

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH ABU CANGKANG
KELAPA SAWIT TERHADAP KUAT TARIK PADA
BETON DENGAN BAHAN TAMBAHAN
SUPERPLASTICIZER
(Studi Penelitian)**

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

Disusun Oleh:

MUHAMMAD REJA PALEPY
1607210223



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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



UMSU
Unggul | Terpercaya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 – EXT. 12

Website : <http://fatek.umsu.ac.id> Email : fatek@umsu.ac.id

Wab surat ini agar disebutkan
tanggalnya

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Reja Palepy
NPM : 1607210223
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Limbah Abu Cangkang
Kelapa Sawit Terhadap Kuat Tarik Pada Beton
Dengan Bahan Tambahan *Superplasticizer*
Bidang Ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 13 November 2020

Dosen Pembimbing

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Unggul | Cerdas | Terpercaya

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Reja Palepy

NPM : 1607210223

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Limbah Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Kuat Tarik Pada Beton Dengan Bahan Tambahan *Superplasticizer*

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan 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, 13 November 2020

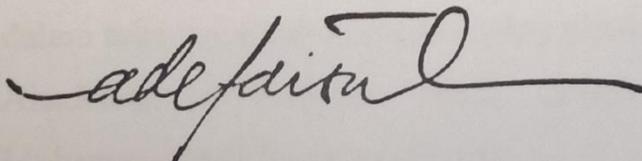
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



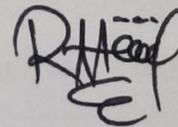
Dr. Fahrizal Zulkarnain

Dosen Pembimbing I



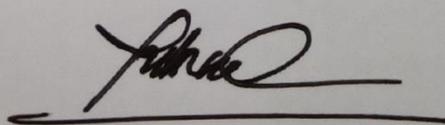
Dr. Ade Faisal

Dosen Pembimbing II



Rizki Efrida, S.T,M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Reja Palepy
Temapat, Tanggal Lahir : Medan, 16 Oktober 1998
NPM : 1607210223
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Skripsi saya yang berjudul:

“Pengaruh Penambahan Limbah Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Kuat Tarik Pada Beton Dengan Bahan Tambahan *Superplasticizer*”

Bukan merupakan plagiarism, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena/hubungan material dan non-material serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya merupakan karya tulis skripsi saya secara orisinil dan otentik.

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

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam tekanan ataupun paksaan dari pihak manapiun, demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Sipil ,Fakultas Teknik ,Univeritas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 November 2020
Saya yang menyatakan,



Muhammad Reja Palepy

ABSTRAK

Pengaruh Penambahan Limbah Abu Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Kuat Tarik Pada Beton Dengan Bahan Tambahan *Superplasticizer*

Muhammad Reja Palepy
1607210223
Dr. Fahrizal Zulkarnain

Dalam bidang konstruksi, beton merupakan salah satu elemen yang paling mendapat perhatian dan umum digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur di kalangan masyarakat. Berdasarkan buku statistik komoditas kelapa sawit terbitan Ditjen Perkebunan, tahun 2014 luas areal kelapa sawit mencapai 10,9 juta Ha dengan produksi 29,3 juta ton CPO. Salah satu limbah pengolahan minyak kelapa sawit dalam jumlah yang cukup besar adalah cangkang kelapa sawit. Cangkang yang di hasilkan mencapai 60% dari produksi minyak. Cangkang kelapa sawit mempunyai komposisi kandungan selulosa (26,27%), hemiselulosa (12,61%), dan ligin (42,96%). Sebelum menjadi campuran beton cangkang kelapa sawit mengalami proses penggilingan dan pembakaran pada suhu 700 – 800°C. Abu cangkang kelapa sawit di sini digunakan sebagai variasi dari agregat halus untuk campuran beton. *Superplasticizer* atau *high range water reducer admixtures* sangat meningkatkan kelecakan campuran. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari nilai kuat tarik belah beton dari penambahan abu cangkang kelapa sawit sebagai substitusi pasir dan sika *viscocrete 3115N*. Dengan variasi penambahan abu cangkang kelapa sawit 0%, 10%, 20% dan 30% dari berat pasir dan sika *viscocrete 3115N* sebesar 0,8% dari berat semen. Sampel pengujian beton yang digunakan adalah silinder dengan ukuran 15 x 30 cm³ sebanyak 12 benda uji. Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada umur 28 hari. Nilai kuat tarik yang diperoleh mengalami kenaikan pada variasi 10% dengan nilai (4,74 MPa) dari beton normal dengan nilai (4,60MPa) dan mengalami penurunan pada variasi 20% (3,96 MPa) dan variasi 30% (3,54MPa). Nilai kuat tarik optimum terjadi pada variasi abu cangkang kelapa sawit 10%.

Kata Kunci: Abu Cangkang Kelapa Sawit, Kuat Tarik Belah, sika *viscocrete 3115N*

ABSTRACT

The Effect of Addition of Palm Shell Ash Waste to Tensile Strength In Concrete With Superplasticizer Additives

Muhammad Reja Palepy
1607210223
Dr. Fahrizal Zulkarnain

In the construction sector, Concrete is one of the elements that has received the most attention and is commonly used to build various infrastructures in the community. Based on the oil palm commodity statistics book published by the Directorate General of Plantation, in 2014 the total area of oil palm reached 10.9 million hectares with a production of 29.3 million tons of CPO. One of the waste from processing palm oil in a large enough amount is palm kernel shell. The resulting shell accounts for 60% of oil production. Oil palm shell has a composition of cellulose (26.27%), hemicellulose (12.61%), and lignin (42.96%). Before becoming a concrete mixture, the oil palm shells undergo a grinding and burning process at a temperature of 700 – 800° C. Oil palm shell ash is used here as a variation of fine aggregate for concrete mixtures. Superplasticizers or high range water reducer admixtures greatly increase the volatility of the mixture. This study aims to study the tensile strength value of concrete from the addition of oil palm shell ash as a substitute for sand and sika viscocrete 3115N. With variations in the addition of oil palm shell ash 0%, 10%, 20% and 30% by weight of sand and sika viscocrete 3115N of 0.8% by weight of cement. The concrete test sample used was a cylinder with a size of 15 x 30 cm³ as many as 12 specimens. Tensile strength test of concrete is done at the age of 28 days. The tensile strength value obtained has increased at 10% variation with the value (4.74 MPa) of normal concrete with a value (4.60 MPa) and has decreased at 20% variation (3.96 MPa) and 30% variation (3.54 MPa). The optimum tensile strength value occurs at 10% variation of oil palm shell ash.

Keywords: Palm Shell Ash, Tensile Strength, Sika viscocrete 3115N

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 “Pengaruh penambahan limbah abu cangkang kelapa sawit terhadap kuat tarik pada beton dengan bahan tambahan *Supperplasticizer* (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, Selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini sekaligus Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan masukan.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T,M.T, Selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Irma Dewi, S.T, M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansuri Siregar, S.T., M.Sc, Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

7. Bapak/Ibu staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Koestaruddin dan Ibunda tercinta Nurasih yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada penulis.
9. Terimakasih kepada rekan-rekan seperjuangan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Stambuk 2016.

Terimakasih atas bantuan, kebersamaannya, waktu serta dan dukungannya selama ini kepada penulis. Semoga ALLAH SWT membalas kebaikan yang telah diberikan kepada penulis, semoga laporan magang ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Medan, 13 November 2020

MUHAMMAD REJA PALEPY
NPM.1607210223

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian umum Beton	6
2.2 Beton normal	7
2.3 Semen	7
2.4 Agregat	8
2.4.1 Agregat Kasar	8
2.4.2 Agregat Halus	9
2.5 Air	9
2.6 Bahan Tambahan	10
2.6.1 Limbah Abu Cangkang Kelapa Sawit	10
2.6.2 Superplasticizer	12
	vii

2.7 Kuat Tarik	13
2.8 Kajian Terdahulu	14
2.9 Perencanaan Pembuatan Campuran (Mix Design) Menurut SNI 03-2834-2000	15
2.10 Nilai Slump	27
BAB 3 METODE PENELITIAN	28
3.1 Metode Penelitian	28
3.1.1 Data Primer	30
3.1.2 Data Sekunder	30
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.3 Instrumen Penelitian	30
3.3.1 Desain benda uji	30
3.3.2 Bahan Pembuatan Benda Uji	31
3.4 Alat Pembuatan Benda Uji	32
3.4.1 Alat Pendukung	33
3.5 Metode Pembuatan Abu Cangkang Kelapa Sawit	33
3.6 Perencanaan Campuran Beton	33
3.7 Pembuatan Benda Uji	41
3.8 Pemeriksaan <i>Slump Flow</i>	43
3.9 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Tinjauan Umum	45
4.2 Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton	45
4.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	45
4.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar	50
4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Abu Cangkang sawit	55
4.4 Perencanaan Campuran Beton	56

4.5 Kebutuhan Bahan	61
4.6 Pengujian Slump	62
4.7 Berat Isi Beton	63
4.8 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	64
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	71
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Sifat Fisis Kerak Cangkang Sawit (Opirina dkk., 2016).	12
Tabel 2.2: Komposisi kimia abu cangkang kelapa sawit (Hengky Gunawan).	12
Tabel 2.3: Faktor pengali untuk standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang tersedia (SNI 03-2834-2000).	15
Tabel 2.4: Tingkat mutu pekerjaan pembetonan (Mulyono, 2004).	16
Tabel 2.5: Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air semen dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia.	17
Tabel 2.6: Perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton (SNI 03-2834-2000).	19
Tabel 2.7: Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus (SNI 03-2834- 2000).	20
Tabel 2.8: Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat (SNI 03-2834- 2000).	21
Tabel 2.9: <i>Lanjutan.</i>	22
Tabel 2.10: Ketentuan Minimum Untuk Beton Bertulang Kedap Air (SNI 03-2834- 2000).	23
Tabel 3.1: Komposisi campuran benda uji dan kode benda uji.	31
Tabel 3.2: Peralatan pembuatan benda uji.	32
Tabel 3.3: Alat pendukung pembuatan benda uji.	33
Tabel 3.4: Faktor pengali untuk standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang tersedia.	34
Tabel 3.5: Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air semen dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia.	35
Tabel 3.6: <i>Lanjutan.</i>	36
Tabel 3.7: Perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton.	37

Tabel 3.8: Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus.	38
Table 4.1: Hasil pengujian analisa agregat halus.	46
Table 4.2: Daerah gradasi agregat halus.	46
Table 4.3: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.	48
Table 4.4: Hasil pengujian kadar air agregat halus.	49
Table 4.5: Hasil pengujian berat isi agregat halus.	49
Table 4.6: Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus.	50
Table 4.7: Hasil pengujian analisa agregat kasar.	51
Table 4.8: Batas gradasi agregat kasar.	51
Table 4.9: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.	53
Table 4.10: Hasil pengujian kadar air agregat kasar.	54
Table 4.11: Hasil pengujian berat isi agregat kasar.	54
Table 4.12: Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar.	55
Table 4.13: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan abu cangkang sawit.	55
Table 4.14: <i>Lanjutan</i>	56
Table 4.15: Rekapitulasi perencanaan campuran beton (<i>Mix Design</i>).	60
Table 4.16: <i>Lanjutan</i>	61
Table 4.17: Kebutuhan bahan berbagai variasi campuran.	62
Table 4.18: Hasil pengujian slump.	62
Table 4.19: Hasil pengujian berat isi beton.	63
Table 4.20: Hasil pengujian kuat tarik belah beton.	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder beton.	18
Gambar 2.2: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk	24
Gambar 2.3: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk	24
Gambar 2.4: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm (SNI 03-2834-2000).	24
Gambar 2.5: Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton (SNI 03-2834-2000).	25
Gambar 3.1: Bagan alir penelitian yang dilaksanakan.	29
Gambar 3.2: Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm).	36
Gambar 3.3: Batas gradasi pasir (Sedang) No. 2.	39
Gambar 3.4: Batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 20 mm.	39
Gambar 3.5: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk.	40
Gambar 3.6: Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton.	41
Gambar 4.1: Grafik Analisa Agregat Halus.	47
Gambar 4.2: Grafik Analisa Agregat Kasar.	52
Gambar 4.3: Grafik Slump Rata – Rata.	63
Gambar 4.4: Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Semua Variasi.	65
Gambar 4.5: Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Rata – Rata.	66

DAFTAR NOTASI

F_{ct} = kuat tarik belah	(MPa)
P = Beban maksimum beban belah	(N)
L = Panjang benda uji silinder	(mm)
D = Diameter benda uji silinder	(mm)
B = Berat SSD agregat halus	(Gr)
E = Berat SSD kering oven agregat halus	(Gr)
D = Berat Pic + air	(Gr)
C = Berat SSD + berat pic + air	(Gr)
A = Berat SSD agregat kasar	(Gr)
B = Berat SSD di dalam air	(Gr)
C = Berat SSD kering oven agregat kasar	(Gr)
C_a = Penyerapan agregat halus	(%)
D_a = Penyerapan agregat kasar	(%)
C_k = Kadar air agregat halus	(%)
D_k = Kadar air agregat kasar	(%)

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar L.1: <i>Compressing Test Machine</i> .	71
Gambar L.2: Saringan Agregat Kasar.	71
Gambar L.3: Saringan Agregat Halus.	72
Gambar L.4: Cetakan Silinder.	72
Gambar L.5: Oven.	73
Gambar L.6: Gelas Ukur.	73
Gambar L.7: Kerucut Abrams.	74
Gambar L.8: <i>Mixer</i> Beton.	74
Gambar L.9: Timbangan.	75
Gambar L.10: Tongkat Penumbuk.	75
Gambar L.11: Triplek 1m x 1m.	76
Gambar L.12: Bak Perendaman.	76
Gambar L.13: Ember.	77
Gambar L.14: Sendok semen dan sekop tangan.	77
Gambar L.15: Penggaris.	78
Gambar L.16: Skrap.	78
Gambar L.17: Abu Cangkang Kelapa Sawit.	79
Gambar L.18: Pengujian Berat Jenis Abu Cangkang Kelapa Sawit.	79
Gambar L.19: Proses Pengujian <i>Slump Flow</i> .	80
Gambar L.20: Pengukuran Diameter <i>Slump Flow</i> .	80
Gambar L.21: Perojokan Adukan Beton di Cetakan.	81
Gambar L.22: Perendaman Benda Uji.	81
Gambar L.23: Beton Normal.	82
Gambar L.24: Pengujian Kuat Tarik Belah BN.	82
Gambar L.25: Beton Abu Cangkang -10%.	83
Gambar L.26: Pengujian Kuat Tarik Belah BAC-10%.	83
Gambar L.27: Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BAC-10%.	84
Gambar L.28: Beton Abu Cangkang 20%	84
Gambar L.29: Pengujian Kuat Tarik Belah BAC-20%.	85

Gambar L.30: Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BAC-20%.	85
Gambar L.31: Beton Abu Cangkang-30%	86
Gambar L.32: Pengujian Kuat Tarik Belah BAC-30%.	86
Gambar L.33: Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BAC-30%.	87

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi membawa pengaruh yang signifikan terhadap semua aspek kehidupan manusia. Termasuk diantaranya di bidang konstruksi teknik sipil. Dalam bidang konstruksi, beton merupakan salah satu elemen yang paling mendapat perhatian. Beton sangat populer dan umum digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur di kalangan masyarakat.

