

TUGAS AKHIR

PENAMBAHAN ABU CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN BAHAN TAMBAH *SILICA GEL* DITINJAU DARI KEKUATAN TARIK BELAH BETON SILINDER

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD YUSRIL CHAIR

1607210067



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Kapten Mucthar Basri No.3 Medan 20238 (061) 6622400

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Muhammad Yusril Chair
NPM : 1607210067
Program Studi : Teknik Sipil
Judul skripsi : Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit Dengan Bahan
Tambah *Silica Gel* Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Belah Beton
Silinder
Bidang ilmu : Struktur

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada

Panitia Ujian

Dosen Pembimbing

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, M.Sc

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Yusril Chair

NPM : 1607210067

Program Studi : Teknik Sipil

Judul skripsi : Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit Dengan Bahan
Tambah *Silica Gel* Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Belah Beton
Silinder

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Dr. Fahrizal Zulkarnain , S.T, M.

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. Ade Faisal, ST, Msc

Dosen Pembanding II / Penguji



Rizki Efrida, ST, MT

Program Studi Teknik Sipil

Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Yusril Chair

Tempat/Tanggal Lahir : Jakarta, 23 Februari 1999

NPM : 1607210067

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit Dengan Bahan Tambah *Silica Gel* Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Belah Beton Silinder”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2020

Saya yang menyatakan,



Muhammad Yusril Chair

ABSTRAK

PENAMBAHAN ABU CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN BAHAN TAMBAH *SILICA GEL* DITINJAU DARI KEKUATAN TARIK BELAH BETON SILINDER

(Studi Penelitian)

Muhammad Yusril Chair

1607210067

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, M.Sc

Saat ini limbah padat berupa cangkang kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk mesin penggilingan minyak sawit dan sebagai bahan bakar mesin gasifikasi untuk menghasilkan gas bakar yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan energi untuk *Asphalt Mixing Plant*. Hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit berupa abu kerak boiler, merupakan limbah yang memiliki unsur kimia SiO₂, Al₂O₃, dan CaO, dengan kandungan senyawa tersebut dapat berpengaruh dalam kekuatan beton dan mampu meningkatkan kekuatannya. Pada penelitian ini, mutu campuran beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah sebesar 26 MPa. Pengujian bertujuan untuk mengetahui kadar optimum penggunaan abu cangkang kelapa sawit dan *silica gel* sebagai bahan tambah semen yang berkaitan dengan kuat tarik belah beton. Pengujian dilakukan terhadap tiga jenis variasi penambahan abu cangkang kelapa sawit dan agregat normal yaitu 15%, 20, dan 25%. Benda uji untuk pengujian kuat tarik belah adalah silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Hasil penelitian menunjukkan penambahan abu cangkang kelapa sawit dan *silica gel* meningkatkan nilai *slump* dan nilai kuat tarik belah beton. Hasil analisis menunjukkan kuat tarik belah optimum beton dengan komposisi yang mengandung abu cangkang kelapa sawit dan *silica gel* 25% yakni 4,88 MPa.

Kata kunci : Abu cangkang kelapa sawit, silica gel, beton, kuat tarik belah

ABSTRACT

ADDITION OF PALM OIL SHELL ASH WITH ADDITIONAL MATERIALS OF SILICA GEL AS REVIEWED FROM CYLINDER CONCRETE PULLING STRENGTH

(Research Studies)

Muhammad Yusril Chair

1607210067

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, M.Sc

Currently solid waste in the form of palm oil shells is used as boiler fuel for palm oil milling machines and as fuel for gasification machines to produce fuel gas which can be used for various energy purposes for the Asphalt Mixing Plant. The result of burning oil palm shell waste in the form of boiler crust ash, is a waste that has chemical elements of SiO₂, Al₂O₃, and CaO, with the content of these compounds which can affect the strength of concrete and can increase its strength. In this study, the quality of the planned concrete mixture at the age of 28 days is 26 MPa. The test aims to determine the optimum level of use of oil palm shell ash and silica gel as cement additives related to the tensile strength of concrete. Tests were carried out on three types of variations in the addition of oil palm shell ash and normal aggregates, namely 15%, 20, and 25%. The test object for the split tensile strength test is a cylinder with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm. The results showed the addition of oil palm shell ash and silica gel increased the slump value and the split tensile strength value of the concrete. The analysis results show the optimum tensile strength of concrete with a composition containing oil palm shell ash and 25% silica gel, namely 4.88 MPa

Key words: Palm shell ash, silica gel, concrete, split tensile strength

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit Dengan Bahan Tambah Silica Gel Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Belah Beton Silinder (Studi Penelitian)” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, Selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Ade Faisal, ST, Msc, Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Elfrida, S.T., MT, Selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansuri Siregar, S.T., M.Sc, Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
6. Bapak/Ibu staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta dan Ibunda tercinta yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada penulis.
8. Teristimewa sekali kepada Adinda Putri Liana Syafira Chair, Syakilla Chair, Muhammad Fahim Al-Chair yang telah memberikan dukungan serta doa kepada penulis.
9. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Sipil terutama Irfan Syukuri, Bobby Nazar, Delva Enzelya Adila Lubis, Hasanul Arifin, Togu Rahman Hasyim Lubis, Irgi Ilham Sani, Wisnu Derlangga, Eka Saputra dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 7 November 2020

Muhammad Yusril Chair

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Beton	5
2.2. Bahan Penyusun Campuran Beton	6
2.2.1. Semen	7
2.2.2. Air	8
2.2.3. Agregat	9
2.2.3.1. Agregat Halus	10
2.2.3.2. Agregat Kasar	13
2.2.4. Bahan Tambah	15
2.2.4.1. Jenis-Jenis Bahan Tambah Kimia	15
2.2.4.2. Bahan Tambah Mineral (<i>Mineral Admixture</i>)	18
2.3. Abu Cangkang Kelapa Sawit	20
2.4. Silica Gel	20

2.5. Slump Test	21
2.6. Pengujian Kuat Tarik Belah	22
2.7. Penelitian Terdahulu	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1. Metode Penelitian	25
3.1.1. Data Primer	27
3.1.2. Data Sekunder	27
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3. Bahan dan Peralatan	27
3.3.1. Bahan	27
3.3.2. Peralatan	28
3.4. Persiapan Material	29
3.5. Pemeriksaan Agregat	30
3.6. Pemeriksaan Agregat Halus	30
3.6.1. Kadar Air Agregat Halus	30
3.6.2. Kadar Lumpur Agregat Halus	31
3.6.3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	32
3.6.4. Berat Isi Agregat Halus	33
3.6.5. Analisa Saringan Agregat Halus	34
3.7. Pemeriksaan Agregat Kasar	37
3.7.1. Kadar Air Agregat Kasar	37
3.7.2. Kadar Lumpur Agregat Kasar	38
3.7.3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	39
3.7.4. Berat Isi Agregat Kasar	40
3.7.5. Analisa Saringan Agregat Kasar	41
3.7.6. Keausan Agregat Dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	43
3.8. Perencanaan Campuran Beton	44
3.9. Pelaksanaan Penelitian	44
3.9.1. <i>Trial Mix</i>	44
3.9.2. Pembuatan Benda Uji	44
3.9.3. Pengujian Slump	45
3.9.4. Perawatan Beton	45

3.9.5. Pengujian Kuat Tarik Belah	45
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Perencanaan Campuran Beton	47
4.1.1. Metode Pengerjaan Mix Design	56
4.2. Pembuatan Benda Uji	61
4.3. <i>Slump Test</i>	62
4.4. Kuat Tarik Belah Beton	64
4.4.1. Kuat Tarik Belah Beton Normal	65
4.4.2. Kuat Tarik Belah Beton Abu Cangkang Kelapa Sawit 15% Dan <i>Silica Gel</i> 8%	65
4.4.3. Kuat Tarik Belah Beton Abu Cangkang Kelapa Sawit 20% Dan <i>Silica Gel</i> 8%	66
4.4.4. Kuat Tarik Belah Beton Abu Cangkang Kelapa Sawit 25% Dan <i>Silica Gel</i> 8%	67
4.5. Pembahasan	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	
RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Batas-Batas Gradasi Untuk Agregat Halus (Pasir)	11
Tabel 2.2	Persyaratan Gradasi Agregat Kasar	15
Tabel 3.1	Data-Data Hasil Penelitian Kadar Air Halus	31
Tabel 3.2	Data-Data Hasil Penelitian Kadar Lumpur Agregat Halus	31
Tabel 3.3	Data-Data Hasil Penelitian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus	32
Tabel 3.4	Data-Data Hasil Penelitian Berat Isi Agregat Halus	33
Tabel 3.5	Data-Data Hasil Penelitian Analisa Saringan Agregat Halus	34
Tabel 3.6	Data-Data Hasil Penelitian Kadar Air Agregat Kasar	37
Tabel 3.7	Data-Data Hasil Penelitian Kadar Lumpur Agregat Kasar	38
Tabel 3.8	Data-Data Hasil Penelitian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar	39
Tabel 3.9	Data-Data Hasil Penelitian Berat Isi Agregat Kasar	40
Tabel 3.10	Data-Data Hasil Penelitian Analisa Saringan Agregat Kasar	41
Tabel 3.11	Hasil Pengujian Keausan Agregat	43
Tabel 3.12	Jumlah Variasi Sampel Pengujian Beton	45
Tabel 4.1	Data-Data Analisis Yang Diperoleh Saat Penelitian	47
Tabel 4.2	Perencanaan Campuran Beton (Sni 03-2834-2000)	48
Tabel 4.3	Hasil Perbandingan Campuran Bahan Beton tiap 1 Benda Uji Dalam 1 M ³	49
Tabel 4.4	Perbandingan Bahan Beton Untuk 1 Benda Uji (Kg)	50
Tabel 4.5	Banyak Agregat Kasar Yang Dibutuhkan Untuk Tiap Saringan Dalam 1 Benda Uji	51
Tabel 4.6	Banyak Agregat Halus Yang Dibutuhkan Untuk Tiap Saringan Dalam 1 Benda Uji	51
Tabel 4.7	Jumlah Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Agregat Halus	53
Tabel 4.8	Banyak Agregat Kasar Yang Dibutuhkan Untuk Tiap Saringan Dalam 12 Benda Uji	54
Tabel 4.9	Banyak Agregat Halus Yang Dibutuhkan Untuk	

	Tiap Saringan Dalam 12 Benda Uji	55
Tabel 4.10	Hasil Pengujian Nilai <i>Slump</i>	63
Tabel 4.11	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Normal	65
Tabel 4.12	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Abu Cangkang Kelapa Sawit 15% Dan <i>Silica Gel</i> 8%	66
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Abu Cangkang Kelapa Sawit 20% Dan <i>Silica Gel</i> 8%	67
Tabel 4.14	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Abu Cangkang Kelapa Sawit 25% Dan <i>Silica Gel</i> 8%	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daerah Gradasi Pasir Kasar	12
Gambar 2.2	Daerah Gradasi Pasir Sedang	12
Gambar 2.3	Daerah Gradasi Pasir Agak Halus	13
Gambar 2.4	Daerah Gradasi Pasir Halus	13
Gambar 2.5	Skema Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Silinder	22
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian Yang Dilaksanakan	26
Gambar 3.2	Grafik Gradasi Agregat Halus (Zona 2 Pasir Sedang)	36
Gambar 3.3	Grafik Gradasi Agregat Kasar Diameter Maksimum 40 Mm	42
Gambar 4.1	Hubungan Faktor Air Semen Dan Kuat Tekan Beton Silinder 15 X 30 Cm	57
Gambar 4.2	Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 Mm Pada Fas 0,44	58
Gambar 4.3	Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran Dan Berat Isi Beton Pada Fas 0,44	59
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Nilai <i>Slump</i>	64
Gambar 4.5	Kuat Tarik Belah Pada Benda Uji Silinder	64
Gambar 4.6	Grafik Persentase Nilai Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari	68
Gambar 4.7	Grafik Persentase Kenaikan Kuat Tarik Belah Beton 28 Hari	70

DAFTAR NOTASI

gr = Gram

FM = Modulus kehalusan

A = Berat contoh kering permukaan jenuh

C = Berat contoh SSD kering oven 110°C sampai konstan

B = Berat contoh jenuh

$C/(A-B)$ = Berat jenis contoh kering

$A/(A-B)$ = Berat jenis contoh SSD

$C/(C-B)$ = Berat jenis contoh semu

$((A-C)/C)$ = Penyerapan

cm = Centimeter

mm = Milimeter

kg = Kilogram

Mpa = Megapascal

M^3 = Meterkubik

$\pi r^2 t$ = Volume silinder

P = Beban

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton merupakan batu buatan yang memiliki kuat tekan cukup tinggi, dibuat dari campuran semen, pasir, krikil dan air. Perbaikan kualitas serta sifat beton dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain dengan mengganti maupun menambah material pokok semen dan agregat, sehingga dihasilkan beton ringan, beton berat, beton tahan kimia tertentu dan sebagainya (Suhardiman, 2011).

Mengingat Indonesia merupakan salah satu negara terbesar penghasil kelapa sawit di dunia dengan luas areal 3,76 juta Ha atau 31,4 % dari luas total kebun kelapa sawit dunia dan menghasilkan serat tandan kosong kelapa sawit mencapai 37 juta ton/tahun yang secara keseluruhan belum dimanfaatkan secara maksimal (Amna et al., 2016).

Dengan besarnya angka produksi tersebut tentu saja limbah yang dihasilkan juga banyak baik berupa limbah padat atau limbah cair. Limbah padat itu berupa tandan buah segar dan cangkang kelapa sawit. Saat ini limbah padat berupa cangkang kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk mesin penggilingan minyak sawit. Namun proses pembakaran menyisakan abu cangkang yang dibuang di dekat pabrik dan mengakibatkan penumpukan (Rahman & Fathurrahman, 2017).

Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit memiliki unsur kimia SiO_2 sebanyak 29,9%, Al_2O_3 sebanyak 1,9% dan CaO 26,9%. Dengan kandungan senyawa tersebut maka abu kerak boiler cangkang kelapa sawit dapat dikatakan memiliki sifat pozzolan memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengisi pada pembuatan beton normal. Sebab senyawa silika dalam pembuatan beton dapat berpengaruh dalam kekuatan beton dan mampu meningkatkan kekuatannya (Prianti et al., 2015).

Kandungan SiO_2 pada pasir mencapai 90 % oleh karena itu penelitian ini akan mengkaji tentang pemanfaatan abu kerak sebagai bahan pengganti parsial pasir pada pembuatan beton (Prianti et al., 2015). Jika digunakan untuk bahan

penganti semen, suatu material haruslah mengandung senyawa kapur dalam jumlah yang relatif besar sebab semen memiliki fungsi sebagai pengikat dikarenakan kandungan kapurnya. Berdasarkan hasil penelitian yang menggunakan abu kerak boiler cangkang kelapa sawit sebagai penganti sebagian semen menunjukkan nilai kuat tekan beton menurun seiring meningkatnya persen abu kerak boiler cangkang yang digunakan dan penurunan terbesar kuat tekan beton terjadi pada beton yang menggunakan 20% abu kerak boiler cangkang kelapa sawit yaitu sebesar 21,78 MPa atau 40% dari kuat tekan beton normal (Rahman & Fathurrahman, 2017)

1.2. Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan abu cangkang kelapa sawit dengan persentase 15%, 20%, dan 25% dan *silica gel* 8% pada kuat tarik belah beton?
2. Berapakah nilai *slump* dengan penambahan abu cangkang kelapa sawit dan *silica gel* sebagai bahan campuran beton?
3. Berapakah nilai kuat tarik belah dengan penambahan abu cangkang kelapa sawit dan *silica gel* sebagai bahan campuran beton?

1.3. Ruang Lingkup

- a. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- b. Metode untuk perencanaan campuran menggunakan metode Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2834-2000)
- c. Umur yang ditinjau adalah 28 hari.
- d. Persentase campuran yang digunakan adalah 15%, 20%, dan 25% dari berat agregat halus.

- e. Persentase *silica gel* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 8% dari berat semen.
- f. Bentuk benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

1.4. Tujuan

Beberapa tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan abu cangkang kelapa sawit dengan persentase 15%, 20%, dan 25% pada kuat tarik belah beton.
2. Untuk mengetahui nilai *slump* dengan penambahan abu cangkang kelapa sawit dan *silica gel* sebagai bahan campuran beton.
3. Untuk mengetahui nilai kuat tarik belah beton dengan penambahan abu cangkang kelapa sawit dengan persentase 15%, 20%, dan 25% serta bahan tambah menggunakan *silica gel* dengan persentase 8%.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tarik belah dari penelitian yang dilakukan.

1.6. Sistematika Penelitian

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis membagi materi yang akan disampaikan dalam beberapa bab yaitu:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini menyajikan pendahuluan yang meliputi latar belakang masalah, permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas tentang landasan teori yang mencakup pengertian keadaan sosial ekonomi, prestasi belajar, kerangka berfikir, dan hipotesis.

BAB 3 Metode Penelitian

Bab ini membahas mengenai penentuan obyek penelitian, metode pengumpulan data, dan analisis data.

BAB 4 Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Bab ini menyajikan tentang laporan hasil penelitian dan pembahasan dari penelitian sehingga data yang ada mempunyai arti.

