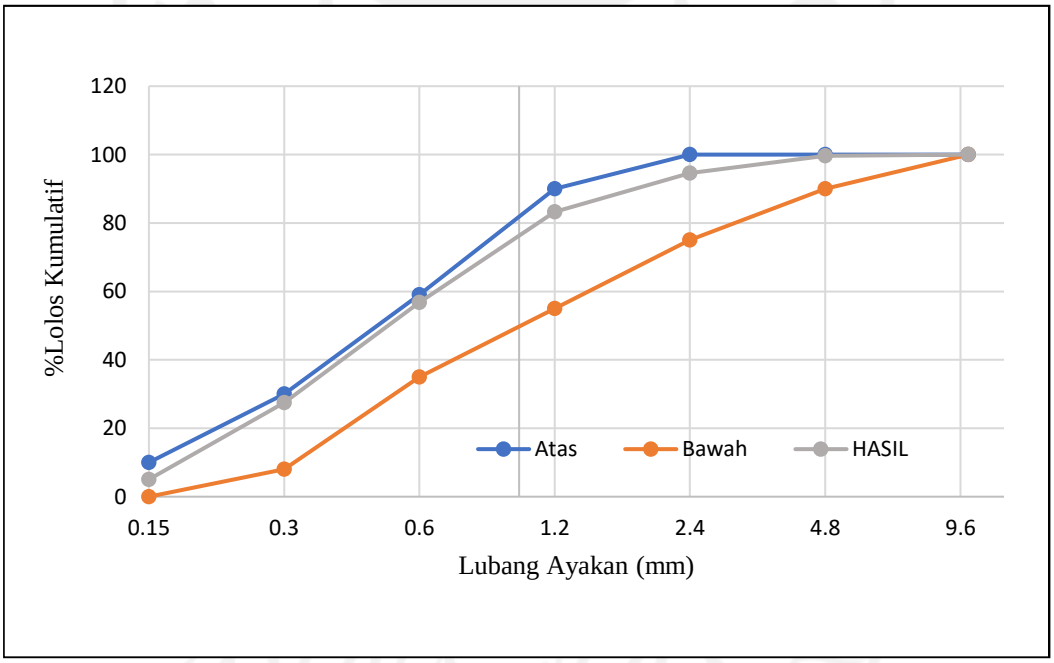
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS SAMPEL 1
(SNI 03-1968-1990)

Hasil Analisa Saringan:

- Pasir masuk daerah : II
- Jenis pasir : Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 4. Laporan Sementara Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS SAMPEL 2
(SNI 03-1968-1990)

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	11	0,55	0,55	99,45
2,40	89	4,45	5,00	95,00
1,20	218	10,90	15,90	84,10
0,60	527	26,35	42,25	57,75
0,30	592	29,60	71,85	28,15
0,15	459	22,95	94,80	5,20
Sisa	104	5,20	100	0
Jumlah	2000	100	230,35	369,65

Modulus Halus Butir = $\frac{230,35}{100}$ = 2,304

Lampiran 5. Laporan Sementara Gambar Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

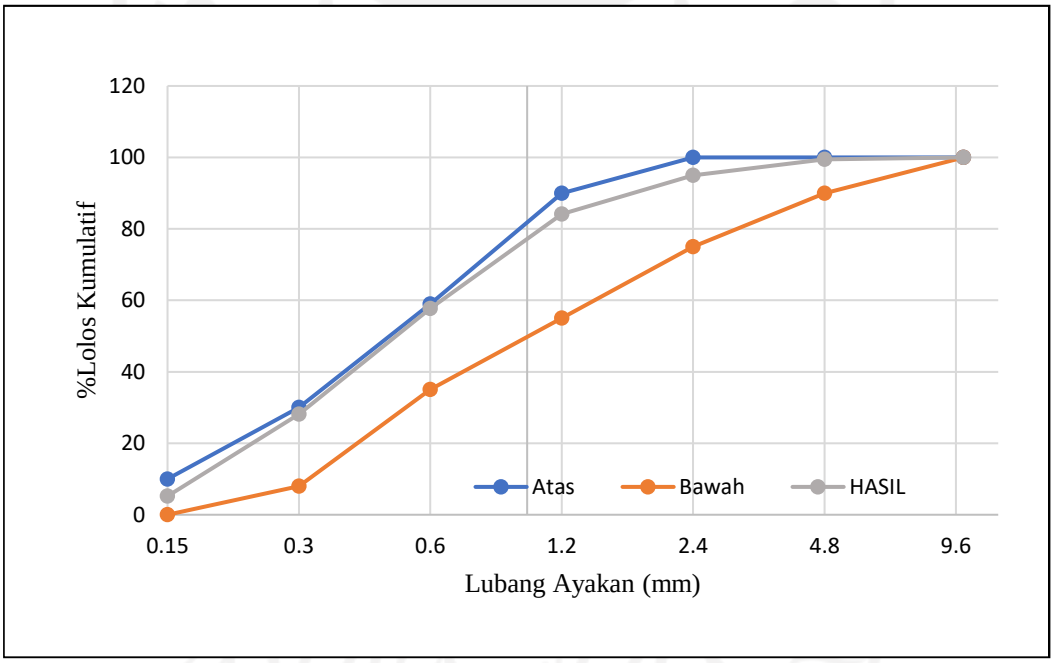
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS SAMPEL 2
(SNI 03-1968-1990)