Pemakaian beton sebagai bahan utama konstruksi bangunan sudah tidak diragukan lagi keunggulannya. Dalam pembangunan gedung-gedung bertingkat tinggi, jembatan dengan bentang panjang, tower dan sebagainya dibutuhkan beton dengan kekuatan tinggi untuk menahan semua beban dengan dimensi komponen yang cukup ramping, beton mutu tinggi merupakan pilihan yang paling tepat. Beton mutu tinggi dibentuk dengan nilai FAS yang rendah, sehingga membutuhkan semen dalam jumlah yang besar, agregat serta penggunaan bahan tambahan atau *Additive* dan *Admixture Superplasticizer*. Sementara itu ketersediaan material yang berasal dari sungai dan batuan alam semakin lama semakin berkurang jumlahnya. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang penggunaan material pengganti tersebut. Beberapa penelitian mengenai pemakaian limbah kelapa sawit, baik berupa abu maupun bongkahan, sebagai bahan substitusi semen atau agregat terhadap teknologi beton diharapkan dapat memperbaiki sifat beton dan dapat mengurangi limbah industri.

Tanaman kelapa sawit saat ini tersebar hampir diseluruh provinsi di Indonesia. Berdasarkan buku statistik komoditas kelapa sawit terbitan Ditjen Perkebunan, tahun 2014 luas areal kelapa sawit mencapai 10,9 juta Ha dengan produksi 29,3 juta ton CPO. Perkebunan kelapa sawit Indonesia menjadi primadona dan mampu mencapai perkembangan seperti sekarang ini, sehingga Indonesia menjadi negara produsen kelapa sawit terbesar di dunia. (Opirina et al., 2016)

Produksi kelapa sawit selain menghasilkan minyak juga menghasilkan produk samping berupa limbah kelapa sawit. Limbah yang dihasilkan dari pengolahan kepala sawit sekitar 60 % dari jumlah produksi buah kelapa sawit. Limbah sisa pembakaran cangkang sawit pada suhu tinggi menghasilkan kerak yang lazim dikenal kerak tanur tinggi atau kerak *boiler* cangkang sawit.

Dalam hal ini perlunya menciptakan beton berkualitas dengan memanfaatkan sumber daya alam yang pemanfaatannya masih kurang maksimal. Selain itu dapat menggunakan limbah industri yang sudah tidak terpakai dan dapat diolah kembali menjadi bahan tambah pada campuran beton. Untuk mencapai kualitas beton yang baik, beton segar harus mengisi ruang dengan cepat agar tidak ada udara didalamnya, jika beton memiliki rongga pada permukaannya maka beton tersebut akan mengalami penurunan mutu.

Salah satu limbah yang belum dimanfaatkan dengan baik adalah abu cangkang kelapa sawit. Limbah abu 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 cangkang kelapa sawit dapat dikatakan memiliki sifat pozzolan memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengisi pada pembuatan beton normal. Dalam penelitian ini akan mengkaji tentang pemanfaatan abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengisi pada campuran beton normal. Jika digunakan untuk bahan pengganti 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 pengganti 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 cangkang kelapa sawit yaitu sebesar 21,78 MPa atau 40% dari kuat tekan beton normal.

Hanya sedikit penelitian terkait kadar optimum yang baik dalam pemanfaatan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengisi pada campuran beton. Abu kerak boiler mampu menggantikan peranan pasir sebagai bahan pengisi dan kuat tekan maksimum mampu diperoleh pada kandungan 25% yaitu 17,83

MPa dengan peningkatan sebesar 24,16% dari mutu rencana yang sebesar 14 MPa pada umur beton 28 hari. Akan tetapi karena karakteristik abu kerak boiler cangkang kelapa sawit setiap daerah berbeda, maka besar kadar optimumnya berbeda. Oleh sebab itu dilakukan percobaan dengan cara membuat mortar dengan ariasi abu kerak boiler dari 0%, 15%, 25%, 35%, dan 50% dan dari hasil uji kuat tekan mortar diperoleh kadar optimum yang akan digunakan untuk campuran beton. Pada penelitian ini beton normal akan dibandingkan dengan beton variasi abu cangkang kelapa sawit hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit dengan kadar optimum (Fauzi Rahman, 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian yang telah disampaikan maka dapat ditentukan rumusan masalah yang akan diteliti, yaitu:

1. Sejauh mana pengaruh abu cangkang kelapa sawit sebagai pengganti agregat halus dalam beton dan bagaiman kuat tarik beton optimum setelah penambahan abu cangkang kelapa sawit sebagai pengganti agregat halus pada umur beton 28 hari?
2. Apakah dengan penambahan *Superplasticizer* pada campuran beton dapat menaikkan atau menurunkan kuat tarik pada beton?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Mengingat luasnya ruang lingkup permasalahan yang ada pada penelitian ini, maka penulis membatasi permasalahann antara lain sebagai berikut:

1. Karakter yang di teliti adalah kuat tarik beton.
2. Penelitian ini membandingkan kuat tarik beton normal dengan kuat tarik beton yang menggunakan bahan tambah *Superplasticizer* dan abu cangkang kelapa sawit sebagai pengganti sebagian agregat halus.
3. Abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan tambah berasal dari hasil dari limbah pembakaran cangkang kelapa sawit dan persentase variasi sebesar 10%, 20%, dan 30% dengan penambahan *Superplasticizer*.

4. Melakukan Pengujian kuat tarik dari beton normal dan beton dengan penambahan agregat dan abu cangkang kelapa sawit *Superplasticizer*, kemudian membandingkan hasilnya.
5. Metode perencanaan menggunakan SNI (Standar Nasional Indonesia).
6. Benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
7. Umur pengujian adalah 28 hari.
8. Pada tiap variasi campuran terdapat 3 benda uji.
9. Penelitian dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh abu cangkang kelapa sawit sebagai pengganti agregat halus dalam beton dan untuk mengetahui kuat tarik beton optimum pada umur beton 28 hari.
2. Untuk mengetahui apakah penambahan *Superplasticizer* pada campuran beton dapat menaikkan atau menurunkan kuat tarik pada beton?

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengatasi permasalahan pembuangan abu kerak boiler dari hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit
2. Untuk mengetahui perbandingan kuat tarik beton normal dengan beton yang memakai filler serbuk kaca dan *Superplasticizer* persentase yang ditentukan.
3. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan memberikan informasi yang jelas bagi pengembangan ilmu teknologi beton dan pengaruh yang terjadi akibat penambahan zat adiktif jenis *Superplasticizer* sebagai substitusi parsial dengan agregat halus dengan abu cangkang kelapa sawit terhadap campuran beton.

1.6 Sistematika Pembahasan

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

BAB 1 Pendahuluan

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika pembahasan.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Membahas hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir dan metode-metode perhitungan yang digunakan.

BAB 3 Metodologi Penelitian

Bagian ini menerangkan tentang tempat dan waktu penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data dan metode analisis data.

BAB 4 Hasil dan Pembahasan

Merupakan hasil penelitian dan pembahasan singkat mengenai hasil penelitian yang digunakan untuk memecahkan masalah dan menarik kesimpulan.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Dari pembahasan dan analisa data yang telah didapat, penulis dapat memberikan kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian umum Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lain-lain. Beton merupakan satu kesatuan yang homogen. Beton ini didapatkan dengan cara mencampur agregat halus atau pasir, agregat kasar atau kerikil, atau jenis agregat lain dan air, dengan semen portland atau semen hidrolis yang lain, kadang – kadang dengan bahan tambahan atau *Additive* yang bersifat kimiawi ataupun fisikal pada perbandingan tertentu, sampai menjadi satu kesatuan yang homogen. Campuran tersebut akan mengeras seperti batuan. Pengerasan terjadi karena peristiwa reaksi kimia antara semen dengan air. Beton yang sudah mengeras dapat juga dikatakan sebagai batuan tiruan, dengan rongga – rongga antara butiran yang besar (agregat kasar atau batu pecah), dan diisi oleh batuan kecil (agregat halus atau pasir), dan pori-pori antara agregat halus diisi oleh semen dan air (pasta semen). Pasta semen juga berfungsi sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terekat dengan kuat sehingga terbentuklah suatu kesatuan yang padat dan tahan lama (Idf dan Das., 2014).

Material Beton mempunyai sifat-sifat yang unik dibandingkan material-material struktur yang lainnya dikarenakan beton bertulang sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga mempunyai sifat getas atau mudah patah atau tidak dapat menahan beban tarik

Dalam pengertian umum beton berarti campuran bahan bangunan berupa pasir dan kerikil atau koral. Kemudian diikat semen bercampur air. Sifat beton berubah karena sifat semen, agregat dan air, maupun perbandingan pencampurannya. Untuk mendapatkan beton optimum pada penggunaan yang khas, perlu dipilih bahan yang sesuai dan dicampur secara tepat. Ada banyak tipe beton yang telah dikenal, salah satunya beton semen. Beton semen adalah beton yang terdiri dari pasta semen sebagai matriks dan agregat sebagai inklusi. Agregat terdiri dari material anorganik yang biasanya berupa mineral alami seperti

batu/kerikil dan pasir. Perbedaan penggunaan bahan matriks akan memberikan karakteristik yang berbeda untuk tiap beton. Hal ini akan berpengaruh pada sifat-sifatnya, seperti kuat tekan, kuat tarik, waktu ikat, suhu ikat, workabilitas, modulus elastisitas dan lain-lainnya (Pangloly dkk., 2018).

2.2 Beton normal

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi (2200 – 2500) kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah. (Badan Standardisasi Nasional, 2000) Beton normal haruslah menggunakan bahan agregat normal dan tanpa bahan tambah. Kuat tekan beton normal yang disyaratkan f'_c adalah kuat tekan yang ditetapkan oleh perencana struktur (berdasarkan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm), kuat tekan beton yang ditargetkan f_{cr} adalah kuat tekan rata-rata yang diharapkan dapat dicapai yang lebih besar dari f'_c .

Pemilihan proporsi campuran beton harus dilaksanakan sebagai berikut:

1. rencana campuran beton ditentukan berdasarkan hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen.
2. untuk beton dengan nilai f'_c lebih dari 20 MPa proporsi campuran coba serta pelaksanaan produksinya harus didasarkan pada perbandingan berat bahan;
3. untuk beton dengan nilai f'_c hingga 20 MPa pelaksanaan produksinya boleh menggunakan perbandingan volume. Perbandingan volume bahan ini harus didasarkan pada perencanaan proporsi campuran dalam berat yang dikonversikan ke dalam volume melalui berat isi rata-rata antara gembur dan padat dari masing-masing bahan (Rahman, 2017).

2.3 Semen

Semen adalah bahan yang berfungsi sebagai pengikat dalam proses pembentukan beton. Semen yang berhubungan dengan hawa luar atau bereaksi dengan air akan mengeras seperti batu. Demikian juga semen yang mengikat dengan cepat jika terjadi kenaikan temperatur di atas normal sehingga sudah terjadi proses pengikatan dan tidak bisa dikerjakan lagi. Oleh karena itu

diisyaratkan penyimpanan semen harus di atas lantai yang tidak berhubungan langsung dengan lantai (Eveline Untu J Kumaat dan Windah, 2015).

Menurut SNI 15-0302-2004, semen *Portland Pozzolan* adalah suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen Portland dengan pozolan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen *Portland* dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6% sampai dengan 40% massa semen *Portland Pozolan*.

Dalam semen pada dasarnya ada 4 senyawa penting, yaitu:

1. Trikalsium silikat (C_3S)
2. Dikalsium silikat (C_2S)
3. Trikalsium aluminat (C_3S)
4. Tetrakalsium aluminoforit (C_4AF) (Rahman, 2017).

2.4 Agregat

Agregat merupakan material-material campuran beton yang saling diikat oleh perekat yaitu semen. Kandungan agregat dalam campuran beton sangat tinggi yaitu sekitar 60-70% dari volume beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar (Departemen dkk.).

2.4.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat berupa kerikil hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu kerikil. Syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam campuran beton sebagai berikut:

1. Butir-butir keras yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
2. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali.

3. Kandungan lumpur harus $<1\%$, jika melebihi maka harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.

Agregat kasar yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan. Kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan adalah sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, pasir dan lain-lain), karena hal ini dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agregat kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan (Vitri dan Herman, 2019).

2.4.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah butiran yang memiliki kehalusan 2 mm - 5 mm yang berbutir halus. Agregat halus mempunyai ukuran butir maksimum 4,75 mm sesuai dengan ketentuan SNI 02-6820- 2002. Agregat halus merupakan agregat yang besarnya tidak lebih dari 5 mm, sehingga pasir dapat berupa pasir alam atau berupa pasir dari pemecahan batu yang dihasilkan oleh pecahan batu. Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus berbentuk butir-butir tajam dan keras.
2. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat di uji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci.

2.5 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan

menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut sebagai faktor air semen atau *water cement ratio*. 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 kekuatan beton (Darul dkk ., 2014).

2.6 Bahan Tambahan

Untuk keperluan tertentu terkadang campuran beton tersebut masih ditambahkan bahan tambah berupa zat-zat kimia tambahan *Chemical Additive* dan mineral atau material tambahan. Zat kimia tambahan tersebut biasanya berupa serbuk atau cairan yang secara kimiawi langsung mempengaruhi kondisi campuran beton. Sedangkan mineral atau material tambahan berupa agregat yang mempunyai karakteristik tertentu. Standar pemberian bahan tambahan beton ini pun sudah diatur dalam SK SNI S-18-1900-03 (Vitri dan Herman, 2019).