BAB 5 Kesimpulan Dan Saran

Bab ini menyajikan kesimpulan hasil penelitian yang ditarik dari Analisa data, hipotesis dan pembahasan serta saran yang memuat masukan-masukan dari penulis yang terkait dengan penelitian dan diuraikan kelemahan penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang digunakan pada bangunan gedung, jembatan, jalan dan lain-lain. Beton terdiri dari campuran agregat halus /pasir, agregat kasar kerikil, air, dan semen. Campuran tersebut akan mengeras disebabkan peristiwa reaksi kimia antara semen dengan air. Perbandingan jumlah bahan mempengaruhi kuat tekan beton yang diuji pada standar umur 28 hari. Berdasarkan kuat tekannya beton dibagi menjadi tiga klasifikasi, yaitu beton normal dengan kekuatan tekan kurang dari 50 MPa, beton kinerja tinggi dengan kekuatan tekan antara 50 hingga 90 MPa, beton kinerja sangat tinggi dengan kekuatan tekan lebih dari 90 MPa. Salah satu sifat penting dari beton adalah daktilitas. Daktilitas beton yang rendah dicerminkan oleh kurva tegangan regangannya yang memiliki penurunan kekuatan tekan yang cepat pada daerah beban pasca puncak, sehingga menyebabkan secara relatif keruntuhan terjadi tiba-tiba (Hani, 2018).

Beton merupakan konstruksi yang sangat penting dan paling dominan digunakan pada struktur bangunan. Berbagai bangunan didirikan dengan menggunakan beton sebagai konstruksi utama, baik bangunan gedung, bangunan air, bangunan sarana transportasi dan bangunan-bangunan yang lainnya. Beton merupakan konstruksi yang mempunyai banyak kelebihan antara lain, kuat menahan gaya tekan, tahan terhadap perubahan cuaca, lebih tahan terhadap suhu tinggi, mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan dan mudah dikerjakan dengan cara, mencampur semen, agregat, air, dan bahan tambahan lain bila diperlukan (Analisis et al., 2012).

Menurut SNI 03-2834-2000, beton adalah campuran antara semen *Portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. Berdasarkan beratnya beton dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis antara lain:

1. Beton Normal (*Normal Concrete*), yaitu beton yang memiliki berat isi berkisar (2200-2500) kg/m³ dengan menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.
2. Beton Ringan (*Light Weight Concrete -LWC*), beton ringan merupakan jenis beton yang memiliki berat isi berkisar (1400-1800) kg/m³. Beton ringan banyak digunakan untuk mengurangi bobot mati dari struktur bangunan, teknologi yang sedang dikembangkan sekarang ini dalam penerapan beton ringan banyak diaplikasikan dalam pembuatan elemen-elemen struktur beton yang ringan misalnya panel dinding, plat, atap, elemen beton *precast* dan elemen struktur lain.
3. Beton Massa (*Mass Concrete*), beton massa merupakan beton yang digunakan untuk aplikasi pekerjaan yang menggunakan volume beton dan luasan permukaan yang relatif besar dan menerus misalnya pekerjaan pondasi rakit/*raft pondation*, dinding tanggul, bendungan, bendung, *retaining wall*.
4. Beton Mutu Tinggi (*High Strength Concrete*), beton mutu tinggi merupakan beton yang memiliki kekuatan yang relatif cukup besar yaitu kuat tekan minimal > 41,4 MPa (SNI 03-6468-2000). Beton mutu tinggi biasanya digunakan untuk elemen struktur yang memikul beban yang besar misalnya *girder jembatan, pier, poer, spun pile pondasi, sheet pile*, elemen struktur bangunan tingkat tinggi.
5. Beton Berat (*Heavy Weight Concrete*), beton berat merupakan beton yang memiliki berat isi berkisar > 3200 kg/m³. Beton berat pada dasarnya memiliki tingkat kerapatan dan bobot massa yang padat dan berat, beton berat banyak diaplikasikan pada konstruksi khusus misalnya dinding nuklir, tanur, silo, fasilitas pengujian, penelitian atom dan fasilitas kesehatan dan lain-lain yang membutuhkan struktur dengan tingkat kerapatan dan massa yang cukup kompak sehingga sulit untuk ditembus oleh paparan gas/radiasi.

2.2. Bahan Penyusun Campuran Beton

Beton merupakan suatu campuran yang berisi pasir, krikil, air dan semen yang dicampur menjadi satu dengan yang membentuk suatu masa yang sangat mirip

seperti batu. beton dapat digunakan untuk membuat pondasi, balok, kolom, dan lain-lain (Hani, 2018).

2.2.1. Semen

Semen merupakan bahan hidrolis yang dapat bereaksi secara kimia dengan air, disebut dengan hidrasi, sehingga dapat membentuk material batu padat. Pada umumnya semen untuk bahan bangunan adalah tipe semen *Portland*. Semen ini dibuat dengan cara menghaluskan silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan dicampur dengan bahan *gips*. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting (Hani, 2018).

Semen terbagi dalam beberapa jenis yaitu:

- a. Semen abu-abu (*Portland*) adalah semen bubuk berwarna abu-abu kebiruan, yang dibentuk dari batu kapur berkadar kalsium tinggi yang diolah dalam tanur yang bersuhu dan bertekanan tinggi. Semen ini biasa digunakan sebagai perekat untuk memplester. Berdasarkan persentase kandungannya, semen ini terdiri atas lima tipe, yaitu tipe 1, 2, 3, 4, dan 5.
- b. Semen putih (*gray cement*) adalah semen yang lebih murni dari semen abu dan digunakan untuk pekerjaan penyelesaian, seperti sebagai pengisi. Semen jenis ini dibuat dari bahan utama kalsit (*calcite*) murni.
- c. *Oil Well Cement* atau semen sumur minyak adalah semen khusus yang digunakan dalam proses pengeboran minyak bumi atau gas alam, baik di darat maupun di lepas pantai.
- d. *Mixed & fly ash cement* adalah campuran semen abu dengan *Pozzolan* buatan (*fly ash*). *Pozzolan* buatan merupakan hasil sampingan dari pembakaran batubara yang mengandung *Amorphous silica*, *Aluminium* dan *Oksida* lainnya dalam berbagai variasi jumlah. Semen ini digunakan sebagai campuran untuk membuat beton, sehingga menjadi lebih keras.

Berdasarkan persentase kandungan penyusun, semen *portland* dibagi menjadi beberapa tipe sebagai berikut:

- a. Semen *Portland* tipe I dipakai untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memakai persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal. Cocok dipakai pada tanah dan air yang mengandung sulfat 0,0% – 0,10% dan dapat digunakan untuk bangunan rumah pemukiman, gedung-gedung bertingkat, perkerasan jalan, struktur rel, dan lain-lain
- b. Semen *Portland* tipe II dipakai untuk konstruksi bangunan dari beton massa yang memerlukan ketahanan sulfat (Pada lokasi tanah dan air yang mengandung sulfat antara 0,10 – 0,20%) dan panas hidrasi sedang, misalnya bangunan dipinggir laut, bangunan dibekas tanah rawa, saluran irigasi, beton massa untuk dam-dam dan landasan jembatan.
- c. Semen *Portland* tipe III dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan awal tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, misalnya untuk pembuatan jalan beton, bangunan-bangunan tingkat tinggi, bangunan-bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap serangan sulfat.
- d. Semen *Portland* tipe IV adalah tipe semen dengan panas hidrasi rendah. Semen tipe ini digunakan untuk keperluan konstruksi yang memerlukan jumlah dan kenaikan panas harus diminimalkan. Oleh karena itu semen jenis ini akan memperoleh tingkat kuat beton dengan lebih lambat ketimbang *Portland* tipe I. Tipe semen seperti ini digunakan untuk struktur beton masif seperti dam gravitasi besar yang mana kenaikan temperatur akibat panas yang dihasilkan selama proses curing merupakan faktor kritis.
- e. Semen *Portland* tipe V Dipakai untuk konstruksi bangunan-bangunan pada tanah/ air yang mengandung sulfat melebihi 0,20% dan sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan, dan pembangkit tenaga nuklir.

2.2.2. Air

Menurut Mulyono (2004), air diperlukan pada pembuatan beton untuk

memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang digunakan pada campuran beton ialah yang dapat diminum. Air yang dimaksud di sini adalah air yang tidak mengandung senyawa-senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, lumpur dan bahan-bahan kimia lainnya, bila digunakan dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Sebelum digunakan air terlebih dahulu diperiksa di Laboratorium baru kemudian bisa digunakan (Wolfman, 2013).

Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi penguatan beton. Untuk air yang tidak memenuhi syarat mutu kekuatan beton pada umur 7 hari/28 hari tidak boleh kurang dari 90% jika dibandingkan dengan kekuatan beton yang menggunakan air standar/suling. Karena air mempunyai peranan penting dalam pencampuran beton, maka air tidak dapat ditambahkan sembarangan dalam pengadukan mortal, jadi harus diingat faktor air semennya disesuaikan dengan kebutuhan dalam *workability* serta mutu beton yang diinginkan. Dan yang perlu dicatat bahwa jumlah air yang terlalu banyak dapat menyebabkan kekuatan beton menjadi rendah.

2.2.3. Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar (aduk) dan beton. Agregat aduk dalam beton dapat juga didefinisikan sebagai bahan yang dipakai sebagai pengisi, dipakai bersama dengan bahan perekat, dan membentuk suatu massa yang keras, padat bersatu yang disebut adukan beton (Hani, 2018). Agregat dapat dibedakan menurut ukuran butirnya dan terbagi menjadi agregat kasar/kerikil (*coarse aggregate*) dan agregat halus/pasir (*fine aggregate*).

Keutamaan agregat dalam peranannya di dalam beton:

- a. Menghemat penggunaan semen
- b. Menghasilkan kekuatan besar pada beton

- c. Mengurangi penyusutan pada pengerasan beton
- d. Dengan gradasi agregat yang baik dapat tercapai beton yang padat

2.2.3.1. Agregat Halus

Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi.

Ketentuan agregat kasar antara lain:

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras. Butir agregat halus harus bersifat kekal, arlinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca.
- b. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak, hal tersebut dapat diamati dari warna agregat halus.
- d. Agregat yang berasal dari laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua adukan spesi dan beton.

Agregat halus berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (stone crusher) dan mempunyai ukuran butir 5 mm.

Adapun beberapa tipe agregat alami untuk campuran beton, yaitu:

- a. Pasir Galian

Pasir ini diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali. Bentuk pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam walaupun biasanya harus dibersihkan dari kotoran tanah dengan jalan dicuci terlebih dahulu.

- b. Pasir Sungai

Pasir ini diperoleh langsung dari dasar sungai, yang pada umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan. Daya lekatan antar butiran agak kurang karena bentuk butiran yang bulat.

c. Pasir Laut

Pasir laut adalah pasir yang diambil dari pantai. Butir-butirnya halus dan bulat karena gesekan. Pasir ini merupakan pasir yang jelek karena mengandung banyak garam. Garam ini menyerap kandungan air dari udara dan mengakibatkan pasir selalu agak basah serta menyebabkan pengembangan volume bila dipakai pada bangunan. Selain dari garam ini mengakibatkan korosi terhadap struktur beton, oleh karena itu pasir laut sebaiknya tidak dipakai.

Berdasarkan pengertian pasir di atas, maka susunan ayakan untuk menentukan gradasi pasir berturut-turut adalah ayakan dengan lubang 10 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; dan 0,15 mm. menurut SK SNI T-15-1990-03, kekasaran pasir dibedakan menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir kasar, pasir agak kasar pasir agak halus, dan pasir halus. Penjelasan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 2.1.

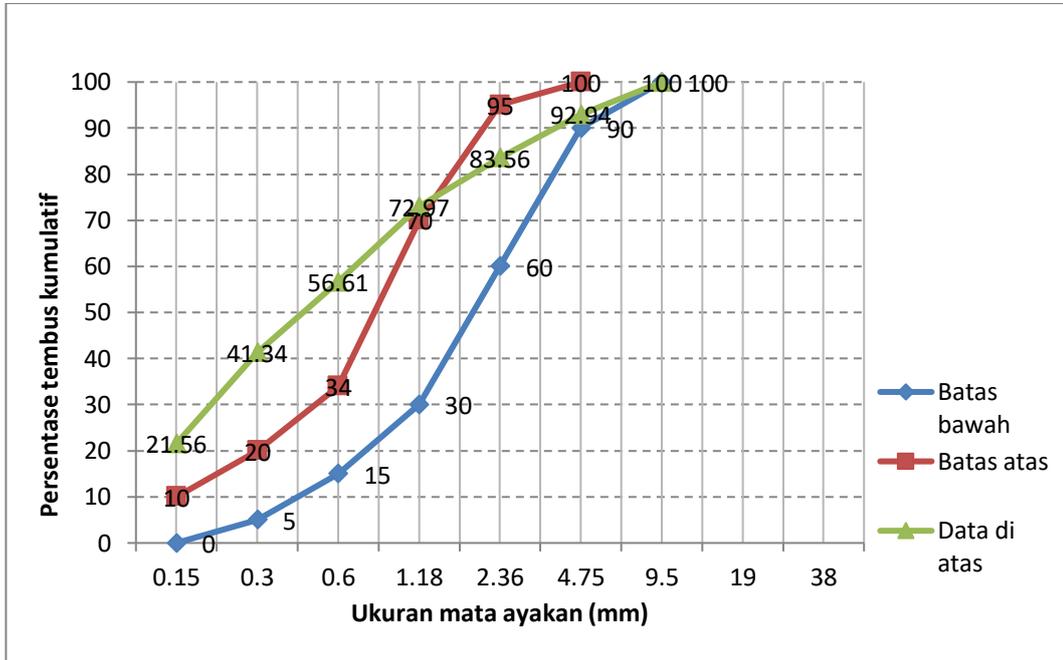
Tabel 2.1: Batas-batas Gradasi Untuk Agregat Halus (Pasir).

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

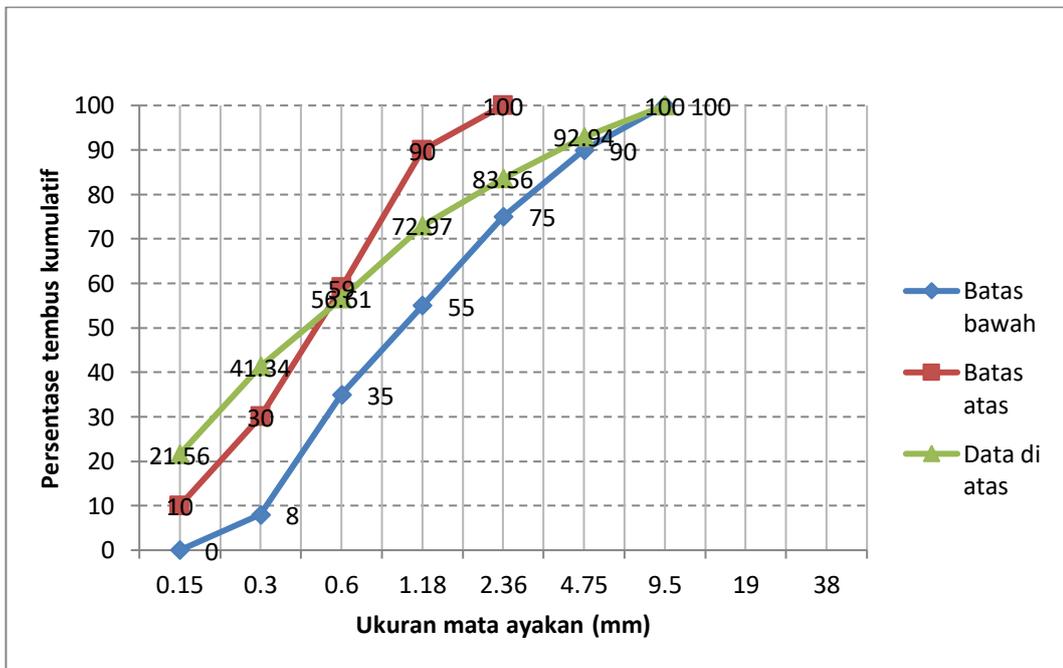
Sumber : SK SNI T-15-1990-03

- Keterangan:
- Daerah I : Pasir kasar
 - Daerah II : Pasir agak kasar
 - Daerah III : Pasir agak halus