Hasil Analisa Saringan:

- Pasir masuk daerah : II
- Jenis pasir : Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 6. Laporan Sementara Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS (SNI 03-4804-1998)

Uraian		Hasil Pengujian		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung,	gr	10724	10724	-
Berat Tabung + Agregat Kering,	gr	17812	17705	-
Berat Agregat,	gr	7088	6981	-
Volume Tabung,	cm^3	5269,348	5269,348	-
Berat Volume Gembur,	gr/cm^3	1,345	1,325	1,335

Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 7. Laporan Sementara Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)

Uraian		Hasil Pengujian		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung,	gr	10724	10724	-
Berat Tabung + Agregat Kering,	gr	18631	18790	-
Berat Agregat,	gr	7907	8066	-
Volume Tabung,	cm^3	5269,348	5269,348	-
Berat Volume Padat,	gr/cm^3	1,501	1,531	1,516

Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 8. Laporan Sementara Pengujian Kadar Lumpur dalam Pasir

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO.200
/UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR
(SNI 03-4142-1996)

Uraian		Hasil Pengujian		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven,	gr	500	500	-
Berat Agregat Kering Oven setelah Dicuci,	gr	494	497	-
Berat Kandungan Lumpur,	%	1,2	0,6	0,9

Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 9. Laporan Sementara Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR (SNI 03-1969-1990)

Uraian		Hasil Pengujian		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil Kering Mutlak,	gr	4926	4932	-
Berat Kerkikil Jenuh Kering Muka (SSD),	gr	5000	5000	-
Berat Kerikil dalam Air,	gr	3072	3076	-
Berat Jenis Curah		2,555	2,563	2,559
Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)		2,593	2,599	2,596
Berat Jenis Semu		2,657	2,657	2,657
Penyerapan Air,	%	1,502	1,379	1,440

Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 10. Laporan Sementara Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm Sampel 1

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM
SAMPEL 1
(SNI 03-1968-1990)

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100
20,00	29	0,580	0,580	99,420
10,00	3686	73,720	74,300	25,700
4,80	1253	25,060	99,360	0,640
2,40	4	0,080	99,440	0,560
1,20	0	0	99,440	0,560
0,60	0	0	99,440	0,560
0,30	0	0	99,440	0,560
0,15	0	0	99,440	0,560
Sisa	28	0,560	100	0
Jumlah	5000	100	671,440	228,560

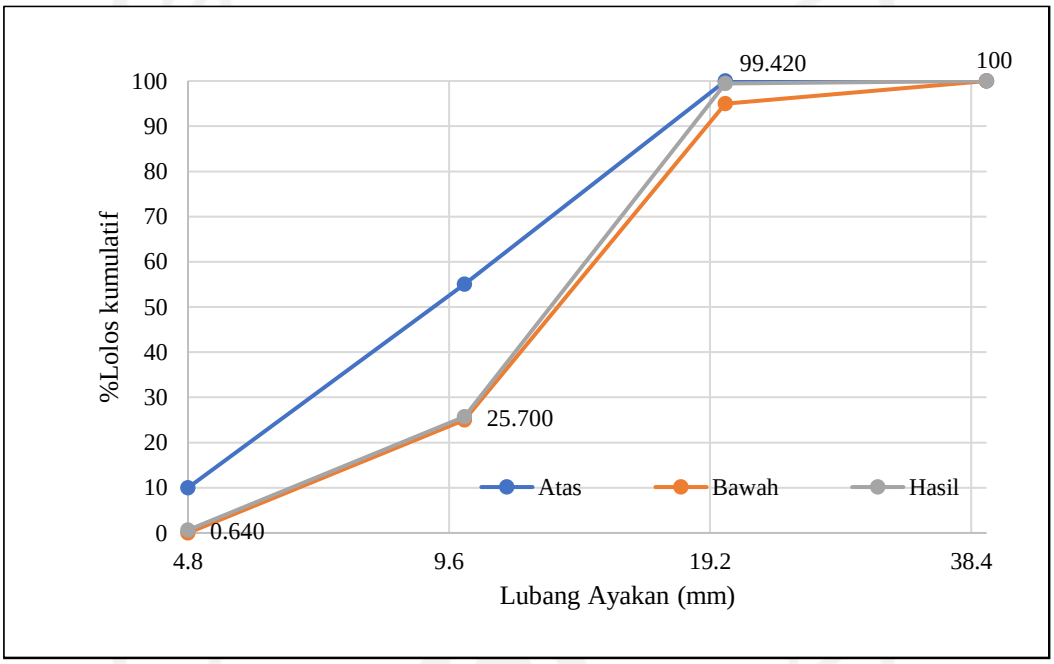
Modulus Halus Butir = $\frac{671,440}{100}$ = 6,714