2.6.1 Limbah Abu Cangkang Kelapa Sawit

Abu kerak boiler ini adalah abu yang telah mengalami proses penggilingan dari kerak pada proses pembakaran cangkang dan serat buah pada suhu 700 – 800 °C pada dapur tungku boiler. Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit merupakan biomas dengan kandungan silika (S_iO_2) yang potensial dimanfaatkan. Pembakaran cangkang dan serat buah menghasilkan kerak yang keras berwarna putih – keabuan akibat pembakaran dengan suhu yang tinggi dengan kandungan silika 61%. Tingginya kandungan silika ini membuat abu kerak boiler ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan *Pozzolan* dalam campuran beton (Muhammad Reza dkk ., 2005).

Salah satu limbah pengolahan minyak kelapa sawit dalam jumlah yang cukup besar adalah cangkang kelapa sawit. Cangkang yang di hasilkan mencapai 60% dari produksi minyak. Cangkang kelapa sawit mempunyai komposisi

kandungan selulosa (26,27%), hemiselulosa (12,61%), dan ligin (42,96%). Penggunaan cangkang kelapa sawit untuk campuran beton normal di dapatkan kuat tekan sebesar 32,85 MPa pada umur 28 hari, selain itu terjadinya penurunan kuat tekan beton, selain itu cangkang kelapa sawit ini merupakan bahan agregat alami yang ramah lingkungan untuk campuran beton dan telah memenuhi 2 dari 6 prinsip teknologi ramah lingkungan yaitu *reuse* atau menggunakan kembali bahan yang tidak terpakai/limbah serta diolah dengan cara berbeda dan *recovery* atau pemakaian material dari limbah untuk diolah demi kepentingan lain. Cangkang kelapa sawit di sini digunakan sebagai variasi dari agregat kasar dan limbah hasil pembakaran cangkang kelapa sawit atau abu sekam sawit sebagai variasi dari agregat halus untuk campuran beton (Vitri dan Herman, 2019).

Pemanfaatan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai bahan campuran bahan penyusun beton merupakan pilihan yang baik karena bahan mudah didapat khususnya di Pulau Kalimantan dan Sumatera yang dikenal sebagai panghasil kelapa sawit terbesar di Indonesia. Kandungan silika yang tinggi dapat meningkatkan kuat desak beton merupakan faktor terpenting dalam pemilihan bahan ini. Jika ingin beton berkualitas baik dalam arti memenuhi persyaratan yang lebih ketat karena tuntutan yang lebih tinggi, maka harus diperhitungkan dengan seksama cara-cara memperoleh adukan beton yang baik dan beton yang dihasilkan juga baik.

1. Beton adalah suatu komposit dari beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan ikat.
2. Pozzolan adalah bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif. Pozzolan adalah bahan tambah mineral yang dimaksud untuk memperbaiki kinerja beton.
3. Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit merupakan pozzolan buatan yang berasal dari kerak boiler yang mengalami proses pengilingan atau yang telah dihaluskan.

Bahan-bahan penyusun beton yaitu : semen portland, air, agregat kasar, agregat halus.

Tabel 2.1: Sifat Fisis Kerak Cangkang Sawit (Opirina dkk., 2016).

Sifat Sifat Fisis BCS	Hasil rata rata Penelitian
Berat jenis keadaan kering permukaan (SSD)	1,660
Berat jenis keadaan kering (OD)	1,637
Durabilitas	13,2 %
Daya Serap air	1,409 %
Diameter	Lolos=19,1 mm Tertahan=4,76 mm

Tabel 2.2: Komposisi kimia abu cangkang kelapa sawit (Hengky Gunawan).

No	Kandungan	Nilai
1	SiO ₂	89,91%
2	CaCO ₃	2,47%
3	MgCO ₃	0,73%
4	Fe ₂ O ₃	0,19%
5	Al ₂ O ₃	0,001%

SiO₂ dalam abu merupakan senyawa dengan kandungan terbesar dibanding komponen utama yang lain, sehingga dapat difungsikan sebagai pengganti pasir untuk pengisi pada pembuatan beton. Pasir dengan kandungan SiO₂ yang besar dapat digunakan sebagai pengikat (Prianti dkk., 2015).

2.6.2 Superplasticizer

Superplasticizer adalah bahan tambah yang digunakan sebagai salah satu cara meningkatkan kemudahan pelaksanaan pekerjaan pengecoran atau *Workability* beton dengan menggunakan sesedikit mungkin. Penggunaan *Superplasticizer* mulai dikembangkan di Jepang dan Jerman pada tahun 1960-an dan menyusul kemudian di Amerika Serikat pada 1970-an (Pangloly dkk., 2018).

Superplasticizer atau *high range water reducer admixtures* sangat meningkatkan kelecakan campuran. Campuran dengan slump sebesar 7,5 cm akan

menjadi 20 cm. Digunakan terutama untuk beton mutu tinggi, karena dapat mengurangi air sampai 30%. Pada prinsipnya mekanisme kerja dari superplasticizer sama, yaitu dengan menghasilkan gaya tolak menolak yang cukup antar partikel semen agar tidak terjadi penggumpalan partikel semen atau *flocculate* yang dapat menyebabkan terjadinya rongga udara di dalam beton, yang akhirnya akan mengurangi kekuatan atau mutu beton tersebut (Raja Marpaung).

Superplasticizer dibedakan menjadi 4 jenis:

1. Modifikasi Lignosulfonat tanpa kandungan klorida
2. Kondensasi Sulfonat Melamine Formaldehyde (SMF) dengan kandungan klorida sebesar 0.005%;
3. Kondensasi Sulfonat Nephthalene Formaldehyd (SNF) dengan kandungan klorida yang diabaikan.
4. Carboxyl acrylic ester copolymer (Azmi dkk., 2019).

2.7 Kuat Tarik

Kuat tarik belah adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder berdiameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm, diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung (Gunawan dkk., 2013).

Kuat Tarik beton dihitung dengan rumus:

$$f'_{sp} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2.1)$$

Dimana:

f'_{sp} = Kuat tarik belah beton [MPa]

P = Beban maksimum pada saat benda uji terbelah [N]

L = Panjang benda uji [mm]

D = Diameter benda uji [mm]

π = Phi (22/7) (Pangloly dkk., 2018).

2.8 Kajian Terdahulu

Departemen Mahasiswa Sipil dkk, menyimpulkan bahwa substitusi kerak boiler terhadap agregat halus dapat menurunkan nilai slump seiring penambahan variasi, sehingga nilai workability beton berkurang dan dari penelitian tersebut didapat nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari untuk setiap variasi I sampai variasi IV berturut-turut adalah 33.4 Mpa, 33.7 Mpa, 34.9 Mpa dan 32.7 Mpa. Kuat tekan beton maksimum pada variasi III.

F.Fauzi Rahman, menyimpulkan bahwa kadar optimum abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit yang dapat digunakan sebagai pengganti pasir pada pencampuran beton adalah sebesar 15% dan perubahan nilai kuat tekan beton normal dan beton dengan campuran optimum pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 42 hari, dan 56 hari adalah semakin meningkat kuat tekannya seiring dengan semakin bertambahnya umur beton.

E.Prianti dkk, menyimpulkan bahwa komposisi I, II, III, IV , V memenuhi standar mutu 175 yaitu standar untuk kuat tekan 14 MPa dan untuk kuat tekan optimum diperoleh pada komposisi V yaitu yang mengandung 25 % abu kerak boiler dengan kuat tekan 17, 83 Mpa sesuai standar mutu K225.

Raja Marpaung, menyimpulkan bahwa Kuat tekan beton, kuat tarik beton yang dihasilkan campuran beton substitusi cangkang kelapa sawit (OPS) dengan agregat kasar ditambah bahan additive Superplasticizer 0,6 % mengalami penurunan sebesar 25,72 % - 67,39 % , dan kuat tarik rata-rata beton sebesar 33,43 % - 99,68 % , akan tetapi berat volume rata-rata beton yang dihasilkan juga berkurang sebesar 2,32 % - 23,07 % . Dengan penambahan bahan tambahan *superplasticizer* pada campuran beton substitusi cangkang kelapa sawit (OPS) dengan agregat kasar nilai *Slump* test rata-rata meningkat, sehingga workabilitynya beton yang dihasilkan juga semakin baik.

G.Eveline Untu J Kumaat dkk, menyimpulkan bahwa nilai kuat tarik belah pada umur 28 hari untuk C 20, C 25, C 30, C 35, dan C 40 berturut – turut adalah 2.36 MPa, 2.69 MPa, 2.81 MPa, 3.21 MPa, dan 3.49 MPa. Nilai kuat tarik tersebut merupakan 11.69%, 10.71%, 9.35%, 9.21%, dan 8.78% daripada nilai kuat tekan betonnya atau $0.5248\sqrt{f_{cr}}$, $0.5367\sqrt{f_{cr}}$, $0.5217\sqrt{f_{cr}}$, $0.5440\sqrt{f_{cr}}$, dan $0.5534\sqrt{f_{cr}}$.

Kekuatan tarik beton merupakan fungsi dari kekuatan tekan beton. Kuat tekan yang bervariasi memberikan nilai kuat tekan yang bervariasi, semakin besar nilai kuat tekan maka nilai kuat tarik belah yang dihasilkan semakin besar pula.

N.Azmi dkk, menyimpulkan bahwa Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat geser maksimum untuk umur 28 didapatkan pada beton mutu tinggi dengan bahan tambah ACS dan Viscocrete-10, sebesar 147,7% yaitu 8,559 MPa dan pada umur 56 hari sebesar 157,7%, yaitu 9,77 MPa. Adanya pengaruh bahan tambah ACS dan *superplasticizer* pada beton mutu tinggi, sehingga terjadi peningkatan kuat geser dari umur 28 hari ke umur 56 hari. Peningkatan kuat geser maksimum terjadi pada umur 56 hari dengan bahan tambah ACS dan 1,5% *superplasticizer* viscocrete 10 dari berat semen, yaitu 114,2 % dari umur 28 hari.

2.9 Perencanaan Pembuatan Campuran (Mix Design) Menurut SNI 03-2834-2000

Langkah-langkah pokok cara perancangan menurut standar ini ialah:

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan (f_c') pada umur tertentu.
2. Penghitungan nilai deviasi standar (S)

Faktor pengali untuk standar deviasi dengan hasil uji < 30 dapat dilihat pada Tabel 2.3. Pada tabel ini kita dapat langsung mengambil nilai standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang akan dicetak.

Tabel 2.3: Faktor pengali untuk standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang tersedia (SNI 03-2834-2000).

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	$f_c' + 12 \text{ Mpa}$
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

- Penghitungan nilai tambah/margin (m) ditentukan menggunakan tingkat mutu pekerjaan pembetonan yang dijelaskan pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4: Tingkat mutu pekerjaan pembetonan (Mulyono, 2004).

Tingkat mutu pekerjaan	S (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

- Kuat tekan rata-rata perlu f'_{cr}

Kuat tekan rata-rata perlu diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.2 di bawah ini:

$$f'_{cr} = f'_c + S + m \quad (2.2)$$

dengan:

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata perlu (MPa).

f'_c = Kuat tekan yang disyaratkan (MPa).

S = Standar deviasi (MPa).

m = Nilai tambah (MPa).

- Penetapan jenis semen portland

Pada cara ini dipilih semen tipe I.

- Penetapan jenis agregat

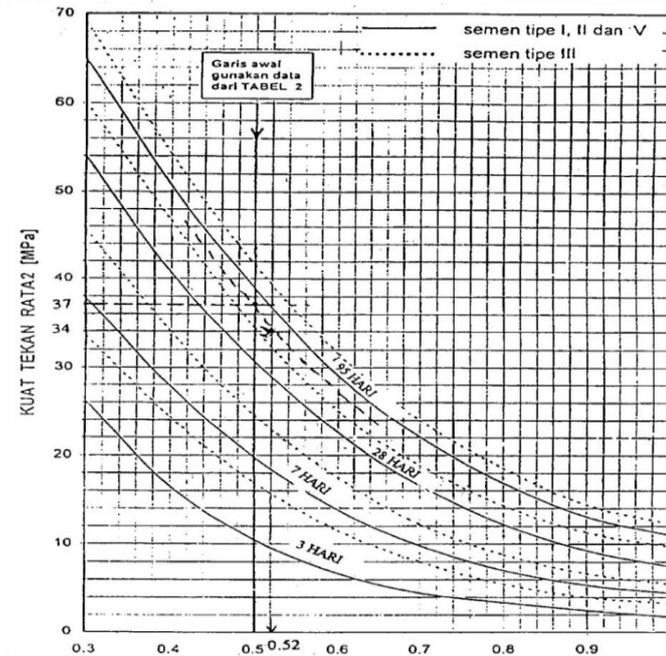
Jenis agregat kasar dan agregat halus ditetapkan, berupa agregat alami (batu pecah atau pasir buatan).

- Penetapan nilai faktor air semen bebas

Tabel 2.5: Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air semen dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia.

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen portland Tipe 1	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe I,II,V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Dari tabel 2.5 diketahui untuk jenis agregat kasar, maupun tipe semen untuk kekuatan tekan umur 28 hari yang diharapkan sesuai dengan bentuk benda uji. Harga ini dipakai untuk membuat kurva yang harus diikuti menurut Gambar 2.1 dalam usaha mencari faktor air semen untuk beton yang direncanakan dengan cara berikut ini: Dari titik kekuatan tekan pada umur 28 hari sesuai dengan jenis agregat kasar, jenis semen, dan bentuk benda uji yang digunakan, tarik garis datar hingga memotong garis tengah yang menunjukkan faktor air semen 0,50. Melalui titik potong ini lalu gambarkan kurva yang berbentuk kira-kira sama dengan kurva disebelah atas dan di sebelah bawahnya (garis putus-putus). Kemudian dari titik kekuatan tekan beton yang dirancang tarik garis datar hingga memotong kurva garis putus-putus tadi. Dari titik potong ini ditarik garis tegak lurus ke bawah hingga memotong sumbu x (absiska) dan baca faktor air semen yang diperoleh.



Gambar 2.1: Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder beton.