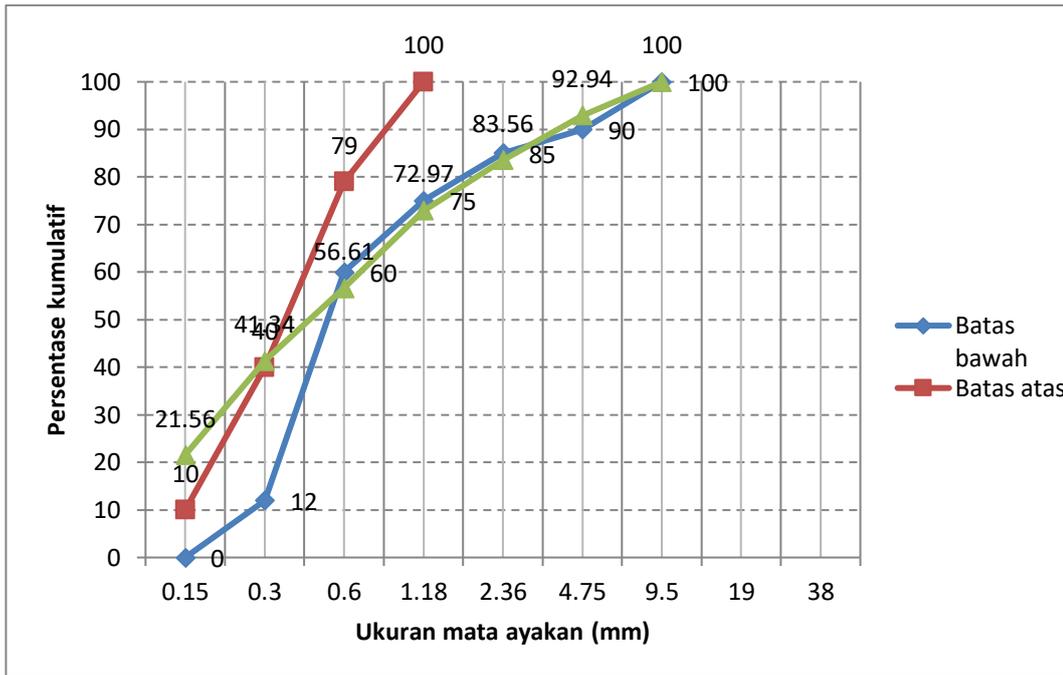
- Daerah IV : Pasir halus



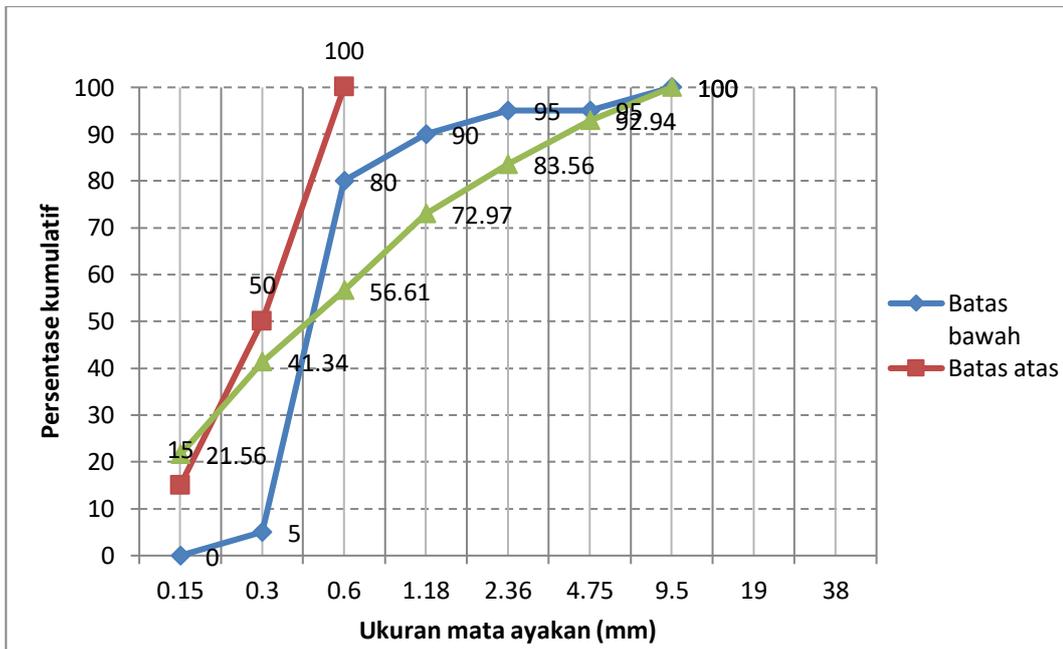
Gambar 2.1: Daerah Gradasi Pasir Kasar



Gambar 2.2: Daerah Gradasi Pasir Sedang



Gambar 2.3: Daerah Gradasi Pasir Agak Halus



Gambar 2.4: Daerah Gradasi Pasir Halus

2.2.3.2. Agregat Kasar

Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri

pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci).

Jenis agregat kasar yang umum adalah:

- a. Batu pecah alami: Bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali.
- b. Kerikil alami: Kerikil didapat dari proses alami, yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir.
- c. Agregat kasar buatan: Terutama berupa slag atau shale yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan.
- d. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat: Agregat kasar yang diklasifikasi disini misalnya baja pecah, barit, magnetit dan limonit.

Syarat agregat kasar yang akan dipakai sebagai bahan campuran beton:

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
 1. Sisa diatas ayakan 30,5 mm harus 0% dari berat.
 2. Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90%-98% dari berat.
- b. Selisih antara sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 10% dari berat.

Ketentuan agregat kasar antara lain:

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang butirannya pipih hanya dapat dipakai jika jumlah butir-butir pipihnya tidak melampaui 20% berat agregat seluruhnya.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat keringnya. Bila melampaui harus dicuci.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton, seperti zat yang relatif alkali.
- d. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil alam dari batu pecah.
- e. Agregat kasar harus lewat tes kekerasan dengan bejana penguji Rudeloff dengan beban uji 20 ton.
- f. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.

g. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk *Coarse Aggregate* antara 6–7,5.

Menurut peraturan di Indonesia saat ini (SK-SNI-T-15-1990-03) telah ditetapkan bahwa gradasi agregat kasar yang baik adalah yang berada di dalam batas-batas sebagaimana tampak seperti tabel di bawah ini:

Tabel 2.2: Persyaratan Gradasi Agregat Kasar.

Ukuran saringan (mm)	Prosentase lolos saringan	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95 – 100
10	10-35	22-55
4,8	0-5	0-10

2.2.4. Bahan Tambah

Menurut Hendriyani (2016), bahan tambah adalah suatu bahan bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Bahan tambah ada 2 jenis yaitu *additive* dan *admixture*. Bahan tambah (*Additive*) adalah bahan tambah yang ditambahkan pada saat proses pembuatan semen di pabrik, bahan tambah *additive* yang ditambahkan pada beton untuk meningkatkan kinerja kuat tekan beton.

Beton yang kekurangan butiran halus dalam agregat menjadi tidak kohesif dan mudah *blending*, untuk mengatasi kondisi ini biasanya ditambahkan bahan tambah *additive* yang berbentuk butiran padat yang halus. Penambahan *additive* dilakukan pada beton yang kekurangan agregat halus dan beton dengan kadar semen biasa tetapi perlu dipompa pada jarak yang jauh. Yang termasuk jenis *additive* adalah *pozzolan*, *fly ash*, *slag*, dan *silica fume* (Hendriyani, 2016).

2.2.4.1. Jenis-Jenis Bahan Tambah Kimia

Menurut standar ASTM. C. 494 (1995: .254) dan Pedoman Beton 1989 SKBI.1.4.53.1989 (Ulasan Pedoman Beton 1989: 29), jenis bahan tambah dibedakan menjadi tiga tipe bahan tambah, yaitu :

a. Tipe A “*Water-Reducing Admixtures*”

Water-Reducing Admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. *Water-Reducing Admixtures* digunakan antara lain untuk dengan tidak mengurangi kadar air semen dan nilai *slump* untuk memproduksi beton dengan nilai perbandingan atau rasio faktor air semen (*w/c*) yang rendah.

b. Tipe B “*Retarding Admixtures*”

Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Penggunaannya untuk menunda waktu pengikatan beton (*setting time*) misalnya karena kondisi cuaca yang panas, atau memperpanjang waktu untuk pemadatan untuk menghindari *cold joints* dan menghindari dampak penurunan saat beton segar pada saat pengecoran dilaksanakan

c. Tipe C “*Accelerating Admixtures*”

Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan (*hidrasi*), dan mempercepat pencapaian kekuatan beton.

Bahan tambah dengan fungsi *accelerating* digunakan dengan tujuan utama mendapatkan kekuatan awal yang lebih tinggi pada beton yang dikerjakan, misalkan jika elemen struktur beton yang diperlukan untuk segera dibebani oleh pekerjaan berikutnya dalam kaitan dengan waktu pelaksanaan yang ketat.

Penggunaan bahan tambah ini harus memperhatikan kadar ion klorida terlarut dalam beton keras yang disyaratkan, tidak boleh terlewat karena beresiko menimbulkan korosi pada besi atau baja tulangan.

d. Tipe D “*Water Reducing and Retarding Admixtures*”

Water Reducing and Retarding Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk

menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

Jenis bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi jumlah air pengaduk yang diperlukan pada beton tetapi tetap memperoleh adukan dengan konsistensi tertentu sekaligus memperlambat proses pengikatan awal dan pengerasan beton. Dengan menambahkan bahan ini ke dalam beton, maka jumlah semen dapat dikurangi sebanding dengan jumlah air yang dikurangi. Bahan ini berbentuk cair sehingga dalam perencanaan jumlah air pengaduk beton, maka berat *admixture* ini harus ditambahkan sebagai berat air total pada beton.

e. Tipe E “*Water Reducing and Accelerating Admixtures*”

Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

Jenis bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu untuk mengurangi jumlah air pengaduk yang diperlukan pada beton tetapi tetap memperoleh adukan dengan konsistensi tertentu sekaligus mempercepat proses pengikatan awal dan pengerasan beton. Beton yang ditambah dengan bahan tambah jenis ini akan dihasilkan beton dengan waktu pengikatan yang cepat serta kadar air yang rendah tetapi tetap workable. Dengan menggunakan bahan ini diinginkan beton yang mempunyai kuat tekan tinggi dengan waktu pengikatan yang lebih cepat (beton mempunyai kekuatan awal yang tinggi).

f. Tipe F “*Water Reducing High Range Admixtures*”

Water Reducing High Range Admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan kondisi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

g. Tipe G “*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*”

Water Reducing, High Range Retarding admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih sekaligus menghambat pengikatan dan pengerasan beton. Bahan ini merupakan

gabungan *superplasticizer* dengan memperlambat waktu ikat beton. Digunakan apabila pekerjaan sempit karena keterbatasan sumberdaya dan ruang kerja.

2.2.4.2. Bahan Tambah Mineral (*Mineral Admixture*)

Menurut Mulyono (2003), bahan tambah mineral ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Penggunaan *additive* di dalam campuran beton mempunyai beberapa keuntungan yaitu: memperbaiki *workability* beton, mengurangi panas hidrasi, mengurangi biaya pekerjaan beton, mempertinggi daya tahan terhadap serangan *sulfat*, mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika, menambah keawetan (*durabilitas*) beton, meningkatkan kuat tekan beton, meningkatkan usia pakai beton, mengurangi penyusutan, membuat beton lebih kedap air, porositas dan daya serap air pada beton rendah.

Jenis-jenis bahan tambah mineral pada beton yaitu:

- a. *Fly ash* merupakan butiran halus hasil residu dari proses pembakaran batubara yang mengandung CaO , SiO_2 dan Al_2O_3 . *Fly ash* yang ditambahkan pada campuran beton akan bereaksi dengan Ca(OH)_2 yang dihasilkan dari proses hidrasi C_3S dan C_2S untuk menghasilkan gel CSH baru. Pembentukan CSH baru pada beton akan dapat memperbaiki kinerja beton. Hal ini terbukti dengan penambahan *fly ash* sampai 20% dari berat semen ke dalam campuran beton akan dapat meningkatkan kinerja beton
- b. *Silicafume* merupakan limbah industri silicon metal yang mengandung 85 %–95% SiO_2 dengan ukuran butiran $0,1 \mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$ lebih halus dibanding semen *portland* yang berkisar $5 \mu\text{m} - 50 \mu\text{m}$. Kadar *silica* yang tinggi pada *silicafume* dapat menjadi aditif mineral yang sangat baik pada pasta semen di dalam campuran beton. Penambahan *silicafume* pada campuran beton akan bereaksi dengan Ca(OH)_2 yang dihasilkan dari proses hidrasi C_3S dan C_2S untuk menghasilkan CSH baru. Pembentukan CSH baru ini dapat membentuk ikatan gel yang padat dan sangat kuat di dalam beton. Selain itu ukuran butiran yang sangat halus *silicafume* akan dapat mengisi rongga-rongga di antara butiran semen sehingga beton menjadi lebih kompak dan padat sehingga kekuatan beton meningkat.

Keuntungan penggunaan silica fume dalam beton menurut (Zai & Karolina, n.d.) adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan kuat tekan beton;
 2. Meningkatkan kuat lentur beton;
 3. Memperbesar modulus elastisitas beton;
 4. Mengecilkan regangan beton;
 5. Meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia;
 6. Mencegah reaksi alkali silica dalam beton;
 7. Meningkatkan kepadatan (*density*) beton;
 8. Meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan korosi;
 9. Menyebabkan temperatur beton menjadi lebih rendah sehingga mencegah terjadinya retak pada beton.
- c. *Copper slag* merupakan salah satu jenis *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) yang berasal dari limbah pemurnian tembaga. GGBFS dapat berupa *iron slag* (terak besi), *steel slag* (terak baja), *nickel slag* (terak nikel) dan *copper slag* (terak tembaga). Komposisi GGBFS terdiri dari CaO, SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃. *Copper slag* dapat digunakan sebagai bahan aditif dan bahan substitusi semen sampai 20 % karena mempunyai komposisi mendekati semen dan harganya lebih murah. Dari beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa *Copper slag* sebagai substitusi semen sebesar 5%-15% dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur beton.

Keuntungan penggunaan *slag* dalam campuran beton adalah sebagai berikut:

1. Mempertinggi kekuatan beton, karena kecenderungan lambatnya kenaikan kuat tekan
2. Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan
3. Mengurangi variasi kuat tekan
4. Mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut
5. Mengurangi serangan *alkalisilica*
6. Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu
7. Memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton
8. Memperbaiki keawetan karena pengaruh perubahan volume
9. Mengurangi porositas dan serangan klorida

2.3. Abu Cangkang Kelapa Sawit

Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit adalah abu yang telah mengalami proses penggilingan dari kerak pada proses pembakaran cangkang dan serat buah pada suhu 500-700 °C pada dapur tungku boiler yang dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit merupakan biomass dengan kandungan *silica* (SiO₂) yang potensial untuk dimanfaatkan (Hengky, n.d.).

Hasil pembakaran limbah kelapa sawit menyisakan produk samping seperti abu layang sebesar kurang lebih 100 kg/minggu dan abu kerak boiler sekitar lebih 3 sampai dengan 5 ton/minggu (Mulia, 2007). Sisa pembakaran abu kerak boiler yang relatif banyak tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti pada batako. Hal tersebut dikarenakan kandungan yang terdapat pada abu kerak hasil pembakaran boiler dari cangkang kelapa sawit mengandung unsur kimia SiO₂ 31,45 %, dan CaO 15,2% dan Al₂O₃ sebanyak 1,6% (Jamizar, 2013). Menurut Tjokrodinuljo (1998) abu kerak boiler cangkang kelapa sawit mengandung silika yang tinggi yakni sekitar 89,9 % (Rahman & Fathurrahman, 2017).

Berdasarkan data, Indonesia merupakan salah satu negara agraris terbesar dunia yang memiliki kekayaan alam dari hasil perkebunan diantaranya perkebunan kelapa sawit. Hampir seluruh daerah di Indonesia memiliki lahan kelapa sawit yang luas dan tidak menutup kemungkinan limbah kelapa sawit akan melimpah pula. Sejauh ini sebagian limbah kelapa sawit telah dimanfaatkan antara lain produksi pupuk kompos dan beberapa industri papan telah memanfaatkan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), pelepah serta batang pohon sawit menjadi produk yang bermutu tinggi yakni papan semen, papan artikel, papan gypsum maupun papan berlapis (Hengky, n.d.).

2.4. *Silica Gel*

Silica gel adalah butiran seperti kaca dengan bentuk yang sangat berpori, silika dibuat secara sintesis dari *natrium silikat*. *Silica gel* adalah mineral alami yang dimurnikan dan diolah menjadi salah satu bentuk butiran atau manik-manik.

Sebagai pengering, ia memiliki ukuran pori rata-rata 2,4 nanometer dan memiliki afinitas yang kuat untuk molekul air.

Silica gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan *sol natrium silikat* (NaSiO_2) (Science et al., 2016). *Sol* mirip agar-agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan *silika gel* dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering dan penopang katalis. Garam-garam kobalt dapat diabsorpsi oleh gel ini.

Silica gel mencegah terbentuknya kelembapan yang berlebih, karena itu *silica gel* umum digunakan dalam setiap pengiriman barang-barang yang disimpan dalam kotak. *Silica gel* merupakan produk yang aman digunakan untuk menjaga kelembapan obat-obatan, bahan sensitif, elektronik, bahkan makanan sekalipun. Sifat yang paling penting dari *silica gel* adalah sebagai *adsorben* yang dapat diregenerasi. *Silica gel* memiliki kemampuan menyerap yang sangat besar terhadap molekul- molekul air. Dengan bertambahnya luas permukaan *silica gel*, porositas *silica gel* juga akan bertambah. Sifat ini menjadikan *silica gel* dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering dan penopang katalis (Tridinanti, 2019).

2.5. Slump test

Pengujian *Slump* (*Slump Test*) *Slump* pada dasarnya merupakan salah satu pengetesan sederhana untuk mengetahui *workability* beton segar sebelum diterima dan diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran. *Workability* beton segar pada umumnya diasosiasikan dengan:

- a. Homogenitas atau kerataan campuran adukan beton segar (*homogeneity*)
- b. Kelekatan adukan pasta semen (*cohesiveness*)
- c. Kemampuan alir beton segar (*flowability*)
- d. Kemampuan beton segar mempertahankan kerataan dan kelekatan jika dipindah dengan alat angkut (*mobility*)
- e. Mengindikasikan apakah beton segar masih dalam kondisi plastis (*plasticity*).

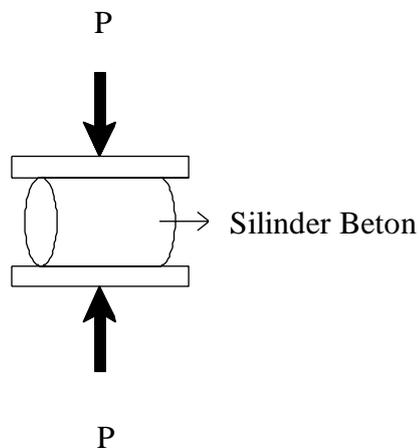
Slump beton segar dilakukan sebelum beton dituangkan kedalam cetakan silinder benda uji. Pengukuran slump dilakukan dengan mengacu pada SNI 1972-2008 (Cara Uji Slump Beton).

2.6. Pengujian Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah adalah salah satu parameter penting kekuatan beton. Nilai kuat tarik belah diperoleh melalui pengujian tekan di laboratorium dengan membebani setiap benda uji silinder secara lateral sampai pada kekuatan maksimumnya.