Lampiran 11. Laporan Sementara Gambar Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm Sampel 1

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM
SAMPEL 1
(SNI 03-1968-1990)

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM



Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 12. Laporan Sementara Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm Sampel 2

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM
SAMPEL 2
(SNI 03-1968-1990)

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100
20,00	31	0,620	0,620	99,380
10,00	3682	73,640	74,260	25,740
4,80	1253	25,060	99,320	0,680
2,40	4	0,080	99,400	0,600
1,20	0	0	99,400	0,600
0,60	0	0	99,400	0,600
0,30	0	0	99,400	0,600
0,15	0	0	99,400	0,600
Sisa	30	0,600	100	0
Jumlah	5000	100	671,200	228,800

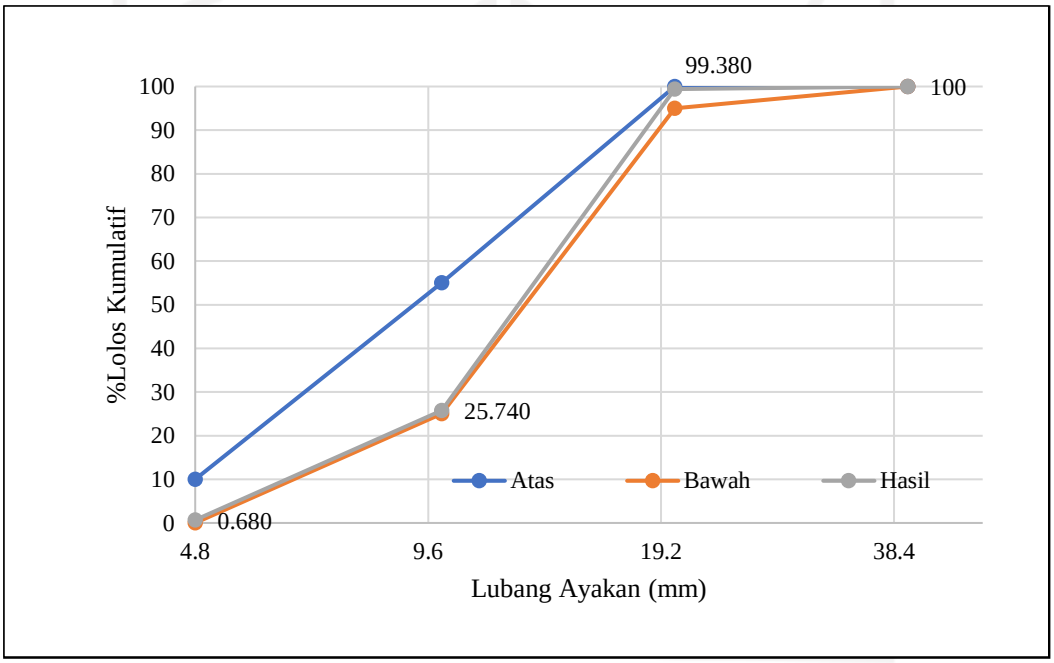
Modulus Halus Butir = $\frac{671,200}{100}$ = 6,712

Lampiran 13. Laporan Sementara Gambar Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm Sampel 2

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM
SAMPEL 2
(SNI 03-1968-1990)

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM



Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 14. Laporan Sementara Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR (SNI 03-4804-1998)

Uraian		Hasil Pengujian		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung,	gr	5232	5232	-
Berat Tabung + Agregat Kering	gr	12344	12327	-
Berat Agregat,	gr	7112	7095	-
Volume Tabung,	cm^3	5207,606	5207,606	-
Berat Volume Gembur,	gr/cm^3	1,366	1,362	1,364

Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 15. Laporan Sementara Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR (SNI 03-4804-1998)

Uraian		Hasil Pengujian		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung,	gr	5232	5232	-
Berat Tabung + Agregat Kering	gr	13019	13023	-
Berat Agregat,	gr	7787	7791	-
Volume Tabung,	cm^3	5207,606	5207,606	-
Berat Volume Padat,	gr/cm^3	1,495	1,496	1,496

Dikerjakan oleh
Mahasiswa

(Dyah Ayu Kusuma Wardani)

Lampiran 16. Laporan Sementara Pengujian Kuat Tekan Beton

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON
(SNI 03-1974-1990)