8. Faktor air semen maksimum dalam hal ini ditetapkan
 Dalam hal faktor air semen yang diperoleh dari Gambar 2.1 tidak sama dengan yang ditetapkan. Untuk perhitungan selanjutnya dipakai nilai faktor air semen yang lebih kecil.
9. Penetapan nilai slump.
 Penetapan nilai slump ditentukan, berupa 0-10mm, 10-30mm, 30-60mm atau 60-180 mm.
10. Penetapan besar butir agregat maksimum.
 Penetapan besar butir maksimum agregat pada beton standar ada 3, yaitu 10mm, 20mm atau 40mm.
11. Jumlah kadar air bebas
 Kadar air bebas ditentukan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6: Perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton (SNI 03-2834-2000).

Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak di pecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak di pecah	137	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak di pecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Agregat campuran (tak pecah dan dipecah), dihitung dengan menggunakan Pers. 2.3 berikut:

$$\frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (2.3)$$

W_h adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

12. Berat semen yang diperlukan per meter kubik beton dihitung dengan menggunakan Pers. 2.4 di bawah ini:

$$W_{s_{mn}} = 1/Fas * W \text{ air} \quad (2.4)$$

Fas = Faktor air per meter kubik beton

13. Jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan.

14. Menentukan jumlah semen semimum mungkin. Dapat dilihat pada Tabel 2.7, 2.8, dan 2.9. Dari ketiga tabel tersebut kita dapat mengambil jumlah semen minimum maupun nilai faktor air semen maksimum menurut kondisi beton yang akan dicetak nantinya.

Tabel 2.7: Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus (SNI 03-2834-2000).

Lokasi	Jumlah Semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan;		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang kontinyu berhubungan:		Lihat Tabel 2.9 Lihat Tabel 2.10
a. Air tawar		
b. Air laut		

Tabel 2.8: Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat (SNI 03-2834- 2000).

Kadar sulfat	Konsentrasi Sulfat sebagai SO ₂			Tipe Semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal agregat maksimum (kg/m ³)			F.a.s
	Dalam Tanah		SO ₃ dalam air tanah g/l		40 mm	20 Mm	10 Mm	
1.	Kurang dari 0,2	Kurang dari 1,0	Kurang dari 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	80	300	350	0,5
2.	0,2-0,5	1,0-0,9	0,3-1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	290	330	350	0,50
				Tipe I Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	270	310	360	0,55
				Tipe II atau Tipe V	250	290	340	0,55

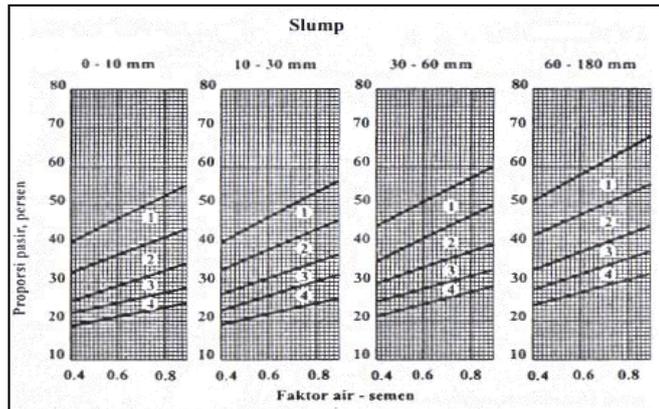
Tabel 2.9: Lanjutan tabel 2.8.

Kadar sulfat	Konsentrasi Sulfat sebagai SO ₂			Tipe Semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal agregat maksimum (kg/m ³)			F.a.s
	Dalam Tanah		SO ₃ dalam air		40 mm	20 Mm	10 mm	
3.	0,5-1	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe I Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	340	380	430	0,45
				Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
4.	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tipe II atau Tipe V	330	370	420	0,45
5.	Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tipe II atau Tipe V Lapisan Pelindung	330	370	420	0,45

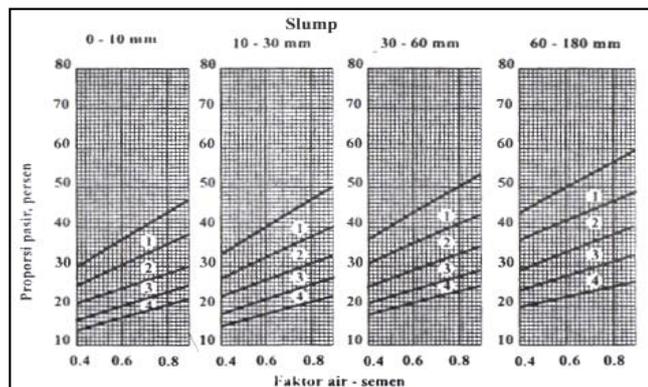
Tabel 2.10: Ketentuan Minimum Untuk Beton Bertulang Kedap Air (SNI 03-2834- 2000).

Jenis beton	Kondisi lingkungan yang berhubungan dengan	Faktor air maks.	Tipe semen	Kandungan semen minimum (kg/m ³)	
				Ukuran nominal Maksimum agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Pra tegang	Air tawar	0,50	Tipe-V	280	300
	Air payau	0,45	Tipe I + Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	340	380
		0,50	Tipe II atau Tipe V		
	Air laut	0,45	Tipe II atau Tipe V		

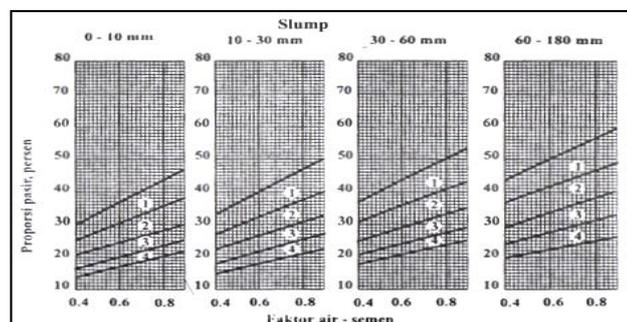
15. Menentukan faktor air semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan (atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan), maka faktor air semen harus diperhitungkan kembali.
16. Penetapan jenis agregat halus:
Agregat halus diklasifikasikan menjadi 4 jenis, yaitu pasir kasar (Gambar 2.1), agak kasar (Gambar 2.2), agak halus (Gambar 2.3) dan pasir halus (Gambar 2.4).
17. Penetapan jenis agregat kasar menurut Gambar 2.2.
18. Proporsi berat agregat halus terhadap agregat campuran.
Proporsi berat agregat halus ditetapkan dengan cara menghubungkan kuat tekan rencana dengan faktor air semen menurut slump yang digunakan secara tegak lurus berpotongan yang dapat dilihat pada Gambar 2.2, Gambar 2.3, dan Gambar 2.4.



Gambar 2.2: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2.3: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2.4: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm (SNI 03-2834-2000).

19. Berat jenis agregat campuran.

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus:

$$B_j \text{ camp} = K_h/100 \times B_{jh} + K_k/100 \times B_{jk} \quad (2.5)$$

Dimana:

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

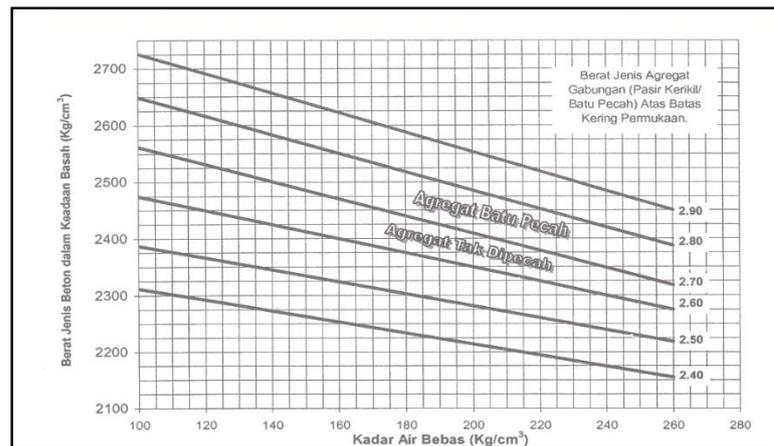
B_{jh} = berat jenis agregat halus.

B_{jk} = berat jenis agregat kasar.

K_h = persentase berat agregat halus terhadap agregat campuran.

K_k = persentase berat agregat kasar terhadap agregat campuran.

20. Menentukan berat isi beton menurut gambar 2.5 sesuai dengan kadar air bebas yang sudah di temukan 2.9 dan berat jenis relative dari agregat gabungan menurut butir 18.



Gambar 2.5: Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton (SNI 03-2834-2000).

21. Menghitung kebutuhan berat agregat campuran.

Kebutuhan berat agregat campuran dihitung dengan rumus:

$$W_{agr,camp} = W_{btn} - W_{air} - W_{smn} \quad (2.6)$$

Dengan:

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

W_{btn} = 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).

22. Hitung berat agregat halus yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (18) dan (21).

Kebutuhan agregat halus dihitung dengan rumus:

$$W_{agr,h} = K_h \times W_{agr,camp} \quad (2.7)$$

Dengan:

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

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

23. Hitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (21) dan (22). Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan rumus:

$$W_{agr,k} = K_k \times W_{agr,camp} \quad (2.8)$$

Dengan :

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

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

24. Proporsi campuran, kondisi agregat dalam kejadian jenuh kering permukaan semen, air, agregat halus dan agregat kasar harus dihitung dalam per m^3 adukan.

25. 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:

a. Air $= B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100}$

b. Agregat halus $= C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100}$

c. Agregat kasar $= D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100}$

Dengan:

B : Jumlah air (kg/m^3).

C : Agregat halus (kg/m^3).

D : Jumlah agregat kasar (kg/m^3).

C_a : Absorpsi air pada agregat halus (%).

D_a : Absorpsi agregat kasar (%).

C_k : Kandungan air dalam agregat halus (%).

D_k : Kandungan air dalam agregat kasar (%).

2.10 Nilai Slump

Tujuan dari pengujian *slump* adalah untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton yang dinyatakan dalam nilai tertentu. Slump didefinisikan sebagai besarnya penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat.

Pengujian slump dilakukan dengan menggunakan alat berbentuk kerucut terpancung yang memiliki diameter lubang atas 10 cm, diameter lubang bawah 20 cm, tinggi 30 cm serta dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat berdiameter 1,6 cm sepanjang 60 cm.

Nilai slump dipengaruhi oleh faktor air semen. Semakin tinggi fas maka nilai slump akan semakin tinggi yakni menggunakan banyak air dan sedikit semen, sehingga pasta semen lebih encer dan mengakibatkan nilai slump lebih tinggi. Semakin besar nilai slump test berarti adukan beton semakin mudah dikerjakan. (Teknik dkk., 2014)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

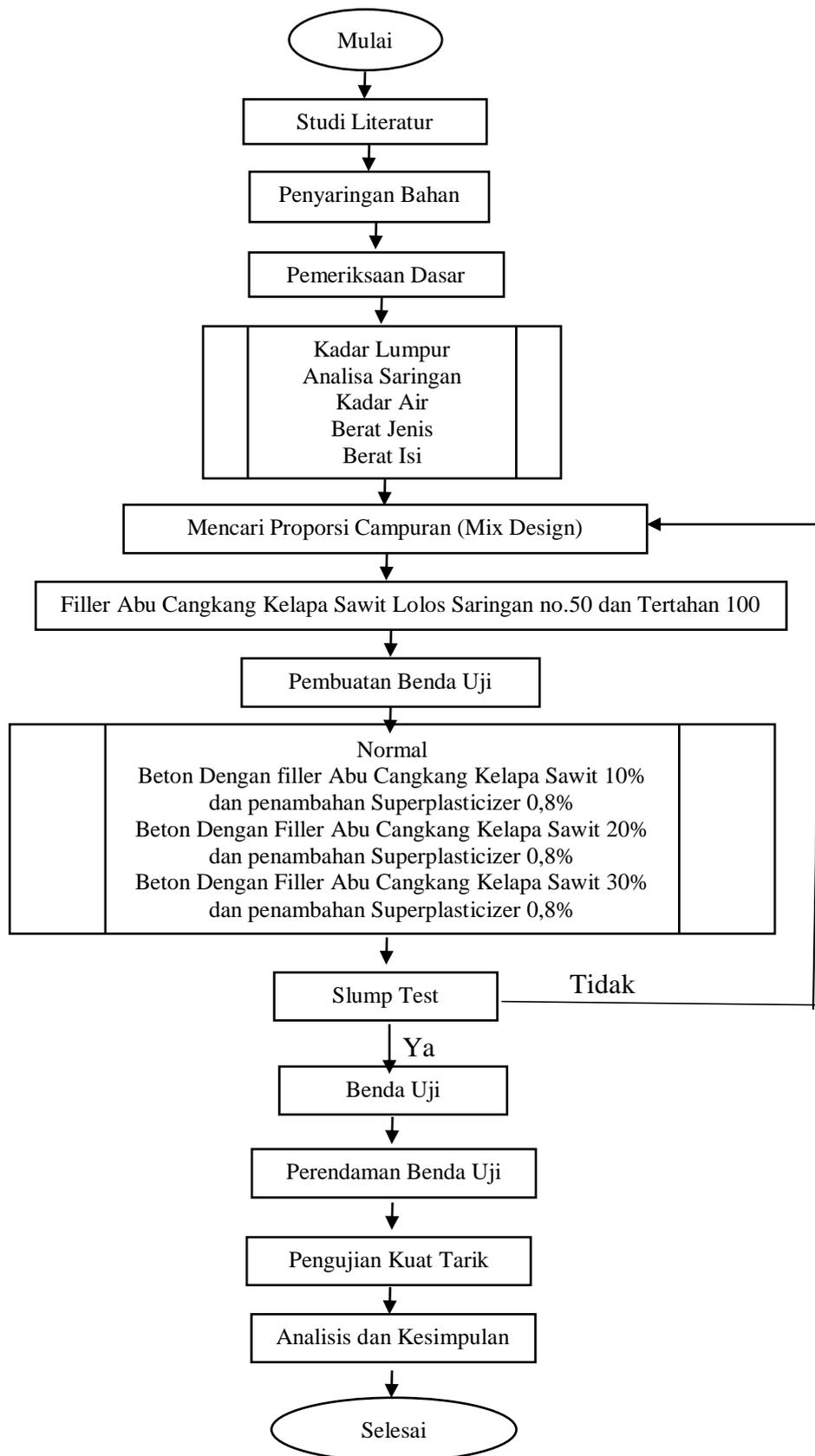
Penelitian dimulai setelah mendapatkan izin dari Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan kemudian melakukan studi literatur, seperti mencari jurnal referensi, kandungan dalam bahan tambah yang digunakan, dan metode yang digunakan dalam melakukan penelitian.