Kekuatan tarik beton relatif rendah, kira-kira 10%-15% dari kekuatan tekan beton, kadang-kadang 20%. Kekuatan ini lebih sukar untuk diukur dan hasilnya berbeda-beda dari satu bahan percobaan ke bahan percobaan yang lain dibandingkan untuk silinder-silinder tekan (Rahamudin et al., 2016).

Besarnya nilai hasil uji kuat tarik belah beton dapat digunakan sebagai acuan untuk mengestimasi beban retak beton atau momen retak (M_{retak}) yang sering digunakan dalam perencanaan beton prategang. Uji kuat tarik beton diperoleh dari uji sampel berbentuk silinder yang diuji belah (*splitting test*). Pengujian menggunakan benda uji beton silinder berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5: Skema pengujian kuat tarik belah beton silinder.

Gaya P bekerja pada kedua sisi silinder sepanjang L dan gaya ini disebarkan seluas selimut silinder ($\pi \cdot D \cdot L$) secara berangsur-angsur pembebanan dinaikkan sehingga tercapai nilai maksimum dan silinder pecah terbelah oleh gaya tarik horizontal (Gunawan et al., 2014).

Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai tegangan tarik belah, diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut (SNI 2491:2014):

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (1.1)$$

Dengan :

F_{ct} : Kuat tarik belah (MPa)

P : Beban maksimum beban belah (N)

L : Panjang benda uji silinder (mm)

D : Diameter benda uji silinder (mm)

Π : Phi

2.7. Penelitian Terdahulu

Kristianto dkk, menyimpulkan bahwa nilai uji kuat tarik belah (fCT) rata-rata pada umur 28 hari didapat beton normal sebesar 4,17 MPa. Untuk beton dengan penambahan cangkang kelapa sawit didapat nilai kuat tarik belah yaitu BN+5% sebesar 3,22 MPa terjadi penurunan sebesar 22,71% terhadap beton normal.

Lissa dkk, menyimpulkan bahwa secara keseluruhan dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan serat tandan kosong kelapa sawit dengan abu kerak boiler terhadap kuat tekan beton mengalami peningkatan di tiap - tiap penambahan persentase serat dalam campuran beton. Dari hasil penelitian menunjukkan persentase berat optimum campuran serat tandan kosong kelapa sawit dengan abu kerak boiler dalam campuran beton, berada di 8% sebesar 30,57 MPa yaitu masuk dalam kuat tekan rencana beton 25 MPa. Berdasarkan SNI 03-6468-2000 beton dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit dengan abu kerak boiler

pada umur 28 hari dapat digunakan untuk keperluan struktur, karena kuat tekan yang dihasilkan berada pada interval 21–40 MPa.

Martin Lerry dkk, menyimpulkan bahwa Kuat tekan beton menurun seiring meningkatnya persen abu cangkang kelapa sawit yang digunakan. Penurunan terbesar kuat tekan beton dengan pasir gunung terjadi pada beton yang menggunakan 20% abu cangkang sawit yaitu sebesar 21,78 MPa atau 40% dari kuat tekan beton normal. Penurunan terbesar pada beton dengan pasir laut juga terjadi pada penggunaan 20% abu cangkang kelapa sawit, yaitu sebesar 16,06 MPa atau 45,19% dari beton normal. Peneliti memberikan rekomendasi penelitian lebih lanjut dengan memberikan perlakuan dioven terhadap abu cangkang kelapa sawit dan menggunakan abu yang 75% lolos saringan 100 sesuai dengan syarat semen SK-SNI-S-04-1989-F.

Karya dkk, menyimpulkan bahwa dalam Penelitian ini diperoleh dari hasil Uji Mekanik dan Fisis menunjukkan bahwa penambahan campuran (Abu Sekam Padi, Abu Boiler Kelapa Sawit, dan keduanya) ideal pada beton berada pada komposisi penambahan campuran 5%. Hal ini ditunjukkan oleh nilai hasil uji mekanik dan fisis pada berbagai komposisi terhadap lamanya waktu perendaman. Berdasarkan hasil XRD SiO₂ pada Abu Boiler Kelapa Sawit 0,831 Wt%, pada Abu Sekam Padi 0,842 Wt%, pada beton 0,918 Wt%, sedangkan pada beton dengan campuran Abu Sekam Padi 5% SiO₂ 0,903 Wt%, pada campuran Abu Boiler Kelapa Sawit 5% 0,885 Wt%, dan pada campuran Abu Sekam Padi 2,5% dan Abu Boiler Kelapa Sawit 2,5% sebesar 0,695 Wt%.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

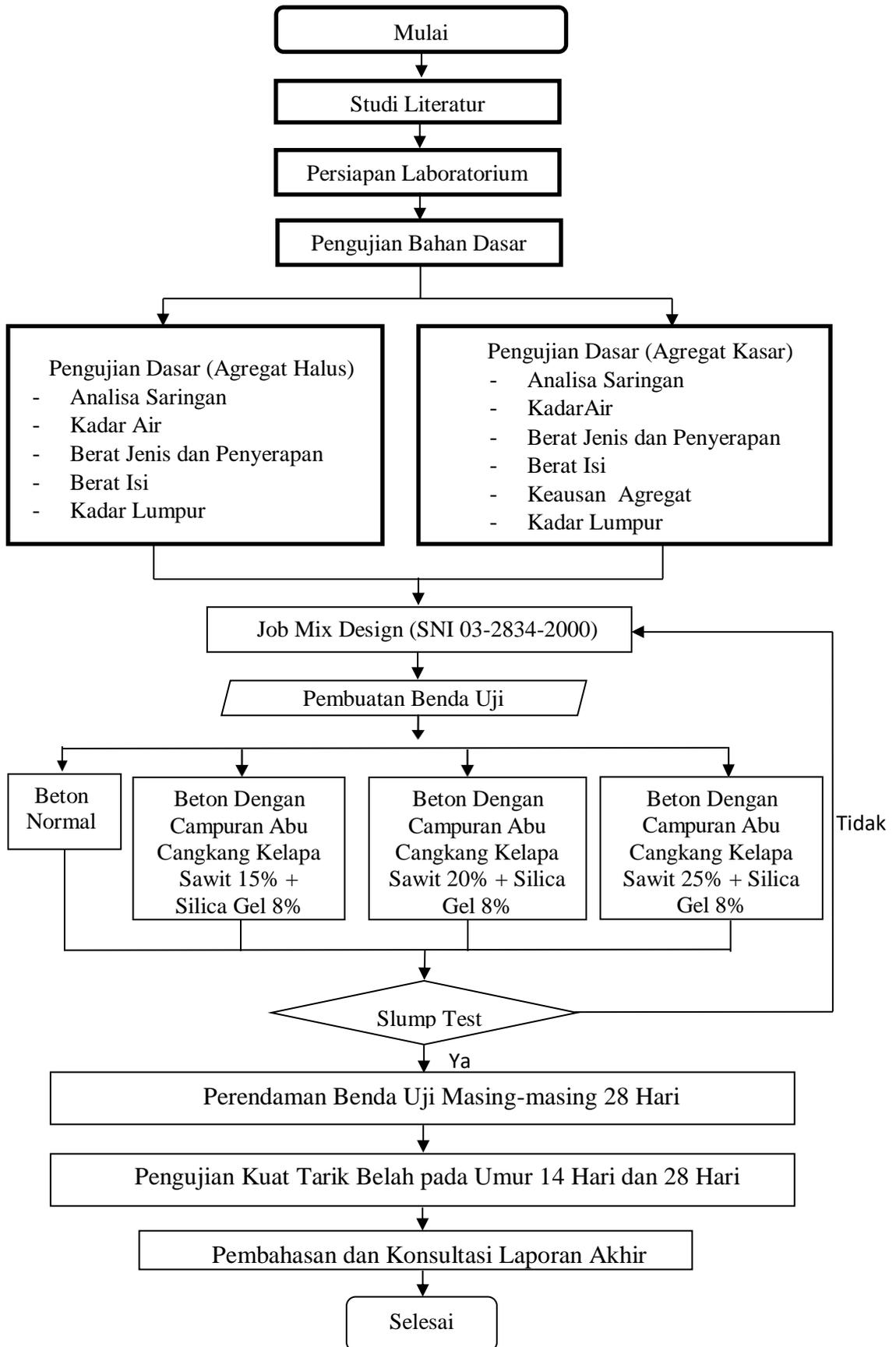
Penelitian dimulai setelah mendapatkan izin dari Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan kemudian melakukan studi literatur, seperti mencari jurnal referensi, kandungan dalam bahan tambah yang digunakan, dan metode yang digunakan dalam melakukan penelitian.

Setelah mencari informasi tentang penelitian yang akan dilakukan, selanjutnya dilakukan pemeriksaan dasar seperti kadar lumpur, analisa saringan, kadar air, berat jenis dan berat isi yang bertujuan untuk mendapatkan data-data pendukung yang diperoleh di laboratorium.

Selanjutnya mencari *mix design* untuk mengetahui proporsi campuran untuk setiap benda uji yang akan dibuat. Setelah memperoleh proporsi campuran beton, kemudian dilakukan penyaringan bahan tambah *filler* yang telah disiapkan. Setelah bahan-bahan yang dibutuhkan telah siap digunakan, tahap selanjutnya adalah pembuatan benda uji. Pembuatan benda uji dilakukan sesuai kebutuhan masing-masing variasi campuran bahan tambah yaitu beton normal, beton dengan *filler* abu cangkang kelapa sawit 15%, beton dengan *filler* abu cangkang kelapa sawit 20%, dan beton dengan *filler* abu cangkang kelapa sawit 25%.

Langkah selanjutnya yaitu membuat adonan beton dan mengecek nilai slump beton, setelah melakukan pengujian slump, kemudian memasukkan adonan beton kedalam cetakan silinder yang telah diberi vaselin. Kemudian benda uji didiamkan dan dilepaskan dari cetakan setelah \pm 24 jam. Selanjutnya dilakukan perendaman benda uji selama 14 hari dan 28 hari.

Setelah mencapai umur 14 hari dan 28 hari, benda uji diangkat dari tempat perendaman kemudian dilakukan tes kuat tarik beton. Dari pengujian kuat tarik yang dilakukan, kita dapat memperoleh data-data yang dibutuhkan sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian yang dilaksanakan.

3.1.1. Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium, yaitu:

- a. Analisa saringan agregat.
- b. Berat jenis dan penyerapan.
- c. Pemeriksaan berat isi agregat.
- d. Pemeriksaan kadar air agregat.
- e. Perbandingan dalam campuran beton (*Mix design*).
- f. Kekentalan adukan beton segar (*Slump test*).
- g. Uji kuat tarik beton.

3.1.2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku yang berhubungan dengan teknik beton (literatur) dan konsultasi langsung dengan dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Data teknis mengenai Standar Nasional Indonesia serta buku-buku atau literatur sebagai penunjang guna memperkuat suatu penelitian yang dilakukan.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dimulai pada bulan Maret 2020. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.3. Bahan dan Peralatan

3.3.1. Bahan

Komponen bahan pembentuk beton yang digunakan yaitu:

- a. Semen
Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Padang tipe 1 PPC (*Portland Pozolan Cement*).
- b. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang diperoleh dari daerah Binjai.

c. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah yang diperoleh dari daerah Binjai.

d. Air

Air yang digunakan berasal dari PDAM Tirtanadi Medan.

e. Abu Cangkang Kelapa Sawit

Abu cangkang yang dipakai dalam penelitian ini lolos saringan No. 50 dalam kondisi jenuh kering muka atau SSD (*Saturated Surface Dry*) dengan persentase 15%, 20%, dan 25% terhadap berat semen yang digunakan. Abu cangkang ini diperoleh dari Pabrik Kelapa Sawit Adolina Kab. Serdang Bedagai.

f. Bahan *Admixture*

Bahan *admixture* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Silica gel* dengan persentase 8% dari berat semen.

3.3.2. Peralatan

Alat-alat yang digunakan di dalam penelitian ini antara lain:

Peralatan material:

- a. Saringan agregat kasar : Saringan 1,5", 1/2", 3/4", 3/8", dan no.4
- b. Saringan agregat halus : Saringan no.4, no.8, no.16, no.30, no.50, dan no.100
- c. Timbangan digital
- d. Plastik ukuran 10 kg

Peralatan pembuatan beton :

- a. Pan
- b. Ember
- c. Satu set alat *slump test* : kerucut *abrams*, tongkat pemadat, mistar, dan plat baja.
- d. Sekop tangan

- e. Skrap
- f. Tabung ukur
- g. Sarung tangan
- h. Cetakan silinder ukuran 15 x 30 cm
- i. Vaseline
- j. Kuas
- k. Mesin pengaduk beton (*mixer*)
- l. Bak perendam

Alat pengujian kuat tarik belah beton :

- a. Mesin kuat tekan (*compression test*)
- b. Pelat atau batang penekan tambahan
- c. Bantalan bantu pembebanan

3.4. Persiapan Material

Secara umum pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa langkah pekerjaan:

1. Menetapkan komposisi campuran
2. Penyiapan material
3. Pemeriksaan material
4. Pembuatan benda uji
5. Perawatan
6. Pengujian benda uji

Tahapan-tahapan penelitian tersebut diatas, dilaksanakan dengan berdasarkan standar peraturan pengerjaan beton yang disesuaikan dengan kondisi laboratorium. Sebagian langkah pemeriksaan material hanya dibatasi pada pemeriksaan karakteristik, karena dianggap penting dalam perhitungan komposisi campuran. Namun tidak semua material dapat diperiksa karakteristiknya. Tidak dilakukan pemeriksaan terhadap air dan material aditif.

Semua material (semen, agregat) berasal dari tempat yang berbeda, diteliti untuk ditetapkan sebagai bahan pembentuk beton. Semua bahan ditempatkan pada tempat yang aman dan tidak mengalami perubahan fisik dan kimia serta bebas dari benda asing. Untuk menjaga kelembaban supaya tetap, material dimasukkan

ke dalam kantong plastik. Semen yang digunakan adalah semen portland pozzolan tipe-1. Air yang digunakan dalam proses mencampur beton adalah air PDAM dari Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Agregat kasar adalah batu pecah yang berasal dari Binjai. Agregat halus adalah pasir yang berasal dari Binjai. Bahan tambah abu cangkang kelapa sawit dari pabrik pengolahan kelapa sawit.

3.5. Pemeriksaan Agregat

Di dalam pemeriksaan agregat baik agregat kasar maupun agregat halus dilakukan di Laboratorium mengikuti panduan dari SNI tentang pemeriksaan agregat.

3.6. Pemeriksaan Agregat Halus

Penelitian ini meliputi beberapa tahapan/pemeriksaan diantaranya:

- Pemeriksaan kadar air.
- Pemeriksaan kadar lumpur.
- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.
- Pemeriksaan berat isi.
- Pemeriksaan analisa saringan.

3.6.1. Kadar Air Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 566. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.1 sehingga diketahui kadar air agregat halus yang diperiksa. Dari 2 data yang dilakukan pengujian dengan berat masing-masing 1000 gr. Maka didapatlah persentase kadar air 0,9%.

Tabel 3.1: Data-data hasil penelitian kadar air halus.

Pengujian	Contoh I (gr)	Contoh II (gr)	Rata-rata
Berat contoh SSD dan wadah	1188	1175	1181,5
Berat contoh SSD	1000	1000	1000
Berat contoh kering oven & wadah	1177	1168	1172,5
Berat wadah	188	175	181,5
Berat air	11	7	9
Berat contoh kering	989	993	991
Kadar air	1,1%	0,7%	0,9%

3.6.2. Kadar Lumpur Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 566. Hasil dari kadar lumpur dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Data-data hasil penelitian kadar lumpur agregat halus.

Pengujian	Contoh I (gr)	Contoh II (gr)	Rata-rata
Berat contoh kering : A (gr)	500	500	500
Berat contoh setelah dicuci : B (gr)	487	483	485
Berat kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci C (gr)	13	17	15
Persentase kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci (%)	2,6	3,4	3

Berdasarkan Tabel 3.2 pemeriksaan kadar lumpur agregat halus dilakukan dengan mencuci sampel dengan menggunakan air, kemudian disaring dengan menggunakan saringan No. 200, persentase yang didapat dihitung dari pembagian

berat kotoran agregat yang lolos saringan dibagi dengan berat contoh awal contoh, kemudian membuat hasilnya di dalam persentase. Dari percobaan ini didapat persentase kadar lumpur untuk sampel yang pertama sebesar 2,6%, dan sampel kedua sebesar 3,4%. Maka, untuk mengambil nilai kadar lumpur diambil dari rata-rata pengujian yakni sebesar 3%. Jumlah persentase tersebut telah memenuhi persyaratan berdasarkan PBI 1971 yaitu $< 5\%$.

3.6.3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI ASTM C 128. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.3. Pada tabel terlampir 3 macam berat jenis, yakni berat jenis contoh semu, berat jenis SSD, dan berat jenis contoh semu. Berat jenis agregat terpenuhi apabila nilai Berat Jenis Contoh Kering $<$ Berat Jenis SSD $<$ Berat Jenis Contoh Semu dengan nilai rata-rata $2,475 \text{ gr/cm}^3 < 2,505 \text{ gr/cm}^3 < 2,56 \text{ gr/cm}^3$ dan nilai penyerapan rata-rata sebesar 1,32%. Berdasarkan standar ASTM C 128 tentang absorpsi yang baik adalah dibawah 2% dan nilai absorpsi agregat halus yang diperoleh telah memenuhi syarat.