Nama : Dyah Ayu Kusuma Wardani
NIM : 18511198
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

Variasi Benda Uji		Beban Maksimum	Diameter	Luas Penampang	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-Rata
		kN	Mm	mm²	MPa	MPa
0%	1	435	151,1	17931,590	24,259	24,161
	2	435	150	17671,459	24,616	
	3	425	151,4	18002,865	23,607	
4%	1	315	152,1	18169,723	17,337	18,128
	2	385	151,4	18002,865	21,385	
	3	279	150,6	17813,113	15,663	
5%	1	280	150,1	17695,028	15,824	17,005
	2	290	151,3	17979,091	16,130	
	3	340	150,7	17836,777	19,062	
6%	1	293	149,2	17483,466	16,759	19,534
	2	350	149,5	17553,845	19,939	
	3	385	149,6	17577,337	21,903	
7%	1	380	149,1	17460,037	21,764	19,176
	2	239	149	17436,625	13,707	
	3	395	151	17907,864	22,057	
8%	1	240	150,5	17789,465	13,491	15,681
	2	291	149,9	17647,905	16,489	
	3	310	152,1	18169,723	17,061	

Yogyakarta, 27 Juni 2022

Diperiksa oleh,

(Darussalam, A.Md.)

Kepala Laboratorium BKT,

(Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)

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

Lampiran 17. Laporan Sementara Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpon (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON
(SNI 03-2491-2002)

Nama : Dyah Ayu Kusuma Wardani
NIM : 18511198
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

Variasi Benda Uji		Beban Maksimum	Dimensi		Kuat Tarik Belah	Kuat Tarik Belah Rata-Rata
			Panjang (L)	Diameter (D)		
		kN	mm	mm	MPa	MPa
0%	1	160	303,5	150	2,237	2,400
	2	174	300,4	152,2	2,423	
	3	184	304,2	151,7	2,538	
4%	1	176	300,6	148,3	2,513	2,408
	2	158	300,5	149,9	2,233	
	3	178	304,2	150,3	2,478	
5%	1	134	302,8	151,8	1,856	2,134
	2	169	300,2	151,1	2,372	
	3	152	298,2	149,3	2,173	
6%	1	165	302,7	151,8	2,286	2,290
	2	154	299,9	151,5	2,158	
	3	175	303,3	151,4	2,426	
7%	1	135	299,1	150,4	1,911	2,225
	2	165	302,3	149	2,332	
	3	175	303,5	151	2,431	
8%	1	124	303,5	152,9	1,701	1,891
	2	154	302,2	150,5	2,156	
	3	128	302,7	148,2	1,816	

Yogyakarta, 27 Juni 2022

Diperiksa oleh,

(Darussalam. A.Md.)

Kepala Laboratorium BKT,

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA

(Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)

Lampiran 18 Gambar Selama Pembuatan Benda Uji dan Pengujian



Gambar L-18.1 Pembersihan Cangkang Kerang Hijau



Gambar L-18.2 Penjemuran Cangkang Kerang Hijau



Gambar L-18.3 Penumbukan Cangkang Kerang Hijau



Gambar L-18.4 Penghalusan Cangkang Kerang Hijau



Gambar L-18.5 Serbuk Cangkang Kerang Hijau



Gambar L-18.6 Pemeriksaan *Slump* Campuran Beton



Gambar L-18.7 Penumbukan Campuran Beton



L-18.8 Pelepasan Cetakan Silinder Beton



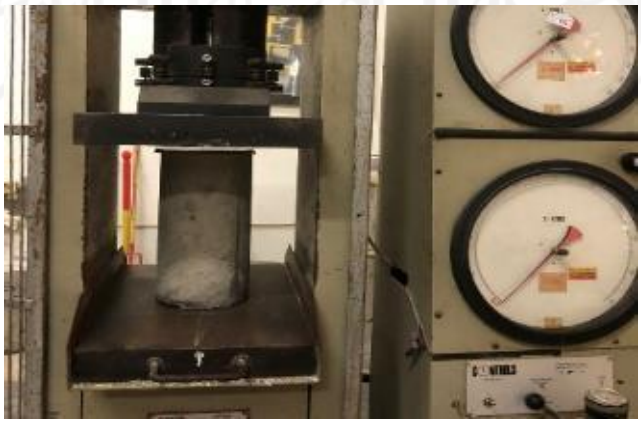
L-18.9 Perendaman Benda Uji



L-18.10 Pengeringan Benda Uji



L-18.11 Pemasangan *Caping* pada Benda Uji



L-18.12 Pengujian Kuat Tekan Beton



L-18.13 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton



L-18.14 Hasil Benda Uji setelah Pengujian Tekan



L-18.15 Hasil Benda Uji setelah Pengujian Kuat Tarik Belah