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 dikeringkan. 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 10%, 20 % dan 30 %.

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 ± 24 jam. Selanjutnya dilakukan perendaman benda uji selama 28 hari.

Setelah mencapai umur 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 flowt*).
- g. Uji kuat tarik belah beton.

3.1.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku dan jurnal yang berhubungan dengan teknik beton dan konsultasi langsung dengan dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Data teknis yang dipergunakan yaitu:

1. Peraturan SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana beton normal.
2. Peraturan SNI 2491:2014 tentang metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton silinder.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

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

3.3 Instrumen Penelitian

3.3.1 Desain benda uji

Penelitian menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan sampel 12 buah beton dengan 4 (empat) variasi yang masing-masing variasi berjumlah 3 sampel. Pengujian akan

dilaksanakan pada umur 28 hari setelah perendaman beton. Komposisi campuran benda uji dan kode benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Komposisi campuran benda uji dan kode benda uji.

NO	KODE BENDA UJI	AGREGAT HALUS	ABU CANGKANG KELAPA SAWIT	<i>SUPERPLASTICIZER VISCOCRETE - 3115N</i>	JUMLAH SAMPEL
1	BN	100%	0%	0%	3
2	BAC10	90%	10%	0,8%	3
3	BAC20	80%	20%	0,8%	3
4	BAC30	70%	30%	0,8%	3
Jumlah					12

Keterangan:

BN =Beton dengan campuran 0% abu cangkang kelapa sawit dari berat agregat halus dan campuran 0% *superplasticizer* dari berat semen.

BAC10 =Beton dengan campuran 10% abu cangkang kelapa sawit dari berat agregat halus dan campuran 0,8% *superplasticizer* dari berat semen.

BAC20 =Beton dengan campuran 20% abu cangkang kelapa sawit dari berat agregat halus dan campuran 0,8% *superplasticizer* dari berat semen.

BAC30 =Beton dengan campuran 30% abu cangkang kelapa sawit dari berat agregat halus dan campuran 0,8% *superplasticizer* dari berat semen.

3.3.2 Bahan Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini digunakan bahan dan material untuk pembuatan benda uji sebagai berikut:

1. Agregat

Agregat pada penelitian ini terdapat agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus yang digunakan lolos saringan no. 4 dan agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm. Agregat yang digunakan berasal dari Binjai baik itu agregat halus maupun agregat kasar.

2. Semen *Portland*

Semen *Portland* yang digunakan pada penelitian ini merupakan semen *Portland* tipe I. Pengamatan yang dilakukan terhadap semen berupa

kondisi fisik keutuhan kemasan semen dan kehalusan butiran semen atau butiran berwarna abu-abu, halus, dan tidak terdapat yang menggumpal.

3. Air

Pada pembuatan benda uji digunakan air yang berasal dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Air yang digunakan pada penelitian ini untuk membantu reaksi semen menjadi pasta semen sehingga dapat mengikat agregat dan perawatan pada beton setelah di cor.

4. Abu Cangkang Kelapa Sawit

Abu Cangkang kelapa sawit yang digunakan merupakan hasil dari pembakaran limbah cangkang sawit yang sudah dikeringkan. Abu cangkang kelapa sawit yang digunakan dalam penelitian ini merupakan abu yang lolos saringan no. 50.

5. *Superplasticizer Sika Viscocrete 3115 N*

Bahan tambah kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Superplasticizer* jenis *Sika Viscocrete 3115 N* yang diperoleh langsung dari PT. Sika Indonesia di Medan, Sumatera Utara.

3.4 Alat Pembuatan Benda Uji

Alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Peralatan pembuatan benda uji.

No	Nama Alat	Kegunaan
1	<i>Compressing Test Machine (CTM)</i>	Menguji kuat tarik belah beton
2	Saringan Agregat Kasar	Memisahkan agregat kasar sesuai ukuran
3	Saringan Agregat Halus	Memisahkan agregat halus sesuai ukuran
4	Cetakan Silinder	Mencetak benda uji
5	Oven	Mengeringkan agregat kasar dan halus
6	Gelas Ukur	Mengukur takaran air dan <i>superplasticizer</i>
7	Kerucut Abrams	Untuk menguji slump
8	<i>Mixer</i> Beton	Untuk membuat campuran atau adonan beton
9	Timbangan	Menimbang benda uji
10	Tongkat Penumbuk	Memadatkan benda uji

3.4.1 Alat Pendukung

Pada penelitian ini digunakan alat-alat pendukung untuk pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Alat pendukung pembuatan benda uji.

No	Nama Alat	Kegunaan
1	Alat Tulis	Menulis atau menandai benda uji
2	Ember	Wadah agregat
3	Plastik	Wadah agregat dan abu bonggol jagung yang sudah selesai uji saringan
4	Sendok Semen	Meratakan campuran beton saat dimasukkan kedalam cetakan
5	Penggaris	Mengukur slump
6	Sekop	Mengaduk dan memasukkan agregat kedalam cetakan
7	Skrap	Meratakan campuran beton
8	Masker	Melindungi pernapasan dari debu
9	Sarung Tangan	Melindungi kulit

3.5 Metode Pembuatan Abu Cangkang Kelapa Sawit

Abu kerak boiler ini adalah abu yang telah mengalami proses penggilingan dari kerak pada proses pembakaran cangkang dan serat buah pada suhu 700 – 800°C pada dapur tungku boiler. Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit merupakan biomas dengan kandungan silika (SO₂) yang potensial dimanfaatkan. Pembakaran cangkang dan serat buah menghasilkan kerak yang keras berwarna putih – keabuan akibat pembakaran dengan suhu yang tinggi dengan kandungan silika 61%. Tingginya kandungan silika ini membuat abu kerak boiler ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan Pozzolan dalam campuran beton.

3.6 Perencanaan Campuran Beton

Pada penelitian ini digunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai dengan standar SNI-03-2834-2000. Salah satu tujuan penelitian digunakan perencanaan campuran beton dengan standar SNI-03-2834-2000 adalah untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan dan sesuai dengan standar pengerjaan yang ada di Indonesia. Tingkat derajat kekentalan dan kemudahan

pengerjaan dapat dilihat saat pengujian slump. Perencanaan campuran adukan beton menurut SNI 03-2834-2000 adalah sebagai berikut.

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan f_c' pada umur tertentu.
2. Menghitung deviasi standar.
 - 1) Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
 - 2) Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan f_c' yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai f_{cr} yang ditentukan.
 - 3) Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
 - 4) Bila suatu produksi beton tidak mempunyai dua hasil uji yang memenuhi deviasi standar, tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali dari Tabel 3.4.

Tabel 3.4: Faktor pengali untuk standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang tersedia.

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	$f_c + 12 \text{ Mpa}$
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

3. Menghitung nilai tambah.
4. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}).
5. Menetapkan jenis semen.
6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk tak dipecahkan (pasir atau koral) atau dipecahkan.
7. Menentukan faktor air semen

Menghubungkan kuat tekan dan factor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Bila tidak tersedia data hasil penelitian sebagai pedoman dapat dipergunakan Tabel 3.5. Bila dipergunakan gambar 3.2 ikuti langkah-langkah berikut :

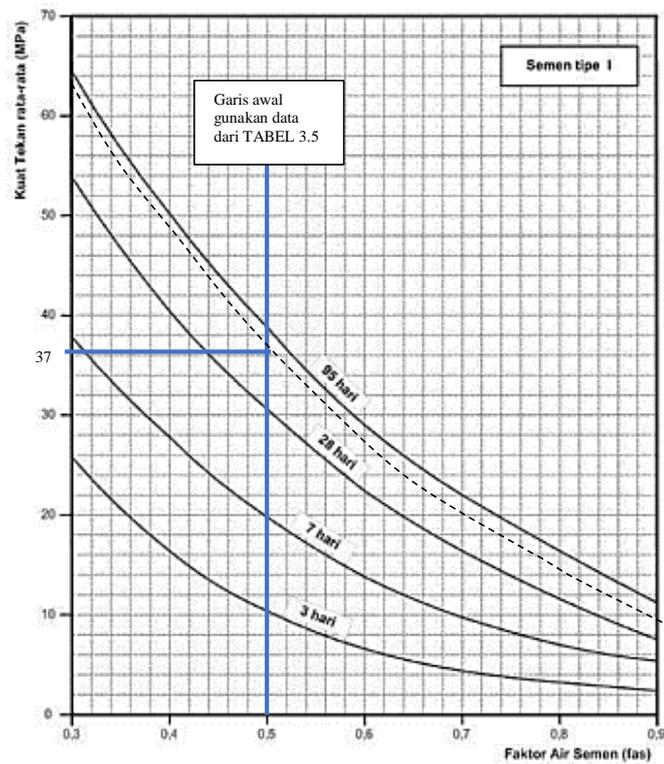
- 1) Menentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan Tabel 3.5, sesuai dengan semen dan agregat yang akan dipakai;
- 2) Melihat gambar 3.2 untuk benda uji berbentuk silinder;
- 3) Menarik garis tegak lurus ke atas melalui faktor air semen 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan yang ditentukan pada sub butir 1 di atas;
- 4) Menarik garis lengkung melalui titik pada sub butir 3 secara proporsional;
- 5) Menarik garis mendatar melalui nilai kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva baru yang ditentukan pada sub butir 4 di atas;
- 6) Menarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan factor air semen yang diperlukan;

Tabel 3.5: Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air semen dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia.

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk uji
Semen <i>portland</i> Tipe 1	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe I,II,V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen <i>Portland</i> Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder

Tabel 3.6: Lanjutan.

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk uji
	Batu pecah	25	33	44	48	silinder
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	



Gambar 3.2: Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm).

- Menentukan faktor air semen maksimum atau dapat ditetapkan sebelumnya atau tidak.

Jika nilai faktor air semen yang diperoleh dari butir 7 di atas lebih kecil dari yang dikehendaki, maka yang dipakai yang terendah.

9. Menentukan slump.

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

10. Menentukan ukuran agregat maksimum jika tidak ditetapkan.

Besar butir agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- 1) Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan.
- 2) Sepertiga dari tebal pelat.
- 3) Tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

11. Menentukan nilai kadar air bebas.

Kadar air bebas ditentukan sebagai berikut:

- 1) Agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan nilai-nilai pada tabel 3.5 dan gambar 3.2.
- 2) Agregat campuran (tak dipecah dan dipecah),

Tabel 3.7: Perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton.

Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak di pecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak di pecah	137	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak di pecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Catatan : Koreksi suhu udara untuk suhu di atas 25°C , setiap kenaikan 5°C harus ditambah air 5 liter per m^2 adukan beton.

12. Menghitung jumlah semen minimum adalah kadar air bebas dibagi faktor air semen.

13. Jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan.

14. Menentukan jumlah semen seminimum mungkin, Jika tidak lihat Tabel 3.7, jumlah semen yang diperoleh dari perhitungan jika perlu disesuaikan.

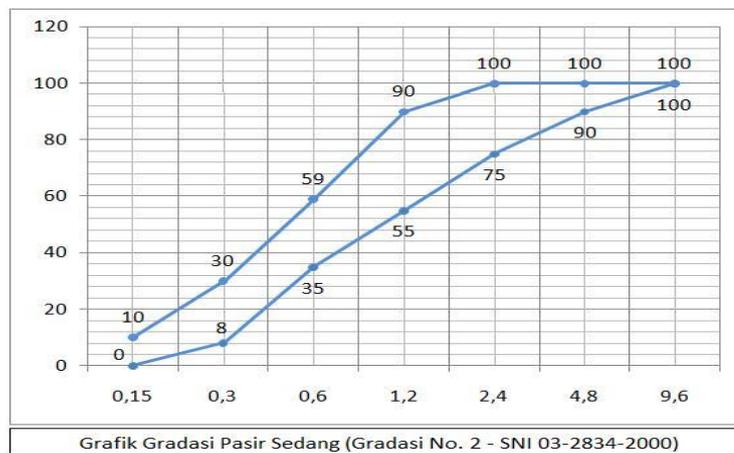
Tabel 3.8: Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembeconan dalam lingkungan khusus.

Lokasi	Jumlah Semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan: c. Keadaan keliling non-korosif d. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	275 325	0,60 0,52
Beton di luar ruangan bangunan; c. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung. d. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325 275	0,60 0,60
Beton masuk ke dalam tanah: c. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti d. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah Beton yang kontinyu berhubungan: c. Air tawar d. Air laut	325	0,55 Lihat Tabel 2.10 Lihat Tabel 2.11

15. Menentukan faktor air semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan (atau lebih

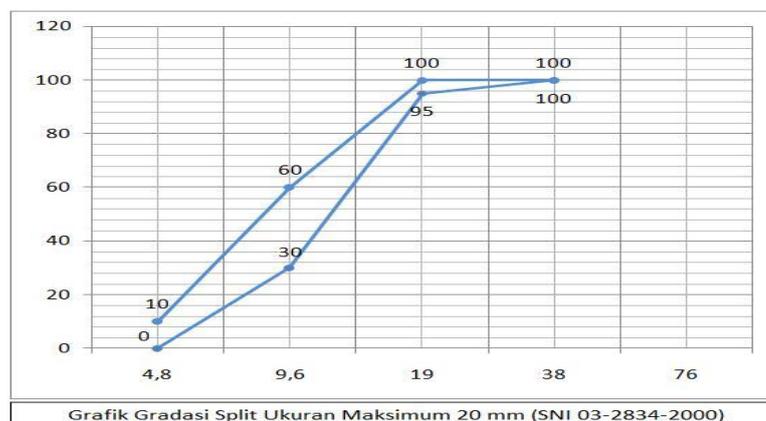
besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan), maka factor air semen harus diperhitungkan kembali.

16. Menentukan susunan butir agregat halus (pasir kalau agregat halus sudah dikenal dan sudah dilakukan analisa ayak menurut standar yang berlaku, maka kurva dari pasir ini dapat dibandingkan dengan kurva-kurva yang tertera dalam gambar 3.3. (ukuran mata ayakan (mm))



Gambar 3.3: Batas gradasi pasir (Sedang) No. 2.