Tabel 3.3: Data-data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Pengujian	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata
Berat contoh SSD kering permukaan jenuh	500	500	500
Berat contoh SSD kering oven 110°C sampai konstan	494	493	493,5
Berat piknometer penuh air	674	674	674
Berat contoh SSD dalam piknometer penuh air	974	975	974,5

Tabel 3.3: *Lanjutan.*

Pengujian	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata
Berat jenis contoh kering ($E/(B+D-C)$)	2,47	2,48	2,475
Berat jenis contoh SSD ($B/(B+D-C)$)	2,50	2,51	2,505
Berat jenis contoh semu ($E/(E+D-C)$)	2,55	2,57	2,56
Penyerapan ($(B-E)/E \times 100\%$)	1,21	1,42	1,32

3.6.4. Berat Isi Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 29. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.4 sehingga diketahui berat isi agregat halus yang diperiksa.

Tabel 3.4: Data-data hasil penelitian berat isi agregat halus.

No	Pengujian	Contoh I	Contoh II	Contoh III	Rata-rata
1	Berat contoh & wadah (gr)	18873	20523	20603	19999,7
2	Berat wadah (gr)	5400	5400	5400	5400
3	Berat contoh (gr)	13473	15123	15203	14599,7
4	Volume wadah (cm^3)	10861,71	10861,71	10861,71	10861,71
5	Berat Isi (gr/cm^3)	1,24	1,39	1,40	1,34

Berdasarkan Tabel 3.4 menjelaskan hasil pemeriksaan yang dilakukan didapat hasil berat isi agregat halus dengan rata-rata sebesar 1,34 gr/cm³. Hasil ini didapat dari rata-rata ketiga contoh, yang berdasarkan perbandingan nilai berat contoh yang didapat dengan volume wadah yang dipakai dalam percobaan. Hasil dari percobaan tersebut telah memenuhi standar yang ditetapkan yaitu >1,125 gr/cm³.

3.6.5. Analisa Saringan Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 33. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.5 dan batas gradasi agregat halus pada Gambar 3.2, sehingga diketahui modulus kehalusan agregat halus yang diperiksa.

Berdasarkan Tabel 3.5 menjelaskan pemeriksaan analisa saringan agregat halus ini menggunakan nomor saringan yang telah ditentukan berdasarkan SNI 03-2834-2000, yang nantinya akan dibuat grafik zona gradasi agregat yang didapat dari nilai kumulatif agregat.

Tabel 3.5: Data-data hasil penelitian analisa saringan agregat halus.

Sieve Size	Retained Fraction				Cumulative	
	Sample 1	Sample 2	Total Weight (gr)	%	Retained	Passing
9.52 (3/8 in)	0	0	0	0,00	0,00	100,00
4.75 (No. 4)	17	26	43	1,95	1,95	98,05
2.36 (No. 8)	67	104	171	7,77	9,72	90,28
1.18 (No.16)	181	219	400	18,18	27,9	72,1
0.60 (No. 30)	287	322	609	27,68	55,58	44,42
0.30 (No. 50)	290	331	621	28,23	83,81	16,19
0.15 (No. 100)	135	163	298	13,54	97,35	2,65
Pan	23	35	58	2,64	100	0
Total	1000	1200	2200	100		

Apakah agregat yang dipakai termasuk zona pasir kasar, sedang, agak halus, atau pasir halus. Penjelasan nilai kumulatif agregat didapat dari penjelasan berikut ini:

Total berat pasir = 2200 gram

- Persentase berat tertahan rata-rata:

$$\text{No.4} = \frac{43}{2200} \times 100\% = 1,95 \%$$

$$\text{No.8} = \frac{171}{2200} \times 100\% = 7,77 \%$$

$$\text{No.16} = \frac{400}{2200} \times 100\% = 18,18 \%$$

$$\text{No.30} = \frac{609}{2200} \times 100\% = 27,68 \%$$

$$\text{No.50} = \frac{621}{2200} \times 100\% = 28,28 \%$$

$$\text{No.100} = \frac{298}{2200} \times 100\% = 13,54 \%$$

$$\text{Pan} = \frac{58}{2200} \times 100\% = 2,64 \%$$

- Persentase berat kumulatif tertahan:

$$\text{No.4} = 0 + 1,95 = 1,95 \%$$

$$\text{No.8} = 1,95 + 7,77 = 9,72 \%$$

$$\text{No.16} = 9,72 + 18,18 = 27,90 \%$$

$$\text{No.30} = 27,90 + 27,68 = 55,58 \%$$

$$\text{No.50} = 55,58 + 28,28 = 83,86 \%$$

$$\text{No.100} = 83,86 + 13,54 = 97,40 \%$$

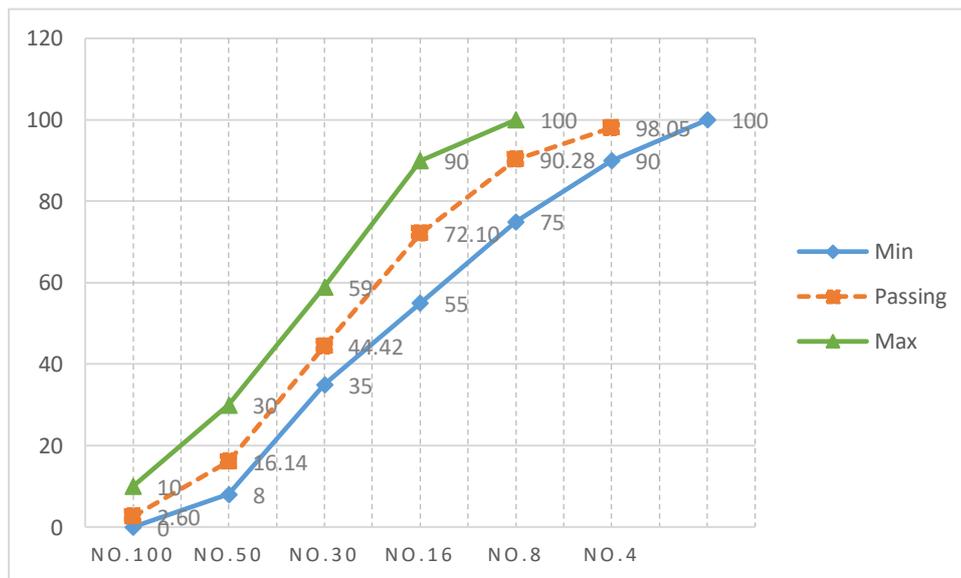
$$\text{Pan} = 97,40 + 2,64 = 100,00 \%$$

Jumlah persentase kumulatif yang tertahan = 276,41 %

$$\begin{aligned}
 \text{FM (Modulus kehalusan)} &= \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Tertahan}}{100} \\
 &= \frac{276,41}{100} \\
 \text{FM} &= 2,76
 \end{aligned}$$

- Persentase berat kumulatif yang lolos saringan:

No.4	=	100	-	1,95	=	98,05	%
No.8	=	100	-	9,72	=	90,28	%
No.16	=	100	-	27,90	=	72,10	%
No.30	=	100	-	55,58	=	44,42	%
No.50	=	100	-	83,86	=	16,14	%
No.100	=	100	-	97,40	=	2,60	%
Pan	=	100	-	$\frac{100,0}{0}$	=	0,00	%



Gambar 3.2: Grafik gradasi agregat halus (zona 2 pasir sedang).

Berdasarkan Gambar 3.2 menjelaskan hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus pada Tabel 3.5 diperoleh nilai modulus kehalusan sebesar 2,76 dan dari grafik hasil pengujian diketahui bahwa agregat halus yang diuji termasuk di zona 2 (pasir sedang) seperti Gambar 3.2.

3.7. Pemeriksaan Agregat Kasar

Penelitian ini meliputi beberapa tahapan/pemeriksaan diantaranya:

- Pemeriksaan kadar air.
- Pemeriksaan kadar lumpur.
- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.
- Pemeriksaan berat isi.
- Pemeriksaan analisa saringan.
- Keausan agregat dengan mesin *Los Angeles*.

3.7.1 Kadar Air Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 566.

Tabel 3.6: Data-data hasil penelitian kadar air agregat kasar.

Pengujian	Contoh I (gr)	Contoh II (gr)	Rata-rata
Berat contoh SSD & berat wadah	1528	1570	1549
Berat contoh SSD	1000	1000	1000,0
Contoh kering oven & wadah	1523	1565	1544
Berat wadah	528	570	549
Berat air	5	5	5

Berat contoh kering	995	995	995
Kadar air	0,5%	0,5%	0,5%

Berdasarkan Tabel 3.6 menjelaskan hasil pemeriksaan kadar air pada agregat kasar didapat rata-rata kadar air sebesar 0,5%. Percobaan ini dilakukan sebanyak dua kali pengujian, pada contoh pertama, kadar air yang didapat sebesar 0,5%, dan contoh kedua didapat kadar air sebesar 0,5%. Hasil diatas tersebut telah memenuhi standar yang ditentukan yaitu yaitu 0,5%-1,5%.

3.7.2. Kadar Lumpur Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 117. Berdasarkan Tabel 3.7 menjelaskan hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar dilakukan dengan mencuci sampel yang menggunakan air, kemudian disaring dengan menggunakan saringan No. 200, persentase yang didapat dihitung dari pembagian berat kotoran agregat yang lolos saringan dibagi dengan berat contoh awal, kemudian membuat hasilnya di dalam persentase. Dari percobaan ini didapat persentase kadar lumpur untuk sampel yang pertama sebesar 0,8%, dan sampel kedua sebesar 0,6%. Maka, untuk mengambil nilai kadar lumpur diambil dari rata-rata pengujian yakni sebesar 0,7%.

Tabel 3.7: Data-data hasil penelitian kadar lumpur agregat kasar.

Pengujian	Sample I (gr)	Sample II (gr)	Rata-rata
Berat contoh kering : A (gr)	1000	1000	1000
Berat contoh setelah dicuci : B (gr)	992	994	993

Berat kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci C (gr)	8	6	7
Persentase kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci (%)	0,8	0,6	0,7

3.7.3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 127.

Tabel 3.8: Data-data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

Pengujian	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata
Berat contoh SSD kering permukaan jenuh (A)	2500	2500	2500
Berat contoh SSD kering oven 110°C sampai konstan (C)	2482	2481	2481,5
Berat contoh jenuh (B)	1580	1565	1597,5
Berat jenis contoh kering $C/(A-B)$	2,698	2,653	2,676
Berat jenis contoh SSD $A/(A-B)$	2,717	2,674	2,696
Berat jenis contoh semu $C/(C-B)$	2,752	2,708	2,730
Penyerapan $((A-C)/C) \times 100\%$	0,725	0,766	0,746

Berdasarkan hasil pemeriksaan di dapat data-data pada Tabel 3.8 sehingga dapat diketahui nilai berat jenis maupun penyerapan (*absorbtion*) pada agregat halus yang diteliti. Pada Tabel 3.8 terlampir 3 macam berat jenis, yakni berat jenis contoh semu, berat jenis SSD, dan berat jenis contoh semu. Berat jenis agregat terpenuhi apabila nilai Berat Jenis Contoh Kering < Berat Jenis SSD < Berat Jenis Contoh Semu. Dari percobaan didapat rata-rata nilai berat jenis contoh kering

sebesar 2,676 gr/cm³, nilai rata-rata berat jenis SSD sebesar 2,696 gr/cm³, dan nilai rata-rata berat jenis contoh semu sebesar 2,730 gr/cm³. Selain berat jenis, pada pemeriksaan ini juga didapat nilai penyerapan pada agregat kasar yang didapat nilai rata-ratanya sebesar 0,746% dan berdasarkan ASTM C 127 nilai ini berada di bawah nilai absorpsi agregat kasar maksimum yaitu sebesar 4%.

3.7.4. Berat Isi Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 29. Berdasarkan Tabel 3.9 menjelaskan tentang nilai berat isi agregat kasar yang rata-ratanya didapat sebesar 1,62 gr/cm³. Nilai berat isi agregat didapatkan dari perbandingan nilai antara berat contoh yang didapat dengan volume wadah yang dipakai dalam penelitian ini. Pada sampel pertama didapat nilai berat isi agregat sebesar 1,59 gr/cm³. Percobaan kedua menghasilkan nilai berat isi agregat sebesar 1,65 gr/cm³. Sedangkan percobaan ke tiga menghasilkan nilai berat isi agregat sebesar 1,56 gr/cm³ dan hasil tersebut memenuhi standar yang telah ditentukan yang yaitu > 1,125 gr/cm³.

Tabel 3.9: Data-data hasil penelitian berat isi agregat kasar.

No	Pengujian	Contoh I	Contoh II	Contoh III	Rata-rata
1	Berat contoh & wadah (gr)	31050	31989	30630	31485
2	Berat wadah (gr)	6500	6500	6500	6500
3	Berat contoh (gr)	24550	25489	24130	24985
4	Volume wadah (cm ³)	15465,21	15465,21	15465,21	15465,21
5	Berat Isi (gr/cm ³)	1,59	1,65	1,56	1,62

3.7.5. Analisa Saringan Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 33. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.10 sehingga diketahui modulus kehalusan agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 3.10: Data-data hasil penelitian analisa saringan agregat kasar.

Ukuran ayakan	Berat Tertahan				Kumulatif	
	Contoh I (gr)	Contoh II (gr)	Total berat (gr)	%		
38,1 (1.5 in)	137	130	267	4,77	4,77	95,23
19.0 (3/4 in)	1015	910	1925	34,38	39,15	60,85
9.52 (3/8 in)	1130	1451	2581	46,10	85,25	14,75
4.75 (No. 4)	518	309	827	14,77	100,00	0,00
2.36 (No. 8)	0	0	0	0,00	100,00	0,00
1.18 (No.16)	0	0	0	0,00	100,00	0,00
0.60 (No. 30)	0	0	0	0,00	100,00	0,00
0.30 (No. 50)	0	0	0	0,00	100,00	0,00
0.15 (No. 100)	0	0	0	0,00	100,00	0,00
Pan	0	0	0	0,00	0	100
<i>Total</i>	2800	2800	5600	100		

- Persentase berat tertahan rata-rata:

$$1,5 = \frac{267}{5600} \times 100\% = 4,77 \%$$

$$3/4 = \frac{1925}{5600} \times 100\% = 34,37 \%$$

$$3/8 = \frac{2581}{5600} \times 100\% = 46,09 \%$$

$$\text{No. 4} = \frac{827}{5600} \times 100\% = 14,77 \%$$

- Persentase berat kumulatif tertahan:

$$1,5 = 0 + 4,77 = 4,77 \%$$

$$3/4 = 4,77 + 34,37 = 39,14 \%$$

$$\begin{aligned} 3/8 &= 39,14 + 46,09 = 85,23 \% \\ \text{No.4} &= 85,23 + 14,77 = 100,00 \% \end{aligned}$$

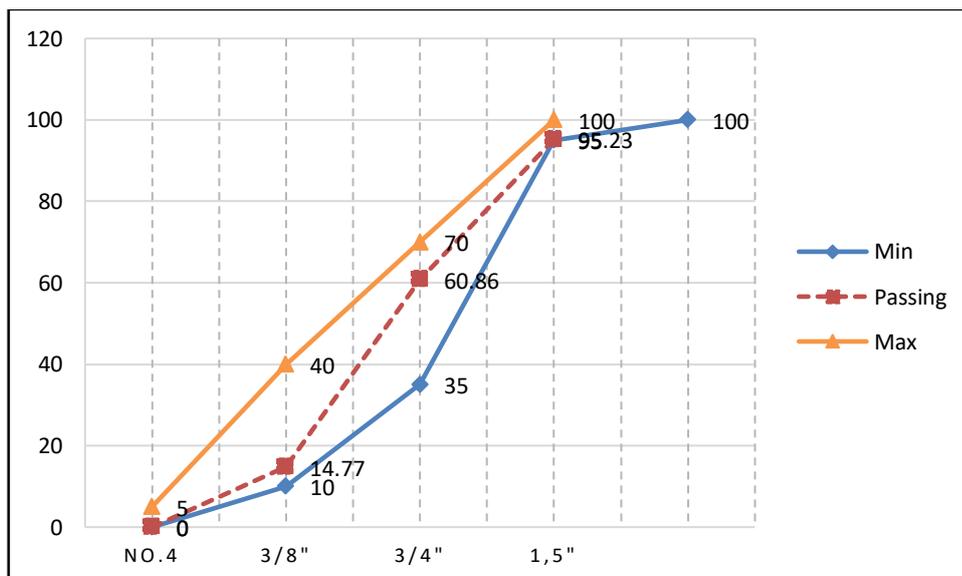
Jumlah persentase kumulatif yang tertahan = 729,14

$$\begin{aligned} \text{FM (Modulus kehalusan)} &= \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Tertahan}}{100} \\ &= \frac{729,14}{100} \\ \text{FM} &= 7,29 \end{aligned}$$

- Persentase berat kumulatif yang lolos saringan:

$$\begin{aligned} 1,5 &= 100 - 4,77 = 95,23 \% \\ 3/4 &= 100 - 39,14 = 60,86 \% \\ 3/8 &= 100 - 85,23 = 14,77 \% \\ \text{No. 4} &= 100 - 100 = 0 \% \end{aligned}$$

Batas gradasi maksimum 40 mm dapat dilihat pada Gambar 3.3. batu pecah sebagai agregat kasar dengan kriteria berdiameter maksimum 40 mm.



Gambar 3.3: Grafik gradasi agregat kasar diameter maksimum 40 mm.

Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar ini menggunakan nomor saringan yang telah ditentukan berdasarkan SNI 03-2834-2000, dari hasil persentase berat kumulatif yang lolos saringan maka pasir tersebut masih dalam *range* kerikil maksimum 40 mm.

3.7.6. Keausan Agregat Dengan Mesin *Los Angeles*

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C33-1985 serta mengikuti buku panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil UMSU tentang keausan agregat dengan mesin los angeles.

Dari hasil penelitian didapat data-data sebagai berikut:

- Berat sample sebelum pengujian = 5000 gr
- Berat sample setelah pengujian = 4254 gr

Berat tiap-tiap ayakan tercantum dalam Tabel 3.11 berikut:

Tabel 3.11: Hasil pengujian keausan agregat.

Ukuran ayakan	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)
37,5 (1.5 in)	-	-
25 (1 in)	-	-
19.1 (3/4 in)	-	-
12.5 (1/2 in)	2500	1191
9.50 (No. 3/8 in)	2500	770
4.75 (No.4)	-	1393
2.36 (No. 8)	-	651
0.30 (No. 50)	-	-
0.15 (No. 100)	-	-
Pan	-	249
Total	5000	4254
Berat Lolos Saringan No. 12		746
<i>Abrasion</i> (keausan) %		14,92 %

$$\begin{aligned}
 \text{Abrasion} &= \frac{\text{Berat Awal} - \text{Berat Akhir}}{\text{Berat Awal}} \times 100 \% \\
 &= \frac{5000 - 4254}{5000} \times 100 \% &= 14,92 \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin *Los Angeles* diperoleh nilai Abrasi sebesar 14,92 % yang selanjutnya tersebut digunakan untuk pertimbangan proporsi campuran beton.

3.8. Perencanaan Campuran Beton

Tahap awal sebelum melakukan perencanaan campuran beton, dilakukan pengujian terhadap komponen-komponen dasar pembentuk beton sesuai dengan SNI (Standar Nasional Indonesia), yaitu pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar serta air. Selanjutnya dilakukan perencanaan campuran beton berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia). Hal ini menentukan persentase atau komposisi masing-masing komponen material pembentuk beton untuk memperoleh suatu campuran beton yang memenuhi kekuatan dan keawetan yang direncanakan serta memiliki kelecakan yang sesuai dengan mempermudah proses pengerjaan.

3.9. Pelaksanaan Penelitian

3.9.1. Trial Mix

Menentukan persentase atau komposisi masing-masing komponen material pembentuk beton untuk memperoleh suatu campuran beton yang ekonomis, memenuhi kekuatan dan keawetan yang direncanakan, serta memiliki kelecakan yang sesuai sehingga mempermudah proses pengerjaan.

3.9.2. Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan sisi berukuran 15 cm x 30 cm yang berjumlah 12 buah. Proses pembuatan benda uji ditunjukkan dengan gambar pada lampiran.

3.9.3. Pengujian *Slump*

Pengukuran tinggi *slump* dilakukan untuk menentukan kekakuan (dapat dikerjakan atau tidak) dari campuran beton segar (*fresh concrete*) untuk menentukan tingkat *workability* nya. Kekakuan dalam suatu campuran beton menunjukkan berapa banyak air yang digunakan. Target *slump* rencana sesuai mix design adalah 60-180 mm. Pengujian *slump* dilakukan berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh SNI 03-2834-2000.

3.9.4. Perawatan Beton

Setelah beton dikeluarkan dari cetakan, dilakukan perawatan dengan cara perendaman dalam air sampai saat uji kuat tarik belah dilakukan, yaitu pada umur 28 hari.

3.9.5. Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat Tarik belah dilakukan berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh SNI 03-2491-2002. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tekan dengan kapasitas 1500 KN. Benda uji diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Sebelum ditekan benda uji ditimbang terlebih dahulu untuk dapat mengetahui berat jenis beton. Jumlah sampel pengujian direncanakan sebanyak 12 buah dapat dilihat pada Tabel 3.12 berikut:

Tabel. 3.12: Jumlah variasi sampel pengujian beton.

No	Variasi Campuran Beton	Jumlah Sampel Pengujian
		28 hari
1.	Beton normal	3 buah
2.	Beton dengan campuran abu cangkang kelapa sawit 15% + <i>silica gel</i> 8%	3 buah

Tabel 3.12: *Lanjutan*

3.	Beton dengan campuran abu cangkang kelapa sawit 20% + <i>silica gel</i> 8%	3 buah
4.	Beton dengan campuran abu cangkang kelapa sawit 25% + <i>silica gel</i> 8%	3 buah
Total		12 buah

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perencanaan Campuran Beton

Dalam hal ini penulis akan menganalisis data-data yang telah diperoleh saat penelitian berlangsung sehingga didapat campuran beton yang diinginkan. Data tersebut dapat dilihat dari tabel berikut ini:

Tabel 4.1: Data-data analisis yang diperoleh saat penelitian.

Nama percobaan	Satuan	Hasil percobaan
Berat jenis agregat kasar	Gr/cm ³	2,696
Berat jenis agregat halus	Gr/cm ³	2,505
Kadar lumpur agregat kasar	%	0,7
Kadar lumpur agregat halus	%	3
Berat isi agregat kasar	Gr/cm ³	1,62
Berat isi agregat halus	Gr/cm ³	1,34
Kadar air agregat kasar	%	0,5
Kadar air agregat halus	%	0,9
FM agregat kasar		7,29
FM agregat halus		2,76
Penyerapan agregat halus	%	1,32
Penyerapan agregat kasar	%	0,746
Nilai slump rencana	mm	30-60
Ukuran agregat maksimum	mm	40

Setelah melakukan pengujian dasar maka nilai-nilai diatas tersebut dapat digunakan untuk perencanaan campuran beton (*Mix Design*) dengan kuat tekan disyaratkan sebesar 26 MPa yang terlampir pada tabel 4.1 berdasarkan SNI 03-2834-2000.

Tabel 4.2: Perencanaan campuran beton (SNI 03-2834-2000).

PERENCANAAN CAMPURAN BETON SNI 03-2834-2000			
No.	Uraian	Tabel/Gambar Perhitungan	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder)	Ditetapkan	26 Mpa
2	Deviasi Standar	-	12 Mpa
3	Nilai tambah (margin)	-	5,7 Mpa
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	1+2+3	43,7 Mpa
5	Jenis semen		Tipe I
6	Jenis agregat:	Ditetapkan	Batu pecah Binjai
	- kasar		
	- halus	Ditetapkan	Pasir alami Binjai
7	Faktor air-semen bebas	-	0,44
8	Faktor air-semen maksimum	Ditetapkan	0,60
9	Slump	Ditetapkan	60-180 mm
10	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	40 mm
11	Kadar air bebas	Tabel 4.7	185 kg/m ³
12	Jumlah semen	11:7	420,45 kg/m ³
13	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan	420,45 kg/m ³
14	Jumlah semen minimum	Ditetapkan	275 kg/m ³
15	Faktor air-semen yang disesuaikan	-	0,44
16	Susunan besar butir agregat halus	Gambar 3.2	Daerah gradasi zona 2
17	Susunan agregat kasar atau gabungan	Gambar 3.3	Gradasi maksimum 40 mm
18	Persen agregat halus	Gambar 4.2	38%
19	Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan)	-	2,624

Tabel 4.2: *Lanjutan.*

20	Berat isi beton	Gambar4.3		2375 kg/m ³	
21	Kadar agregat gabungan	20-(12+11)		1769,55 kg/m ³	
22	Kadar agregat halus	18 x 21		672,43 kg/m ³	
23	Kadar agregat kasar	21-22		1097,12 kg/m ³	
24	Proporsi campuran	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat kondisi jenuh kering permukaan (kg)	
				Halus	Kasar
	- Tiap m ³	420,45	185	672,43	1097,12
	- Tiap campuran uji m ³	1	0,44	1,60	3,61
24	- Tiap campuran uji 0,0053 m ³ (1 silinder)	2,23	0,98	3,56	5,81
25	Koreksi proporsi campuran				
	- Tiap m ³	420,45	190,52	669,60	1094,42
	- Tiap campuran uji m ³	1	0,45	1,59	2,60
	Tiap campuran uji 0,0053 m ³ (1 silinder)	2,23	1	3,55	5,8

Maka, dari hasil perencanaan beton diatas didapat perbandingan campuran akhir untuk setiap m³ adalah:

Tabel 4.3: Hasil perbandingan campuran bahan betontiap 1 benda uji dalam 1 m³.

Material	Semen	Pasir	Batu pecah	Air
Berat (kg)	420,45	669,60	1094,42	190,52
Perbandingan	1	1,59	2,60	0,45

a. Untuk benda uji

Menggunakan cetakan silinder dengan ukuran :

$$\begin{aligned}\text{Volume silinder} &= \pi r^2t \\ &= (22/7) \times 7,5^2 \times 30 \\ &= 5303,57 \text{ cm}^3 \\ &= 0,005304 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Maka:

1) Semen yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

$$\begin{aligned}&= \text{Banyak semen} \times \text{Volume 1 benda uji} \\ &= 420,45 \text{ kg/m}^3 \times 0,005304 \text{ m}^3 \\ &= 2,23 \text{ kg}\end{aligned}$$

2) Pasir yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

$$\begin{aligned}&= \text{Banyak pasir} \times \text{Volume 1 benda uji} \\ &= 669,60 \text{ kg/m}^3 \times 0,005304 \text{ m}^3 \\ &= 3,55 \text{ kg}\end{aligned}$$

3) Kerikil yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

$$\begin{aligned}&= \text{Banyak kerikil} \times \text{Volume 1 benda uji} \\ &= 1094,42 \text{ kg/m}^3 \times 0,005304 \text{ m}^3 \\ &= 5,8 \text{ kg}\end{aligned}$$

4) Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

$$\begin{aligned}&= \text{Banyak air} \times \text{Volume 1 benda uji} \\ &= 190,52 \text{ kg/m}^3 \times 0,005304 \text{ m}^3 \\ &= 1 \text{ kg}\end{aligned}$$

Perbandingan untuk 1 benda uji dalam satuan kg adalah:

Tabel 4.4: Perbandingan bahan beton untuk 1 benda uji (kg).

Material	Semen	Pasir	Batu pecah	Air
Berat (kg)	2,23	3,55	5,8	1

Tabel 4.5: Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Rumus		Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100}$	x berat kerikil	
1,5	4,77	$\frac{4,77}{100}$	x 5,8	0,28
3/4	34,38	$\frac{34,38}{100}$	x 5,8	1,99
3/8	46,10	$\frac{46,10}{100}$	x 5,8	2,67
No. 4	14,77	$\frac{14,77}{100}$	x 5,8	0,86
Total				5,8

Berdasarkan Tabel 4.5 menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji ialah saringan 1,5 sebesar 0,28 kg, saringan 3/4 sebesar 1,99 kg, saringan 3/8 sebesar 2,67 kg dan saringan no 4 sebesar 0,86 kg. Total keseluruhan agregat kasar yang tertahan untuk 1 benda uji sebesar 5,8 kg.

Tabel 4.6: Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Rumus		Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100}$	x berat pasir	
No.4	1,95	$\frac{1,95}{100}$	x 3,55	0,07
No.8	7,77	$\frac{7,77}{100}$	x 3,55	0,27
No.16	18,18	$\frac{18,18}{100}$	x 3,55	0,64
No.30	27,68	$\frac{27,68}{100}$	x 3,55	0,98

No.50	28,23	$\frac{28,23}{100} \times 3,55$	1,00
No.100	13,54	$\frac{13,54}{100} \times 3,55$	0,48
Pan	2,64	$\frac{2,64}{100} \times 3,55$	0,09
Total			3,55

Berdasarkan Tabel 4.6 menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji ialah saringan no 4 sebesar 0,07 kg, saringan no 8 sebesar 0,27 kg, saringan no 16 sebesar 0,64 kg, saringan no 30 sebesar 0,98 kg, saringan no 50 sebesar 1,00 kg, saringan no 100 sebesar 0,48 kg, dan pan sebesar 0,09 kg. Total keseluruhan agregat halus yang tertahan untuk 1 benda uji sebesar 3,55 kg.

b. Bahan tambah abu cangkang kelapa sawit

Untuk penggunaan bahan tambah menggunakan abu cangkang kelapa sawit 15%, 20% dan 25% dari berat agregat halus.

- Abu cangkang kelapa sawit yang dibutuhkan sebanyak 15% untuk 1 benda uji.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{15}{100} \times \text{Berat agregat halus} \\
 &= \frac{15}{100} \times 3,55 \text{ kg} \\
 &= 0,532 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Abu cangkang kelapa sawit yang dibutuhkan sebanyak 20% untuk 1 benda uji.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{20}{100} \times \text{Berat agregat halus} \\
 &= \frac{20}{100} \times 3,55 \text{ kg} \\
 &= 0,710 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Abu cangkang kelapa sawit yang dibutuhkan sebanyak 25% untuk 1 benda uji.

$$= \frac{25}{100} \times \text{Berat agregat halus}$$

$$= \frac{25}{100} \times 3,55 \text{ kg}$$

$$= 0,887 \text{ kg}$$

Tabel 4.7: Jumlah abu cangkang kelapa sawit terhadap agregat halus

No	Abu cangkang kelapa sawit (%)	Jumlah (kg)
1.	15	0,532
2.	20	0,710
3.	25	0,887

c. Bahan *admixture Silica Gel*

Untuk penggunaan bahan *admixture Silica Gel* sebanyak 8% akan didapatkan dari jumlah semen yang akan digunakan.

Silica Gel yang dibutuhkan sebanyak 8 % untuk 1 benda uji.

$$= \frac{8}{100} \times \text{Berat semen}$$

$$= \frac{8}{100} \times 2,23 \text{ kg}$$

$$= 0,1784 \text{ kg}$$

Dalam penelitian ini jumlah benda uji yang akan dibuat adalah sebanyak 12 benda uji, banyak bahan yang dibutuhkan untuk 12 benda uji adalah:

- Semen yang dibutuhkan untuk 12 benda uji
 - = Banyak semen 1 benda uji x 12 benda uji
 - = $2,23 \times 12$
 - = $26,76 \text{ kg}$
- Pasir yang dibutuhkan untuk 12 benda uji
 - = Banyak pasir untuk 1 benda uji x 12
 - = $3,55 \times 12$
 - = $42,6 \text{ kg}$
- Batu pecah yang dibutuhkan untuk 12 benda uji
 - = Banyak batu pecah untuk 1 benda uji x 12

$$= 5,8 \times 12$$

$$= 69,6 \text{ kg}$$

- Air yang dibutuhkan untuk 12 benda uji
 - = Banyak air untuk 1 benda uji x 12
 - = 1 x 12
 - = 12 kg

Perbandingan untuk 50 benda uji dalam satuan kg adalah:

$$\begin{array}{ccccccccc} \text{Semen} & : & & \text{Pasir} & : & & \text{Batu pecah} & : & & \text{Air} \\ 26,76 & : & & 42,6 & : & & 69,6 & : & & 12 \end{array}$$

Berdasarkan analisa saringan untuk 50 benda uji, maka didapat berat untuk masing-masing saringan pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8: Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 12 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat kasar}$
1,5"	4,77	3,32
3/4"	34,38	23,93
3/8"	46,10	32,09
No. 4	14,77	10,28

Total	69,62
-------	-------

Berdasarkan Tabel 4.8 menjelaskan jumlah berat tertahan untuk agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 12 benda uji ialah saringan 1,5” sebesar 3,32 kg, saringan 3/4” sebesar 23,93 kg, saringan 3/8” sebesar 32,09 kg dan saringan No.4 sebesar 10,28 kg dan total keseluruhan agregat kasar yang tertahan untuk 12 benda uji sebesar 69,62 kg.

Sedangkan untuk berat tertahan setiap saringan untuk agregat halus dilihat berdasarkan Tabel 4.9 dalam 12 benda uji ialah saringan No.4 sebesar 0,83 kg, saringan No.8 sebesar 3,31 kg, saringan No.16 sebesar 7,74 kg, saringan No.30 sebesar 11,79 kg, saringan No.50 sebesar 12,03 kg, saringan No.100 sebesar 25,77 kg, dan Pan sebesar 1,12 kg dan total keseluruhan agregat halus yang tertahan untuk 12 benda uji sebesar 42,6 kg.