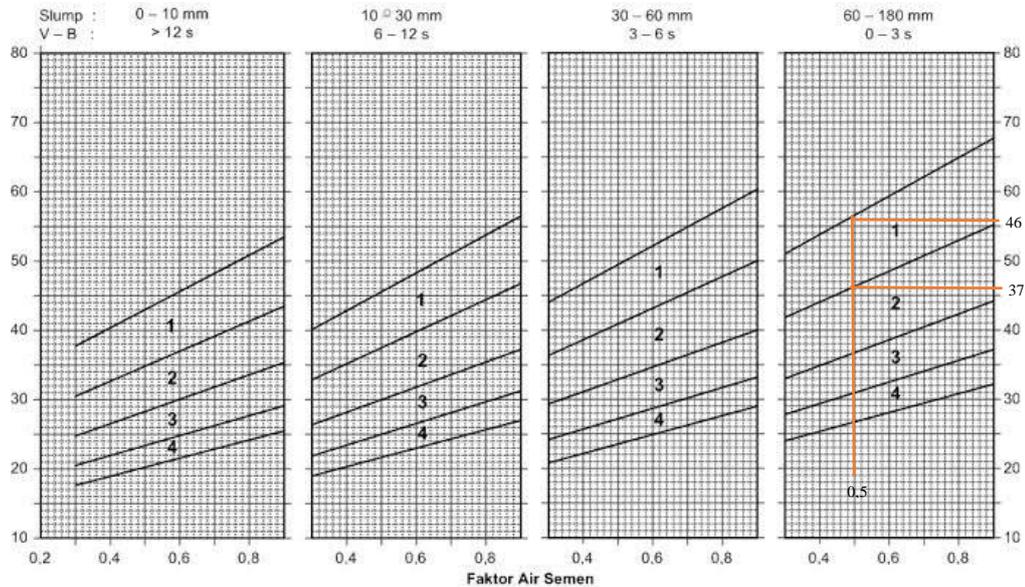
17. Menentukan susunan agregat kasar menurut gambar 3.4.



Gambar 3.4: Batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 20 mm.

18. Menentukan persentase pasir dengan perhitungan ukuran butir agregat maksimum menurut butir 10, slump menurut butir 9, faktor air semen menurut

butir 15 dan daerah susunan butir 16, maka jumlah persentase pasir yang diperlukan dapat dibaca pada grafik.



Gambar 3.5: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm.

19. Menghitung berat jenis relative agregat.

Berat jenis relative agregat ditentukan sebagai berikut:

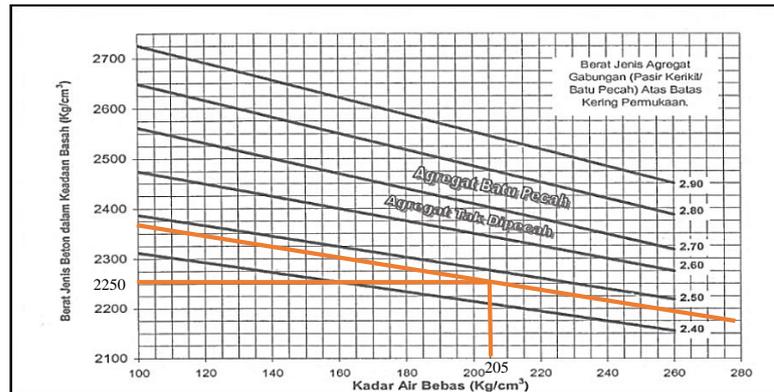
1) Diperoleh dari data hasil uji atau bila tidak tersedia dapat dipakai nilai dibawah ini:

- agregat tak dipecah : 2,5
- agregat dipecah : 2,6 atau 2,7

2) Berat jenis agregat gabungan dihitung sebagai berikut:

berat jenis agregat gabungan = persentase agregat halus x berat jenis agregat halus + persentase agregat kasar x berat jenis agregat kasar

20. Menentukan berat isi beton menurut Gambar 3.6 sesuai dengan kadar air bebas yang sudah ditemukan dari Tabel 3.6 dan berat jenis relative dari agregat gabungan menurut butir 18.



Gambar 3.6: Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton.

21. Menghitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air bebas;
22. Menghitung kadar agregat halus yang besarnya adalah hasil kali persen pasir butir 18 dengan agregat gabungan butir 21;
23. Menghitung kadar agregat kasar yang besarnya adalah kadar agregat gabungan butir 21 dikurangi kadar agregat halus butir 22; dari langkah-langkah tersebut di atas butir 1 sampai dengan 23 sudah dapat diketahui susunan campuran bahan-bahan untuk 1 m³ beton;
24. Proporsi campuran, kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan.
25. Mengkoreksi proporsi campuran menurut perhitungan.

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran halus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari .

3.7 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dibedakan menjadi 2 yaitu beton normal dan beton abu cangkang kelapa sawit.

1. Langkah-langkah pembuatan benda uji beton normal adalah sebagai berikut:

- a. Alat-alat yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian menimbang bahan-bahan yang akan digunakan sesuai dengan komposisi hasil *mix design*.
 - b. Menyiapkan molen yang bagian dalamnya sudah dilembabkan.
 - c. Kemudian pertama-tama tuangkan agregat halus, agregat kasar, dan semen. Aduk hingga ketiga bahan tersebut tercampur merata menggunakan molen.
 - d. Setelah ketiga bahan tersebut tercampur rata, masukkan air sedikit demi sedikit.
 - e. Setelah tercampur rata, dilakukan uji *slump flow* untuk mengukur tingkat *workability* adukan.
 - f. Apabila nilai *slump flow* telah memenuhi spesifikasi, selanjutnya adukan beton dituangkan ke dalam cetakan silinder, dan dirojok agar campuran beton menjadi padat.
 - g. Diamkan selama 24 jam.
 - h. Setelah 24 jam, cetakan dibuka kemudian dilakukan perawatan beton.
2. Langkah-langkah pembuatan benda uji beton abu cangkang kelapa sawit adalah sebagai berikut:
- a. Alat-alat yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian menimbang bahan-bahan yang akan digunakan sesuai dengan komposisi hasil *mix design*.
 - b. Menyiapkan molen yang bagian dalamnya sudah dilembabkan.
 - c. Kemudian tuangkan agregat halus kedalam molen lalu masukkan abu cangkang kelapa sawit yang telah lolos saringan no.50 dengan variasi yang telah ditentukan.
 - d. Kemudian masukkan agregat kasar.
 - e. Kemudian masukkan semen kedalam molen.
 - f. Setelah keempat bahan tersebut tercampur rata, masukkan air sedikit demi sedikit.
 - g. Kemudian masukkan Sika *Viscocrete 3115 N* sedikit demi sedikit dengan takaran yang telah ditentukan.

- h. Setelah tercampur rata, dilakukan uji slump untuk mengukur tingkat *workability* adukan.
- i. Apabila nilai *slump* telah memenuhi spesifikasi, selanjutnya adukan beton dituangkan ke dalam cetakan silinder, dan dirojak agar campuran beton menjadi padat.
- j. Diamkan selama 24 jam.
- k. Setelah 24 jam, cetakan dibuka kemudian dilakukan perawatan beton.

3.8 Pemeriksaan *Slump Flow*

Langkah-langkah pengujian *Slump Flow* :

1. Basahi kerucut Abrams dan plat sebesar 1m x 1m.
2. Letakan plat pada bidang yang datar dan letakkan kerucut Abrams secara terbalik tepat di tengah plat.
3. Tuangkan campuran beton kedalam kerucut Abrams hingga penuh lalu ratakan menggunakan skrap dan diamkan selama 1 menit.
4. Angkat kerucut Abrams secara tegak lurus secara perlahan-lahan sambil menghitung waktu persebaran adukan menggunakan stopwatch.
5. Mencatat waktu saat sebaran adukan mencapai ukuran diameter 500mm dan hentikan stopwatch saat sebaran adukan berhenti serta mencatat waktunya.
6. Kemudian ukur lebar sebaran adukan beton menggunakan penggaris secara vertikal dan horizontal.
7. Besar diameter sebaran adukan menunjukkan tingkat kekentalan adukan tersebut, semakin besar diameter yang didapat maka semakin encer pula adukan tersebut.

3.9 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Langkah-langkah pegujian kuat Tarik belah beton adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian dibuat catatan benda uji, baik nomor benda uji, nilai slump, tanggal pembuatan benda uji dan tanggal pengujian.
2. Pengujian kuat tarik belah dilakukan dengan meletakkan benda uji pada bagian sisinya di atas mesin dan beban tekan P dikerjakan secara merata dalam arah diameter di sepanjang benda uji.
3. Melapisi permukaan benda uji dengan pelat baja agar permukaan yang ditekan rata, dan usahakan benda uji berada dalam keadaan sentris.
4. Jalankan mesin desak dengan kecepatan penambahan beban yang konstan, kemudian catat besarnya beban maksimum yang dapat diterima pada masing-masing benda uji.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Sebuah data dari penelitian perlu dilakukan sebuah analisis dan pembahasan untuk memperoleh tujuan yang direncanakan. Pada bab ini akan dijabarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan peneliti di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang diawali dengan pemeriksaan bahan penyusun beton, perencanaan campuran beton, pencampuran bahan penyusun beton, dan pengujian beton yang telah dibuat.

4.2 Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Pada pemeriksaan bahan penyusun beton peneliti memperoleh data material meliputi berat jenis, kadar air, kadar lumpur, berat isi, penyerapan serta analisa saringan. Bahan-bahan yang akan digunakan pada pencampuran beton memiliki beberapa persyaratan yang harus dipenuhi sehingga perlu dilakukan pemeriksaan bahan penyusun beton

4.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pada penelitian ini digunakan agregat halus berupa pasir alam yang diperoleh dari Binjai. Pada agregat halus dilakukan pemeriksaan bahan yang meliputi pengujian analisa saringan, pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian kadar air, pengujian berat isi, dan pengujian kadar lumpur.

1. Hasil Pengujian Analisa Saringan

Pelaksanaan pengujian analisa saringan mengacu pada SNI 03-1968-1990 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang analisa saringan agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Table 4.1: Hasil pengujian analisa agregat halus.

Sieve Size	Retained Fraction				Cumulative	
	Sample I	Sample II	Total Weight	%	Retained	Passing
	(gr)	(gr)	(gr)			
4.75 (No. 4)	65	70	135	6.77	6.77	93.23
2.36 (No. 8)	82	80	162	8.12	14.89	85.11
1.18 (No.16)	137	184	321	16.09	30.98	69.02
0.60 (No. 30)	169	136	305	15.29	46.27	53.73
0.30 (No. 50)	464	436	900	45.11	91.38	8.62
0.15 (No. 100)	11	14	25	1.25	92.63	7.37
Pan	69	78	147	7.37	100.00	0
Total	997	998	1995	100.00	282,91	

Berdasarkan Tabel 4.1 maka diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{282,91}{100} \\
 &= 2,83
 \end{aligned}$$

Menurut Tjokrodimuljo (2007) pada umumnya modulus halus butir agregat halus mempunyai nilai antara 1,5 sampai 3,8. Pada pengujian ini diperoleh nilai sebesar 2,83 yang berarti memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Hasil pengujian analisa saringan selain menentukan nilai modulus halus butir juga digunakan untuk mengetahui gradasi agregat halus. Daerah gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.2.

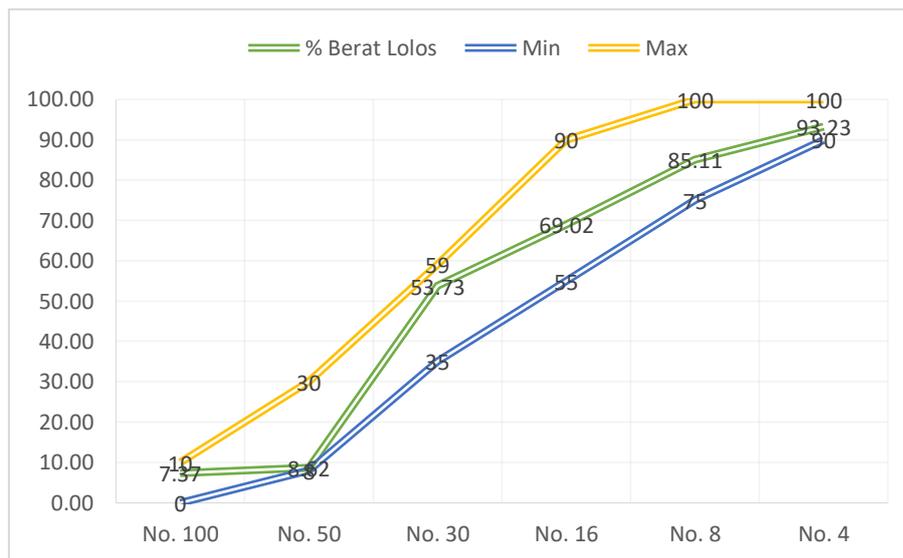
Table 4.2: Daerah gradasi agregat halus.

Nomor Saringan	Lubang Saringan (mm)	Persen bahan butiran yang lolos saringan			
		Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
4	4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
8	2,4	60-95	75-100	85-100	95-100

Tabel 3.9: *lanjutan.*

Nomor Saringan	Lubang Saringan (mm)	Persen bahan butiran yang lolos saringan			
		Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
16	1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
30	0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
50	0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
100	0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Berdasarkan Tabel 4.2 agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan gradasi daerah II dengan jenis pasir agak kasar. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan gradasi daerah II dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Grafik analisa agregat halus.

2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air mengacu pada SNI 1970-2008 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik

Sipil UMSU tentang berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Table 4.3: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

<i>FINE AGGREGATE</i> (Agregat Halus) <i>Passing No.4</i> (Lolos Ayakan N0.4)	1	2	<i>AVE</i>
			(Rata-Rata)
<i>Wt. Of SSD Sample in Air</i> (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh) gr (B)	500	500	500
<i>Wt. Of Oven Dry Sample</i> (Berat contoh (SSD) kering oven (110° C) Sampai Konstan) gr (E)	483	491	487
<i>Wt. Of Flask + Water</i> (Berat Piknometer penuh air) gr (D)	692	681	686.5
<i>Wt. Of Flask + Water + Sample</i> (Berat contoh SSD di dalam piknometer penuh air) gr (C)	994	989	991.5
<i>Bulk Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh kering) $E / (B + D - C)$	2.44	2.56	2.50
<i>Bulk Sp. Gravity-SSD</i> (Berat jenis contoh SSD) $B / (B + D - C)$	2.53	2.60	2.56
<i>Apparent Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh semu) $E / (E + D - C)$	2.67	2.68	2.68
<i>Absorption</i> $[(B - E) / E] \times 100\%$	3.52	1.83	2.68

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh hasil berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,56 gram/cm³ dan penyerapan air rata-rata sebesar 2,68%. Sebuah berat jenis agregat normal berada diantara 2,4-2,7 (Tjokrodinuljo,2007). Hal ini menyatakan bahwa agregat halus yang digunakan termasuk berat jenis agregat normal karena berada diantara 2,4-2,7.

3. Pengujian Kadar Air

Pelaksanaan pengujian kadar air mengacu pada SNI 1971-2011 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang kadar air agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Table 4.4: Hasil pengujian kadar air agregat halus.

FINE AGREGAT	1	2
Wt of SSD Sample & Mold (Berat contoh SSD dan berat wadah) gr	950	951
Wt of SSD sample (berat contoh SSD) gr	500	500
Wt of Oven Dry Sample & Mold (Berat contoh kering oven & berat wadah) gr	936	938
Wt of Mold (berat wadah) gr	450	451
Wt of Water (berat air) gr	14	13
Wt of Oven Dry Sample (Berat contoh kering) gr	486	487
Water Content	2.88	2.67
Ave	2.78	

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh rata-rata kadar air sebesar 2,78%. Percobaan dilakukan sebanyak dua kali, dengan percobaan pertama didapat hasil kadar air sebesar 2,88%. Sedangkan percobaan kedua didapat hasil kadar air sebesar 2,67%. Hasil tersebut telah memenuhi standar yang ditentukan yaitu 2%-20%.

4. Pengujian Berat Isi

Pelaksanaan pengujian berat isi mengacu pada SNI 03-4804-1998 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang berat isi agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Table 4.5: Hasil pengujian berat isi agregat halus.

Pengujian	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata – Rata
Berat Contoh & Wadah	16840	18900	18965	18235
Berat Wadah	5327	5327	5327	5327
Berat Contoh & Wadah	22167	24227	24292	23562
Volume Wadah	10948	10948	10948	10948
Berat Isi	1.54	1.73	1.73	1.67

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh rata-rata berat isi sebesar $1,67 \text{ gr/cm}^3$. Berat isi yang disyaratkan pada beton normal berkisar 1,5-1,8 sehingga berat volume padat agregat halus yang digunakan telah memenuhi persyaratan.

5. Pengujian Kadar Lumpur

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur mengacu pada SNI 03-4141-1996 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang kadar lumpur agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Table 4.6: Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus.

Agregat Halus Lolos Saringan No.9,5 mm	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat contoh kering	500	500	500
Berat contoh kering setelah di cuci	471	479	475
Berat kotoran	29	21	25
Persentase kotoran	6.2	4.4	5.3

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh nilai persentase kadar lumpur dari sampel 1 sebesar 6,2% dan nilai persentase kadar lumpur dari sampel 2 sebesar 4,4%. Maka rata-rata nilai kadar lumpur dari kedua sampel adalah sebesar 5,3%.

4.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Pada penelitian ini digunakan agregat kasar berupa batu pecah yang diperoleh dari Binjai. Pada agregat kasar dilakukan pemeriksaan bahan yang meliputi pengujian analisa saringan, pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian kadar air, pengujian berat isi, dan pengujian kadar lumpur.

1. Hasil Pengujian Analisa Saringan

Pelaksanaan pengujian analisa saringan mengacu pada SNI 03-1969-1990 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang analisa saringan agregat kasar. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Table 4.7: Hasil pengujian analisa agregat kasar.

Sieve Size	Retained Fraction				Cumulative	
	Sample I (gr)	Sample II (gr)	Total Weight (gr)	%		
38,1 (1.5 in)	0	0	0	0.00	0.00	100.00
19.0 (3/4 in)	65	57	122	2.44	2.44	97.56
9.52 (3/8 in)	1467	1498	2965	59.30	61.74	38.26
4.75 (No. 4)	968	945	1913	38.26	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	100	0
Total	2500	2500	5000	100.00	664.18	

Berdasarkan Tabel 4.7 maka diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) sebagai berikut:

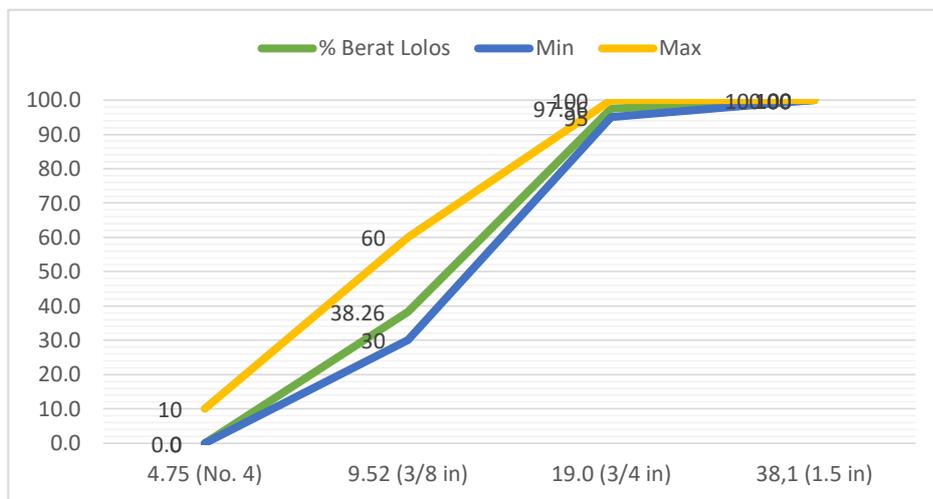
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{664,18}{100} \\
 &= 6,64
 \end{aligned}$$

Menurut Tjokrodinuljo (2007) pada umumnya modulus halus butir agregat kasar mempunyai nilai antara 6,0 sampai 7,0. Pada pengujian ini diperoleh nilai sebesar 6,64 yang berarti memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Hasil pengujian analisa saringan selain menentukan nilai modulus halus butir juga digunakan untuk mengetahui gradasi agregat kasar. Daerah gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Table 4.8: Batas gradasi agregat kasar.

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)		
	Gradasi Agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
76	100	-	-
38	95-100	100	-
19	37-70	95-100	100
9,6	10-40	30-60	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Berdasarkan Tabel 4.8 gradasi agregat kasar menggunakan persyaratan gradasi agregat dengan ukuran butir maksimum 20 mm, tetapi dalam analisa saringan agregat kasar ini diperoleh gradasi sela karena terdapat fraksi ukuran 20 mm dan 10 mm yang tidak terpenuhi. Apabila salah satu fraksi ukuran yang tidak terpenuhi maka akan mengakibatkan volume pori (ruang kosong) pada beton menjadi lebih banyak. Variasi ukuran agregat kasar akan mengakibatkan volume pori menjadi lebih kecil dan beton yang dihasilkan akan menjadi lebih padat. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Grafik analisa agregat kasar.

2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air mengacu pada SNI 1969-2008 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Table 4.9: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.

<i>COARSE AGGREGATE</i> (Agregat Kasar)	1	2	<i>AVE</i>
<i>Passing No.4</i> (Lolos Ayakan N0.4)			(Rata-Rata)
<i>Wt. Of SSD Sample in Air</i> (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh) gr (A)	2800	2700	2750
<i>Wt. Of Oven Dry Sample</i> (Berat contoh (SSD) kering oven (110° C) Sampai Konstan) gr (C)	2795	2687	2741
<i>Wt. Of SSD Sample in Water</i> (Berat contoh (SSD) di dalam air) gr (B)	1591	1625	1608
<i>Bulk Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh kering) C / (A - B)	2.31	2.50	2.41
<i>Bulk Sp. Gravity-SSD</i> (Berat jenis contoh SSD) A / (A - B)	2.32	2.51	2.41
<i>Apparent Sp. Gravity-Dry</i> (Berat jenis contoh semu) C / (C - B)	2.32	2.53	2.43
<i>Absorption</i> [(A - C) / C] x 100%	0.18	0.48	0.33

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan pada agregat kasar diperoleh berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,41 gram/cm³ dan penyerapan air rata-rata sebesar 0,33%. Penyerapan agregat kasar lebih kecil dari agregat halus, hal ini menunjukkan rongga-rongga yang diisi air oleh air lebih sedikit dari pada agregat halus. Sebuah berat jenis agregat normal berada diantara 2,4-2,7 (Tjokrodinuljo,2007). Hal ini menyatakan bahwa agregat kasar yang digunakan termasuk berat jenis agregat normal karena berada diantara 2,4-2,7.

3. Pengujian Kadar Air

Pelaksanaan pengujian kadar air mengacu pada SNI 1971-2011 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang kadar air agregat kasar. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Table 4.10: Hasil pengujian kadar air agregat kasar.

<i>COARSE AGREGAT</i>	1	2
<i>Wt of SSD Sample & Mold</i> (Berat contoh SSD dan berat wadah) gr	1492	1495
<i>Wt of SSD sample</i> (berat contoh SSD) gr	1000	1000
<i>Wt of Oven Dry Sample & Mold</i> (Berat contoh kering oven & berat wadah) gr	1482	1486
<i>Wt of Mold</i> (berat wadah) gr	492	495
<i>Wt of Water</i> (berat air) gr	10	9
<i>Wt of Oven Dry Sample</i> (Berat contoh kering) gr	990	991
<i>Water Content</i>	1.01	0.91
<i>Ave</i>	0.96	

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh rata-rata kadar air sebesar 0,96%. Percobaan dilakukan sebanyak dua kali, dengan percobaan pertama didapat hasil kadar air sebesar 1,01%. Sedangkan percobaan kedua didapat hasil kadar air sebesar 0,91%.

4. Pengujian Berat Isi

Pelaksanaan pengujian berat isi mengacu pada SNI 03-4804-1998 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang berat isi agregat kasar. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Table 4.11: Hasil pengujian berat isi agregat kasar.

Pengujian	Sampel 1	Sample 2	Sample 3	Average
Berat Contoh & Wadah	18530	19825	19680	19345
Verat Wadah	5327	5327	5327	5327
Berat Contoh & Wadah	23857	25152	25007	24672
Volume Wadah	10948	10948	10948	10948
Berat Isi	1.69	1.81	1.80	1.77

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh rata-rata berat isi sebesar $1,77 \text{ gr/cm}^3$. Berat isi yang disyaratkan pada beton normal berkisar 1,5-1,8 sehingga berat volume padat agregat halus yang digunakan telah memenuhi persyaratan.

5. Pengujian Kadar Lumpur

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur mengacu pada SNI 03-4141-1996 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang kadar lumpur agregat kasar. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Table 4.12: Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar.

Agregat Kasar Lolos Saringan No. 50,8 mm	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Berat Contoh Kering	2500	2500	2500
Berat Contoh Kering Setelah Di Cuci	2477	2479	2478
Berat Kotoran	23	21	22
Persentase Kotoran	0.93	0.84	0.89

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh nilai persentase kadar lumpur dari sampel 1 sebesar 0,93% dan nilai persentase kadar lumpur dari sampel 2 sebesar 0,84%. Maka rata-rata nilai kadar lumpur dari kedua sampel adalah sebesar 0,89%. Nilai ini masih berada dalam batas yang diizinkan yaitu maksimal 1% (SK SNI S-04-1989-F), sehingga agregat tidak perlu dicuci sebelum pengadukan.

4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Abu Cangkang sawit

Dalam pemeriksaan abu cangkang kelapa sawit didapatkan berat jenis dan penyerapan sebagai berikut:

Table 4.13: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan abu cangkang sawit.

FILLER AGGREGATE	Satuan	Sample 1	Sample 2	AVE
Berat SSD (B)	gr	200	200	200
Berat SSD kering oven (E)	gr	196	197	196,5

Table 4.14: *Lanjutan*

FILLER AGGREGATE	Satuan	Sample 1	Sample 2	AVE
Berat Pic + air (D)	gr	665	664	64,5
Berat SSD + berat pic + air (C)	gr	770	771	770,5
BJ Bulk = (E / (B + D - C))		2,06	2,11	2,08
BJ SSD = (B / (B + D - C))		2,10	2,15	2,12
BJ Semu = (E / (E + D - C))		2,15	2,18	2,16
Absorption = ([(B - E) / E] x 100%)	%	2,04	1,52	1,78

Dari hasil pengujian didapatkan data seperti dicantumkan diatas. Analisa yang bisa didapatkan, pada pengujian berat jenis SSD sebesar 2,12. Dalam pengujian abu cangkang ini, diketahui agregatnya dikategorikan sebagai agregat normal. Sedangkan penyerapan air didapatkan 1,78 %, batas maksimal persentase penyerapan air sebesar 3%.