Tabel 4.9: Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 12 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jumlah agregat halus}$
No.4	1,95	0,83
No. 8	7,77	3,31
No.16	18,18	7,74
No.30	27,68	11,79

No.50	28,23	12,03
No.100	13,54	5,77

Tabel 4.9: *Lanjutan.*

Pan	2,64	1,12
Total		42,6

4.1.1. Metode Pengerjaan Mix Design

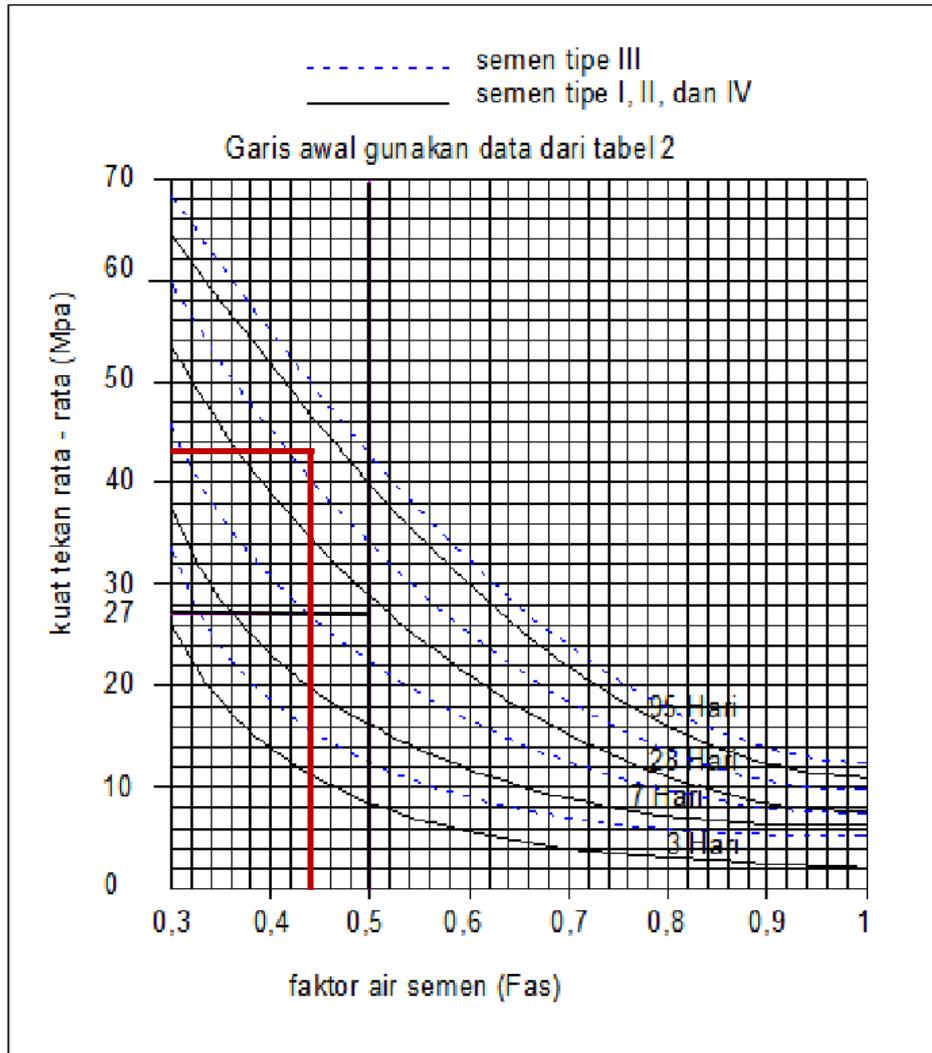
Pelaksanaan Mix Design dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Kuat tekan beton yang disyaratkan sudah ditetapkan yaitu 26 MPa untuk umur 28 hari.
- b. Menentukan nilai standar deviasi = 12 Mpa.
- c. Nilai tambah (margin) = 5,7 Mpa
- d. Kuat tekan rata-rata perlu f'_{cr}
 Kuat tekan rata-rata perlu diperoleh dengan :

$$f'_{cr} = f'_c + \text{standar deviasi} + \text{nilai tambah}$$

$$f'_{cr} = 26 + 12 + 5,7$$

$$= 43,7 \text{ MPa}$$
- e. Jenis semen yang digunakan adalah tipe I.
- f. Jenis agregat diketahui :
 - Agregat halus : Pasir alami
 - Agregat kasar : Batu pecah
- g. Nilai faktor air semen bebas diambil dari titik kekuatan tekan 43,7 MPa tarik garis datar menuju zona 28 hari, lalu tarik garis kebawah yang menunjukkan faktor air semen, seperti pada gambar 4.1.



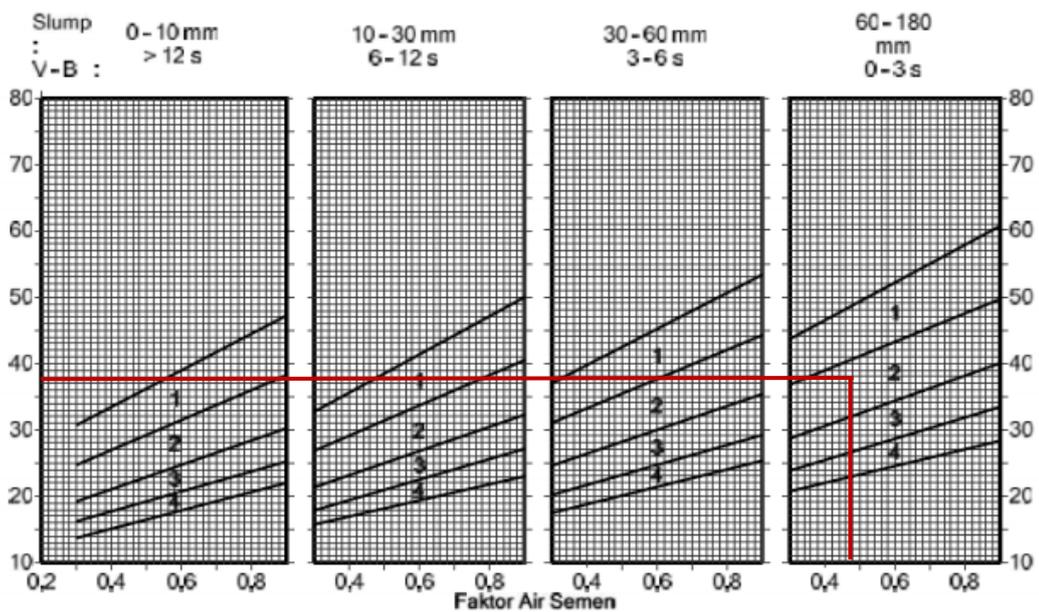
Gambar 4.1: Hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton silinder 15 x 30 cm (Mulyono, 2003).

- h. Faktor air semen maksimum dalam hal ini ditetapkan 0.60. Dalam faktor air semen yang diperoleh dari Gambar 4.1 tidak sama dengan yang ditetapkan, untuk perhitungan selanjutnya pakailah nilai faktor air semen yang lebih kecil.
- i. Nilai slump ditetapkan setinggi 60-180 mm.
- j. Ukuran agregat maksimum ditetapkan yaitu 40 mm.
- k. Jumlah kadar air bebas.

Agregat campuran (tak pecah dan dipecah), dihitung menurut rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\
 &= (\frac{2}{3} \times 175) + (\frac{1}{3} \times 205) \\
 &= 185 \text{ kg/ m}^3
 \end{aligned}$$

- l. Jumlah semen, yaitu : $185/0.44 = 420,45 \text{ kg/m}^3$
- m. Jumlah semen maksimum diambil sama dengan poin l.
- n. Susunan besar butir agregat halus ditetapkan pada daerah gradasi pasir zona 2.
- o. Proporsi berat agregat halus terhadap agregat campuran ini dicari dengan cara melihat gambar 4.2 memilih kelompok ukuran butiran agregat maksimum 40 mm pada nilai slump 60-180 mm dari nilai faktor air semen 0,44. Persentase agregat halus diperoleh nilai 38% pada daerah susunan butir nomor 2 pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 : Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm pada fas 0,44 (SNI 03-2834-2000).

- p. Berat jenis agregat campuran.

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus:

$$B_j \text{ camp} = K_h/100 \times B_{jh} + K_k/100 \times B_{jk}$$

Dimana:

$B_j \text{ camp}$ = berat jenis agregat campuran.

B_{jh} = berat jenis agregat halus.

B_{jk} = berat jenis agregat kasar.

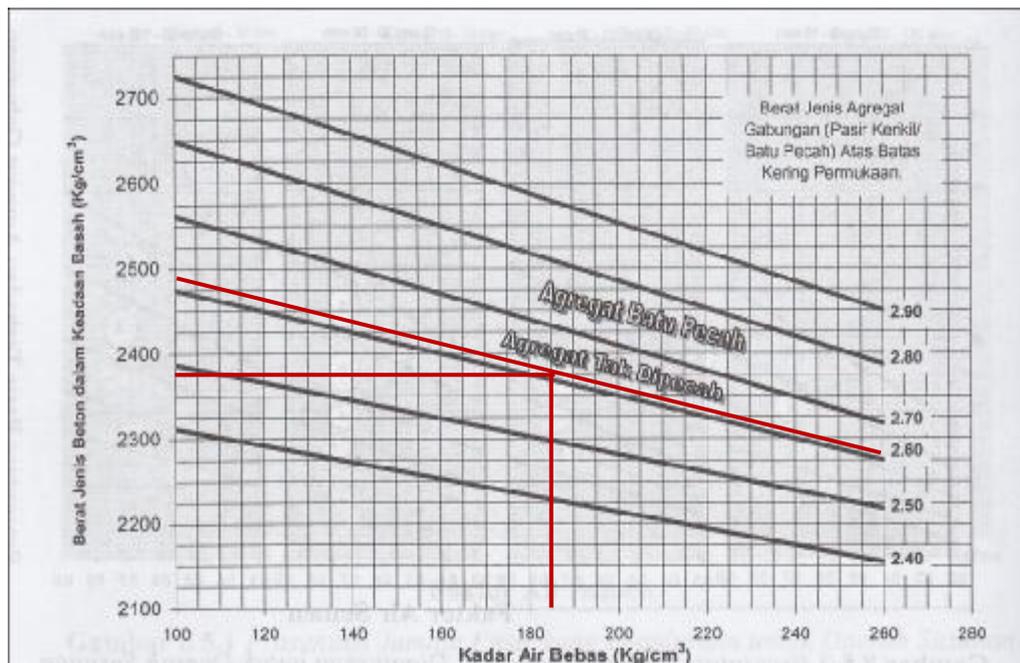
K_h = persentase berat agregat halus terhadap agregat campuran.

K_k = persentase berat agregat kasar terhadap agregat campuran.

$$\begin{aligned} B_{J \text{ camp}} &= (38/100 \times 2,5) + (62/100 \times 2,7) \\ &= 2,624 \end{aligned}$$

q. Perkiraan berat isi beton

Perkiraan berat isi beton diperoleh dari Gambar 4.3.



Gambar 4.3 : Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton pada fas 0,44 (SNI 03-2834-2000).

r. Menghitung kebutuhan berat agregat campuran.

Kebutuhan berat agregat campuran dihitung dengan rumus

$$W_{\text{agr camp}} = W_{\text{btm}} - W_{\text{air}} - W_{\text{smn}}$$

Dengan:

$W_{agr\ camp} =$ Kebutuhan berat agregat campuran per meter kubik beton (kg/m^3).

$W_{btm} =$ Berat beton per meter kubik beton (kg/m^3).

$W_{air} =$ Berat air per meter kubik beton (kg/m^3).

$W_{smn} =$ Berat semen per meter kubik beton (kg/m^3).

$$\begin{aligned}W_{agr\ camp} &= 2375 - (185 + 420,45) \\ &= 1769,55\ kg/m^3\end{aligned}$$

- s. Hitung berat agregat halus yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (o) dan (r). Kebutuhan agregat halus dihitung dengan rumus:

$$W_{agr\ h} = K_h \times W_{agr\ camp}$$

Dengan:

$K_h =$ persentase berat agregat halus terhadap agregat campuran (%).

$W_{agr\ camp} =$ kebutuhan agregat campuran per meter kubik beton (kg/m^3).

$$\begin{aligned}W_{agr\ h} &= 0,38 \times 1769,55 \\ &= 672,43\ kg/m^3\end{aligned}$$

- t. Hitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (o) dan (r). Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan rumus:

$$W_{agr\ k} = W_{agr\ camp} - W_{agr\ h}$$

Dengan :

$K_k =$ persentase berat agregat kasar terhadap agregat campuran (%).

$W_{agr\ camp} =$ kebutuhan agregat campuran per meter kubik beton (kg/m^3).

$$\begin{aligned}W_{agr\ k} &= 1769,55 - 672,43 \\ &= 1097,12\ kg/m^3\end{aligned}$$

- u. Proporsi campuran menurut, kondisi agregat dalam kejadian jenuh kering permukaan semen, air, agregat halus dan agregat kasar harus dihitung dalam

per m³ adukan.

v. Koreksi proporsi campuran menurut perhitungan

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari dan harus dihitung menurut rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Air} &= B - (C_k - C_a) \times C/100 - (D_k - D_a) \times D/100 \\ &= 185 - (0,9 - 1,32) \times 672,43/100 - (0,5 - 0,746) \times 1097,12/100 \\ &= 190,52 \text{ kg/m}^3.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat halus} &= C + (C_k - C_a) \times C/100 \\ &= 672,43 + (0,9 - 1,32) \times 672,43/100 \\ &= 669,60 \text{ kg/m}^3.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat kasar} &= D + (D_k - D_a) \times D/100 \\ &= 1097,12 + (0,5 - 0,746) \times 1097,12/100 \\ &= 1094,42 \text{ kg/m}^3.\end{aligned}$$

Jadi, koreksi proporsi campuran per benda uji adalah :

$$\text{Air} = 190,52 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat halus} = 669,60 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat kasar} = 1094,42 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Semen} = 420,454 \text{ kg/m}^3$$

4.2. Pembuatan Benda Uji

Dalam penelitian ini menggunakan kubus sebagai benda uji dengan ukuran sisi 15 cm, jumlah benda uji yang dibuat adalah sebanyak 50 benda uji.

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam pembuatan benda uji:

a. Pengadukan beton.

Beton diaduk menggunakan mesin pengaduk (*mixer*). Untuk penggunaan air, air dibagi menjadi 3 bagian. Pertama tuang air ke dalam mixer 1/3 bagian, kemudian agregat kasar, lalu agregat halus, masukkan 1/3 air lagi, setelah itu masukkan semen, terakhir masukkan 1/3 air terakhir ke dalamnya. Mixer dikondisikan agar campuran teraduk dengan tampak rata dan homogen. Setelah beton tercampur merata kemudian adukan beton tersebut dituang ke dalam pan.

b. Pencetakan.

Sebelum beton dimasukkan ke dalam cetakan terlebih dahulu dilakukan pengukuran kelecakan (*slump test*). Setelah itu kemudian adukan beton dimasukkan ke dalam cetakan yang telah disediakan, masukkan adukan beton ke dalam cetakan dengan menggunakan sekop. Setiap pengambilan dari pan harus dapat mewakili dari adukan tersebut, isi 1/3 cetakan dengan adukan lalu dilakukan pemadatan dengan cara dirojok/tusuk menggunakan batang besi yang berdiameter 16 mm, dengan jumlah tusukan 25 kali, hal ini terus dilakukan untuk 2/3 dan 3/3 atau sampai cetakan penuh kemudian pukul-pukul bagian luar cetakan dengan menggunakan palu karet agar udara yang terperangkap didalam adukan dapat keluar, setelah itu ratakan permukaan cetakan dan di tutup dengan kaca untuk menjaga penguapan air dari beton segar. Lepaskan cetakan setelah 20 jam dan jangan lebih dari 48 jam setelah pencetakan.

c. Pemeliharaan beton.

Setelah cetakan dibuka kemudian beton tersebut ditimbang lalu direndam di dalam air (terendam keseluruhan) hingga umur yang telah ditentukan. Ruang penyimpanan harus bebas getaran selama 48 jam pertama setelah perendaman.

4.3. *Slump Test*

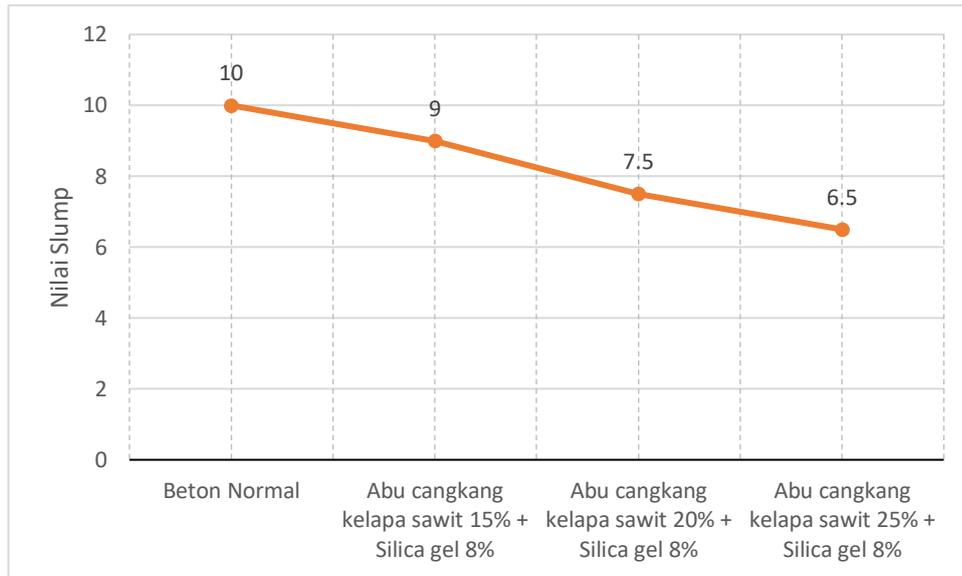
Pengujian *slump* dilakukan dengan kerucut *abrams* dengan cara mengisi kerucut *abrams* dengan beton segar sebanyak 3 lapis, tiap lapis kira-kira 1/3 dari

isi kerucut pada tiap lapisan dilakukan penusukan sebanyak 25 kali, tongkat penusuk harus masuk sampai bagian bawah tiap–tiap lapisan setelah pengisian selesai ratakan permukaan kerucut lalu angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan lateral atau torsional. Selesaikan seluruh pekerjaan pengujian dari awal pengisian hingga pelepasan cetakan tanpa gangguan dalam waktu tidak lebih 2,5 menit, ukur tinggi adukan selisih tinggi kerucut dengan adukan adalah nilai dari *slump*.

Tabel 4.10: Hasil pengujian nilai *slump*.

No	Variasi	Tinggi Slump
1	Beton Normal	10 cm
2	Abu cangkang kelapa sawit 15% + <i>Silica gel</i> 8%	9 cm
3	Abu cangkang kelapa sawit 20% + <i>Silica gel</i> 8%	7,5 cm
4	Abu cangkang kelapa sawit 25% + <i>Silica gel</i> 8%	6,5 cm

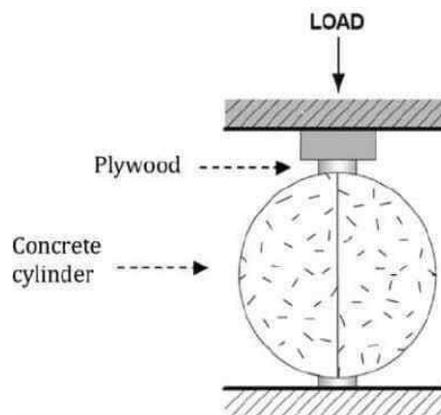
Berdasarkan Tabel 4.10 menjelaskan perbandingan nilai slump antara beton normal, beton dengan abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8%, abu cangkang kelapa sawit 20% dan *silica gel* 8%, abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8%, dimana pada beton normal didapatkan nilai *slump* tertinggi yaitu 9 cm, sedangkan beton dengan campuran abu cangkang kelapa sawit dan *silica gel* mengalami penurunan pada nilai slump. Berikut pada Gambar 4.4 dapat dilihat grafik naik dan turunnya nilai *slump*



Gambar 4.4: Grafik perbandingan nilai *slump*.

4.4. Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dengan menggunakan mesin tekan dengan kapasitas 1500 KN dan batang penekan tambahan. Benda uji diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Benda uji yang akan dites adalah berupa silinder dengan diameter 15 cm dan panjang 30 cm sebanyak 12 buah, seperti pada Gambar 4.5, dengan pengelompokan benda uji sesuai dengan variasi campurannya.



Gambar 4.5: Kuat tarik belah pada benda uji silinder.

Ada beberapa macam cetakan benda uji yang dipakai, diantaranya adalah kubus dengan sisi 15 cm. Serta silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perbedaannya terletak pada perhitungan untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah beton yang didapat setelah diuji. Yakni faktor untuk kubus adalah 1, sedangkan faktor dari silinder adalah 0,83.

4.4.1. Kuat Tarik Belah Beton Normal

Pengujian beton normal dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dengan jumlah benda uji 3 buah. Hasil kuat tarik belah beton normal 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Berdasarkan Tabel 4.11 menjelaskan hasil uji kuat tarik belah beton normal 28 hari. Dari 3 masing-masing benda uji beton normal yang diuji kuat tarik belahnya, maka diperoleh nilai kuat tarik belah beton rata-rata sebesar 3,52 MPa pada umur beton 28 hari.

Tabel 4.11: Hasil pengujian kuat tarik belah beton normal.

Benda Uji	Beban (P) (kg)	$\pi LD = 1413$ cm^2 $F_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$ (MPa)	Faktor Silinder $F_{ct} / 0,83$ (MPa)	f_c rata-rata (MPa)
Umur 28 hari				
1	20000	2,83	3,41	3,52
2	21000	2,97	3,58	
3	21000	2,97	3,58	

4.4.2. Kuat Tarik Belah Beton Abu Cangkang Kelapa Sawit 15% Dan *Silica*

Gel 8%

Pengujian beton abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8% dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dengan jumlah benda uji 3 buah. Hasil kuat tarik belah beton abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8% 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Berdasarkan Tabel 4.12 menjelaskan hasil uji kuat tarik belah beton abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8% 28 hari. Dari 3 masing-masing benda uji beton abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8% yang diuji kuat tarik belahnya, maka diperoleh nilai kuat tarik belah beton rata-rata sebesar 3,83 MPa pada umur beton 28 hari.

Tabel 4.12: Hasil pengujian kuat tarik belah beton abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8%.

Benda Uji	Beban (P) (kg)	$\pi LD = 1413$ cm ² $F_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$ (MPa)	Faktor Silinder $F_{ct} / 0,83$ (MPa)	f_c rata-rata (MPa)
Umur 28 hari				
1	21000	2,97	3,58	3,83
2	22500	3,18	3,83	
3	24000	3,39	4,08	

4.4.3. Kuat Tarik Belah Beton Abu Cangkang Kelapa Sawit 20% Dan *Silica Gel* 8%

Pengujian beton abu cangkang kelapa sawit 20% dan *silica gel* 8% dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dengan jumlah benda uji 3 buah. Hasil kuat tarik belah beton abu cangkang kelapa sawit 20% dan *silica gel* 8% 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Berdasarkan Tabel 4.13 menjelaskan hasil uji kuat tarik belah beton abu cangkang kelapa sawit 20% dan *silica gel* 8% 28 hari. Dari 3 masing-masing benda uji beton abu cangkang kelapa sawit 20% dan *silica gel* 8% yang diuji kuat tarik belahnya, maka diperoleh nilai kuat tarik belah beton rata-rata sebesar 4,38 MPa pada umur beton 28 hari.

Tabel 4.13: Hasil pengujian kuat tarik belah beton abu cangkang kelapa sawit 20% dan *silica gel* 8%.

Benda Uji	Beban (P) (kg)	$\pi LD = 1413$ cm ² $F_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$ (MPa)	Faktor Silinder $F_{ct} / 0,83$ (MPa)	f'_c rata-rata (MPa)
Umur 28 hari				
1	24500	3,47	4,18	4,38
2	25500	3,61	4,35	
3	27000	3,82	4,60	

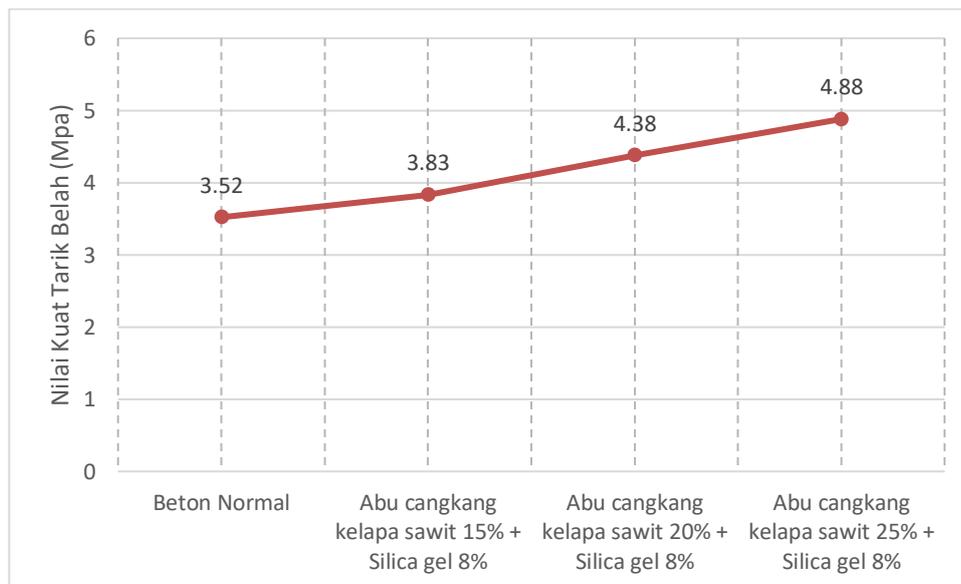
4.4.4. Kuat Tarik Belah Beton Abu Cangkang Kelapa Sawit 25% Dan *Silica Gel* 8%

Pengujian beton abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8% dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dengan jumlah benda uji 3 buah. Hasil kuat tarik belah abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8% 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14: Hasil pengujian kuat tarik belah beton abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8%.

Benda Uji	Beban (P) (kg)	$\pi LD = 1413$ cm ² $F_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$ (MPa)	Faktor Silinder $F_{ct} / 0,83$ (MPa)	f_c rata-rata (MPa)
Umur 28 hari				
1	27500	3,89	4,68	4,88
2	28500	4,03	4,85	
3	30000	4,25	5,12	

Berdasarkan Tabel 4.14 menjelaskan hasil uji kuat tarik belah beton abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8% 28 hari. Dari 3 masing-masing benda uji beton abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8% yang diuji kuat tarik belahnya, maka diperoleh nilai kuat tarik belah beton rata-rata sebesar 4,88 MPa pada umur beton 28 hari.



Gambar 4.6: Grafik persentase nilai kuat tarik belah beton umur 28 hari.

Dari hasil Gambar 4.6, dapat dilihat bahwa persentase kenaikan kuat tarik belah beton terjadi karena penambahan abu cangkang kelapa sawit pada beton 28 hari.

4.5. Pembahasan

Bila dibandingkan kuat tarik belah beton normal dengan beton yang menggunakan abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8%, abu cangkang kelapa sawit 20% dan *silica gel* 8%, abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8% mengalami kenaikan. Persentase kenaikan kuat tarik belah dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

- Pengisian abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8%

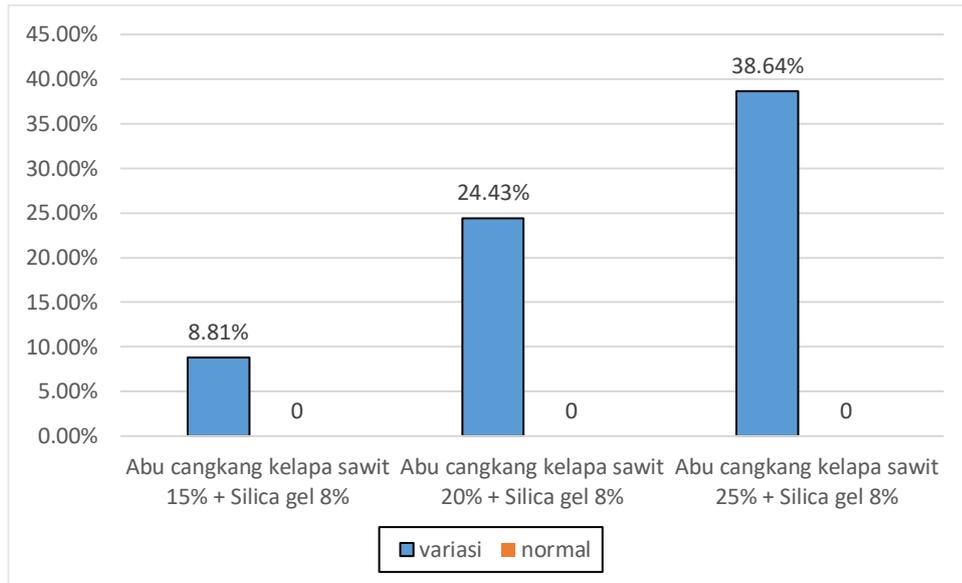
$$\begin{aligned}\text{Besar nilai kenaikan (umur 28 hari)} &= \frac{3,83-3,52}{3,52} \times 100\% \\ &= 8,81\%\end{aligned}$$

- Pengisian abu cangkang kelapa sawit 20% dan *silica gel* 8%

$$\begin{aligned}\text{Besar nilai kenaikan (umur 28 hari)} &= \frac{4,38-3,52}{3,52} \times 100\% \\ &= 24,43\%\end{aligned}$$

- Pengisian abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8%

$$\begin{aligned}\text{Besar nilai kenaikan (umur 28 hari)} &= \frac{4,88-3,52}{3,52} \times 100\% \\ &= 38,64\%\end{aligned}$$



Gambar 4.7: Grafik persentase kenaikan kuat tarik belah beton 28 hari.

Perbandingan kuat tarik belah beton normal dengan beton yang menggunakan abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8%, abu cangkang kelapa sawit 20% dan *silica gel* 8%, abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8%, persentasenya mengalami kenaikan.

Maka, berdasarkan data yang telah dikumpulkan mengenai kenaikan kuat tarik belah beton. Hasil penelitian ini memiliki beberapa faktor yang dapat menaikkan kuat tarik belah. Adapun faktor yang dapat yang mengakibatkan hal ini terjadi adalah karena persentase abu cangkang kelapa sawit yang memang digunakan untuk menaikkan kuat tarik belah beton, dan keserasian abu cangkang kelapa sawit dengan zat di dalam *silica gel* semakin membuat kuat tarik belah beton semakin tinggi. Persentase paling tinggi berada pada beton dengan variasi abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8% sebesar 38,64 % untuk umur 28 hari.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian beton dengan menggunakan abu cangkang kelapa sawit dan *Silica gel*, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, semakin tinggi persentase abu cangkang kelapa sawit pada penelitian ini, maka akan semakin tinggi nilai kuat tarik belah yang didapatkan.
2. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, untuk nilai *slump* rata-rata beton adalah *slump* beton abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8% adalah 9 cm, *slump* beton abu cangkang kelapa sawit 20% dan *silica gel* 8% adalah 7,5 cm, *Slump* beton abu cangkang kelapa sawit 15% dan *silica gel* 8% adalah 6,5 cm.

Dari data tersebut terlihat bahwa nilai *slump* dipengaruhi oleh penggunaan abu cangkang kelapa sawit. Semakin besar kandungan abu cangkang kelapa sawit maka semakin kecil nilai *slump* nya. Semakin kecil nilai *slump* berarti tingkat kemudahan pengerjaannya (*workability*) semakin rendah.

3. Berdasarkan data nilai kuat tarik belah pada pembahasan, maksimum pada campuran beton dengan menggunakan abu cangkang kelapa sawit 25% dan *silica gel* 8% dengan kuat tarik belah rata-rata 4,88 MPa. Sedangkan kuat tarik belah minimum yang dihasilkan sebesar 3,83 MPa pada beton tanpa penggunaan abu cangkang kelapa sawit dan *silica gel*.

5.2. Saran

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai pemakaian abu cangkang kelapa sawit dan *silica gel* dengan variasi yang lebih banyak lagi, agar

mengetahui sampai batas persentase dimana yang mampu membuat kuat tarik belah naik dan tidak turun lagi.

2. Pencampuran abu sebaiknya lebih diperhatikan untuk menghindari tidak meratanya saat pengecoran.
3. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan alat-alat yang memadai agar hasil yang didapat lebih akurat lagi.
4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan kimia yang berbeda.
5. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk meninjau kuat tekan dan kuat lentur pada beton campuran abu cangkang kelapa sawit dan *silica gel*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amna, K., Wesli, & Hamzani. (2016). Pengaruh Penambahan Serat Tandan Sawit Terhadap Kuat Tekan. *4(August)*, 11–20.
- Analisis, S., Kapur, B., Laut, P., Sumba, K., Daya, B., Nusa, P., Timur, T., Kandi, Y. S., & Ramang, R. (2012). Substitusi Agregat Halus Beton Menggunakan Kapur Alam Dan Menggunakan Pasir Laut Pada Campuran Beton (Studi Analisis Bahan Kapur Alam Dan Pasir Laut Dari Kabupaten Sumba Barat Daya Provinsi Nusa Tenggara Timur). *1(4)*, 74–86.
- Gunawan, P., Sunarmasto, & Yunanto, A. D. (2014). Studi kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton ringan teknologi foam dengan bahan tambah serat polyester. *3*, 619–627.
- Hani, S. (2018). Pengaruh Campuran Serat Pisang Terhadap Beton. *4*, 40–45.
- Hendriyani, I. (2016). Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Reduced Water Dan Accelerated. *17(2)*, 205–218.
- Hengky, C. (n.d.). Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Suryakencana. 1–9.
- Prianti, E., Malino, M. B., & Lapanporo, B. P. (2015). Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir pada Pembuatan Beton. *Positron*, *5(1)*, 26–29. <https://doi.org/10.26418/positron.v5i1.9744>
- Rahamudin, R. H., Manalip, H., & Mondoringin, M. (2016). Pengujian Kuat Tarik Belah Dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar (Batu Apung) Dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik*, *4(3)*, 225–231.
- Rahman, F., & Fathurrahman, F. (2017). Pemanfaatan Hasil Pembakaran Limbah Cangkang Kelapa Sawit sebagai Bahan Pengganti Pasir pada Pembuatan Beton Normal. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, *6(1)*, 30–40. <https://doi.org/10.33084/mits.v6i1.259>
- Science, A., Mada, G., & Nanggalo, K. (2016). Analisa Daya Serap Silika Gelberbahan Dasar Abu Sekam Padi Hendriwan Fahmi *, Abdul Latif Nurfalah PENDAHULUAN Indonesia merupakan negara penghasil beras terbesar di dunia setelah Cina dan India (*FAO Statistics Division* , 2008). Beras yang merupakan bag. *3*, 176–182.
- SNI 2491:2014. (2014). Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton silinder *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of*.

Suhardiman, M. (2011). Kajian Pengaruh Penambahan Serat Bambu Ori Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton. *Jurnal Teknik, Vol. 1 No.*, 8.

Tridinanti, 2019. (2019). *No Title*.

Wolfman, L. S. B. A. (2013). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Zai, K. A., & Karolina, R. (n.d.). Pengaruh Penambahan Silica Fume Dan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Metode *Aci (American Concrete Institute). 1*.

LAMPIRAN



Gambar L1: Dokumentasi persiapan penelitian.



Gambar L2: Dokumentasi pemeriksaan bahan agregat penelitian.



Gambar L3: Dokumentasi persiapan pembuatan benda uji penelitian.



Gambar L4: Dokumentasi proses pengecoran pembuatan benda uji penelitian.



Gambar L5: Dokumentasi proses pengecoran pembuatan benda uji penelitian.



Gambar L6: Dokumentasi proses pencetakan benda uji penelitian.



Gambar L7: Dokumentasi proses perawatan beton menggunakan rendaman air tawar.



Gambar L9: Dokumentasi pengujian kuat tarik belah beton.



Gambar L10: Dokumentasi bahan tambah *silica gel*.



Gambar L11: Dokumentasi bahan tambah abu cangkang kelapa sawit.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DAFTAR DIRI PESERTA

Nama Lengkap : MUHAMMAD YUSRIL CHAIR
Panggilan : YUSRIL
Tempat/Tanggal Lahir : Jakarta, 23 Februari 1999
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jln. Ismail Harun Gg. Kemuning 14 No. 16
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : SYAFRIL CHAIR AFRIZAL
Ibu : JULIANA
No. HP : 082166966458
E-mail : yusril23021999@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1607210067
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jln.Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No.	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat
1.	Sekolah Dasar	SD SWASTA SENTOSA
2.	SMP	MTs NEGERI 2 MEDAN
3.	SMK	SMKN 1 PERCUT SEI TUAN
4.	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2016	