4.4 Perencanaan Campuran Beton

Pada peneilitian ini perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Perencanaan campuran beton bertujuan untuk memperoleh proposi campuran yang sesuai dengan kuat tekan beton rencana. Pada perencanaan beton normal ini direncanakan memiliki nilai kuat tekan 30 MPa yang perhitungannya sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana ($f'c$) = 25 MPa dan benda uji akan dilakukan pengujian pada umur rencana 28 hari.
2. Standar deviasi ditiadakan.
3. Nilai tambah margin (M) karena benda uji yang direncanakan kurang dari 15 buah, maka nilai yang diambil sebesar 12 MPa.
4. Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan ($f'cr$) berdasarkan Persamaan 3.4 diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 f'cr &= f'c + M \\
 &= 25 + 12 \\
 &= 37 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

5. Semen yang digunakan seharusnya semen Portland tipe I tetapi karena keterbatasan untuk memperoleh diganti semen tipe PCC merek Tiga Roda yang memiliki kekuatan setara dengan semen Portland tipe I.
6. Agregat yang digunakan berupa agregat halus pasir alami dari Binjai dan agregat kasar batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm dari Binjai.
7. Faktor air semen (FAS), berdasarkan perhitungan pada Gambar 3.2 tentang grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen dengan perkiraan kekuatan tekan beton rata-rata 37 MPa, semen yang digunakan semen Portland tipe I, beton dilakukan pengujian pada umur rencana 28 hari, benda uji silinder dan agregat kasar berupa batu pecah maka digunakan nilai FAS sebesar 0,5.
8. Faktor air semen maksimum, berdasarkan tabel 3.7 mengenai persyaratan faktor air maksimum karena beton berada di lokasi yang non-korosif maka faktor air maksimum ditetapkan sebesar 0,60.
9. Nilai slump yang direncanakan pada penelitian ini menggunakan slump rencana sebesar 60-180 mm.
10. Ukuran maksimum yang digunakan sebesar 20 mm.
11. Kadar air bebas agregat campuran, ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 20 mm dan nilai slump yang ditentukan adalah 60-180 mm sehingga dari Tabel 3.6 diperoleh nilai perkiraan jumlah air untuk agregat halus (W_h) adalah 195 sedangkan untuk agregat kasar (W_k) adalah 225 sehingga nilai kadar air bebas yang digunakan berdasarkan Persamaan 3.5 diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Air Bebas} &= \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \\
 &= \frac{2}{3}195 + \frac{1}{3}225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

12. Kadar semen dapat dihitung dengan cara nilai kadar air bebas dibagi faktor air semen, maka jumlah semen yang digunakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar Air Bebas}}{\text{Faktor Air Semen}} \\
 &= \frac{205}{0,5} \\
 &= 410 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

13. Kadar semen maksimum sebesar 410 kg/m^3
14. Kadar semen minimum untuk beton yang direncanakan didalam ruangan dan terlindung dari hujan serta terik matahari langsung dari Tabel 3.7 mempunyai kadar semen minimum per- m^3 sebesar 275 kg.
15. Faktor air semen yang disesuaikan berdasarkan Gambar 3.2 yaitu sebesar 0,5.
16. Susunan butir agregat halus berdasarkan Gambar 3.3 yaitu batas gradasi pasir no.2.
17. Susunan butir agregat kasar berdasarkan Gambar 3.4 yaitu batar gradasi kerikil ukuran maksimum 20mm.
18. Persentase agregat halus, dengan mengacu pada slump 60-180 mm, faktor air semen 0,5 dan ukuran butir maksimum 20 mm serta agregat halus berada pada gradasi 2 maka persentase agregat halus terhadap kadar agregat total sesuai pada Gambar 3.5. Sehingga diperoleh persentase halus batas bawah sebesar 37% dan batas atas sebesar 46%. Nilai yang digunakan adalah nilai rata-rata sehingga digunakan sebesar 41,5%
19. Menghitung berat jenis relatif dengan nilai yang diperoleh dari pemeriksaan bahan susun beton nilai berat jenis agregat halus (BJAH) sebesar 2,56 dan berat jenis agregat kasar (BJAK) sebesar 2,41. Maka diperoleh perhitungan berat jenis gabungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Relatif} &= (\% \text{AH} \cdot \text{BJAH}) + ((100\% - \% \text{AH}) \cdot \text{BJAK}) \\ &= (41,5\% \cdot 2,56) + ((100\% - 41,5\%) \cdot 2,41) \\ &= 2,47 \end{aligned}$$
20. Berat isi beton diperoleh dari Gambar 3.9 dengan nilai kadar air bebas yang digunakan sebesar 205 dan berat jenis gabungan sebesar 2,47, maka diperoleh nilai berat isi beton sebesar 2250 Kg/m^3
21. Kadar agregat gabungan diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{Berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2250 - 410 - 205 \\ &= 1635 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
22. Kadar agregat halus diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \text{Kadar agregat gabungan} \cdot \% \text{AH} \\ &= 1635 \cdot 41,5\% \end{aligned}$$

$$= 678,52 \text{ kg/m}^3$$

23. Kadar agregat kasar diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \text{Kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\ &= 1635 - 678,52 \\ &= 956,48 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

24. Proporsi Campuran

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka didapatkan susunan campuran proporsi teoritis untuk setiap 1 m³ beton adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Semen} &= 410 \text{ kg} \\ \text{Air} &= 205 \text{ kg} \\ \text{Agregat Halus} &= 678,52 \text{ kg} \\ \text{Agregat Kasar} &= 956,48 \text{ kg} \end{aligned}$$

25. Koreksi Proporsi Campuran

Koreksi proporsi campuran untuk mendapatkan susunan campuran yang sebenarnya, yaitu yang akan dipakai sebagai campuran uji. Angka-angka teoritis tersebut perlu dibetulkan dengan memperhitungkan jumlah air bebas yang terdapat dalam masing-masing agregat yang akan dipakai, perhitungan dengan menggunakan persamaan 3.6 s/d 3.8 sebagai berikut :

Diketahui:

- Jumlah air (B) = 205 kg/m³
- Jumlah agregat halus (C) = 678,52 kg/m³
- Jumlah agregat kasar (D) = 956,48 kg/m³
- Penyerapan agregat halus (C_a) = 2,68%
- Penyerapan agregat kasar (D_a) = 0,33%
- Kadar air agregat halus (C_k) = 2,78%
- Kadar air agregat kasar (D_k) = 0,96%

a. Air

$$\begin{aligned} \text{Air} &= B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\ &= 205 - (2,78 - 2,68) \times \frac{678,52}{100} - (0,96 - 0,33) \times \frac{956,48}{100} \\ &= 198,29 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

b. Agregat halus

$$\begin{aligned} \text{Agregat halus} &= C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} \\ &= 678,52 + (2,78 - 2,68) \times \frac{678,52}{100} \\ &= 679,20 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

c. Agregat kasar

$$\begin{aligned} \text{Agregat kasar} &= D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\ &= 956,48 + (0,96 - 0,33) \times \frac{956,48}{100} \\ &= 962,50,30 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Table 4.15: Rekapitulasi perencanaan campuran beton (*Mix Design*).

No	Uraian	Tabel/Gambar /Perhitungan	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan (silinder)	Ditetapkan	25 Mpa
2	Deviasi standar	-	-
3	Nilai tambah (margin)	Tabel 3.4	12 Mpa
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	1+3	37 Mpa
5	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Portland I
6	Jenis agregat: -kasar -halus	Ditetapkan Ditetapkan	Batu Pecah Pasir Alami
7	FAS	Tabel 3.5 dan Gambar 3.2	0,5
8	FAS maksimum	Tabel 3.7	0,6
9	Slump	Ditetapkan	60-180 mm
10	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	20 mm
11	Kadar air bebas	Tabel 3.6	205 Kg/m ³
12	Kadar semen	11:8	410 Kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	Ditetapkan	410 Kg/m ³
14	Kadar semen minimum	Tabel 3.7	275 Kg/m ³
15	FAS yang disesuaikan	-	0,5
16	Susunan butir agregat halus	Gambar 3.3	no.2
17	Susunan butir agregat kasar	Gambar 3.4	no.20 mm
18	Persen agregat halus	Gambar 3.5	41,5%
19	Berat jenis relative	Dihitung	2,48

Table 4.16: *Lanjutan*

No	Uraian	Tabel/Gambar /Perhitungan		Nilai	
20	Berat isi	Gambar 3.6		2250 kg/m ³	
21	Kadar agregat gabungan	20-12-11		1635 kg/m ³	
22	Kadar agregat halus	21x18		678,53 kg/m ³	
23	Kadar agregat kasar	21-22		956,48 kg/m ³	
24	Proporsi campuran	Semen (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat (kg/m ³)	
				Halus	Kasar
		410	205	678,53	956,48
		1	0,48	1,65	2,33
25	Koreksi proporsi campuran	410	198,33	679,19	962,48
		1,00	0,48	1,66	2,35

4.5 Kebutuhan Bahan

Berdasarkan hasil mix design beton normal mutu sedang maka kebutuhan bahan untuk 1 m³ sebagai berikut :

- PC = 410 kg/m³
- Agregat halus = 679,19 kg/m³
- Agregat kasar = 962,48 kg/m³
- Air = 198,33 kg/m³

Kebutuhan volume satu benda uji dengan cetakan silinder sebagai berikut :

- Tinggi = 30 cm
- Diameter = 15 cm

$$\begin{aligned}
 \text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot T \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 0,30 \\
 &= 0,0053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sedangkan kebutuhan volume setiap variasi atau satu kali adukan, ialah = 3 x 0,0053 m³ = 0,01590 m³ dan sebagai toleransi kehilangan saat pembuatan, Maka kebutuhan bahan untuk jumlah setiap total variasi ditambah 10% dari total variasi , yaitu = 0,01590 m³ + (0,01590 m³ x 10%) = 0,0175 m³. Sehingga didapat seluruh kebutuhan bahan pada setiap variasi atau 1 kali adukan sebagai berikut :

Table 4.17: Kebutuhan bahan berbagai variasi campuran.

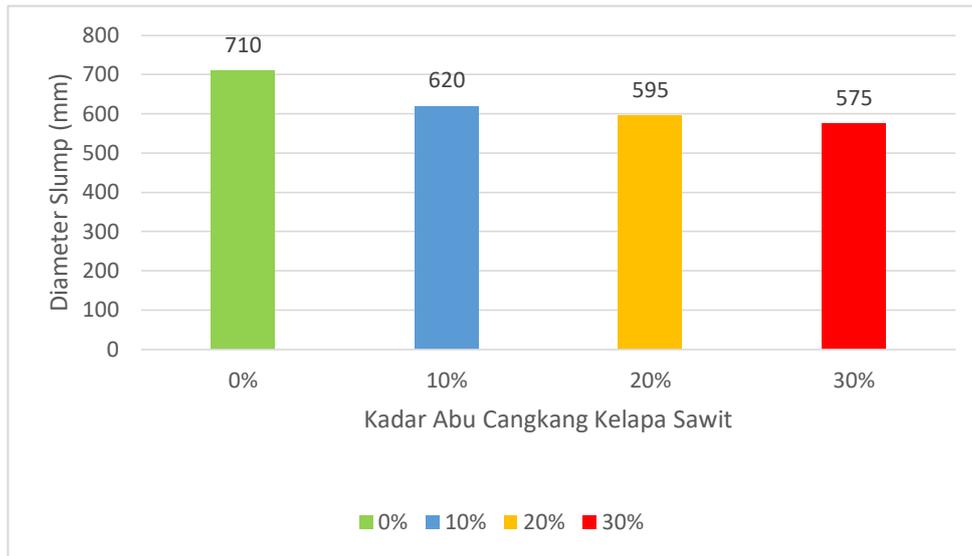
No	Kode Benda Uji	Volume 1x Adukan Per (m3)	Komposisi Bahan						Total (kg)
			PCC + Viscocrete 3115 N		Agregat Halus		Agregat Kasar (kg)	Air (kg)	
			PCC (kg)	Viscocrete 3115 N (kg)	Pasir (kg)	Abu Cangkang (kg)			
1	BN	0.0175	100% 7.604	0.8% 0.068	100% 12.596	-	17.850	3.680	41.798
2	BAC-10	0.0175	100% 7.604	0.8% 0.068	90% 11.336	10% 1.189	17.850	3.680	41.727
3	BAC-20	0.0175	100% 7.604	0.8% 0.068	80% 10.007	20% 2.377	17.850	3.680	41.586
4	BAC-30	0.0175	100% 7.604	0.8% 0.068	70% 8.817	30% 3.566	17.850	3.680	41.585
Total		0.070	30.416	0.272	42.756	7.131	71.400	14.720	166.695

4.6 Pengujian Slump

Pengujian slump dilakukan menggunakan metode ASTM C 1611, sehingga didapat hasil pengujian slump sebagai berikut.

Table 4.18: Hasil pengujian slump.

Flow Test Table ASTM C 1611										
Kadar Abu Cangkang	Diameter Maksimal			Syarat D Min	Waktu		Syarat t 500	Kec	Ket	Air 1x Adukan (Liter)
	d1	d2	d Rerata		t 500	t Max				
	(mm)	(mm)	(mm)		(det)	(det)				
0%	720	700	710	500	2.2	7.6	5	93.421	Memenuhi	3.68
10%	630	610	620	500	3.5	10.7	5	57.944	Memenuhi	3.98
20%	600	590	595	500	4.1	12.1	5	49.174	Memenuhi	4.28
30%	580	570	575	500	4.7	14.3	5	40.210	Memenuhi	5.18



Gambar 4.3: Grafik slump rata – rata.

Berdasarkan Gambar 4.3 hasil pengujian yang diperoleh tentang nilai slump rata-rata menunjukkan penurunan seiring penambahan abu cangkang kelapa sawit. Penurunan workability dari adukan beton diakibatkan karena abu cangkang kelapa sawit cukup banyak menyerap air untuk melakukan reaksi kimia dengan kalsium hidroksida.

4.7 Berat Isi Beton

$$\text{Berat isi rencana} = 2250 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume pekerjaan} = 0,070 \text{ m}^3$$

Table 4.19: Hasil pengujian berat isi beton.

No	Variasi Beton	Berat Penuh Air Pada Volume Silinder (kg)	Berat Beton (kg)	Berat isi Beton (kg/m^3)	Berat Isi Beton Rata-rata (kg/m^3)	Berat Isi Beton Rencana (kg/m^3)	Yield	Berat isi lebih (%)
1	BN	5.299	12.621	2382	2399	2250	1.07	0.06
			12.741	2405				
			12.772	2410				

No	Variasi Beton	Berat Penuh Air Pada Volume Silinder (kg)	Berat Beton (kg)	Berat isi Beton (kg/m ³)	Berat Isi Beton Rata-rata (kg/m ³)	Berat Isi Beton Rencana (kg/m ³)	Yield	Berat isi lebih (%)
2	BAC-10	5.299	12.206	2304	2336		1.04	0.04
			12.263	2314				
			12.672	2392				
3	BAC-20	5.299	12.086	2281	2233		1.01	0.01
			11.784	2224				
			11.634	2196				
4	BAC-30	5.299	11.972	2259	2307		1.03	0.02
			11.430	2157				
			11.711	2210				

Berdasarkan data pengujian, berat isi beton untuk berbagai variasi campuran masing – masing sebesar 2399 kg/m³ (BN), 2336 kg/m³ (BAC-10), 2233 kg/m³ (BAC-20), dan 2307 kg/m³ (BAC-30). Dikarenakan nilai toleransi kehilangan bahan, jumlah bahan dlebihkan sehingga untuk berat isi BN, BAC-10 dan BAC-30 melebihi dari berai isi beton rencana. Sedangkan untuk berat isi BAC-20 kurang dari berat isi beton rencana akibat banyaknya volume rongga udara pada beton. Tetapi berat isi beton rata-rata diatas masih sesuai dengan berat satuan beton normal yaitu antara 2200 – 2500 kg/m³ (SNI 03 – 2847 – 2002).

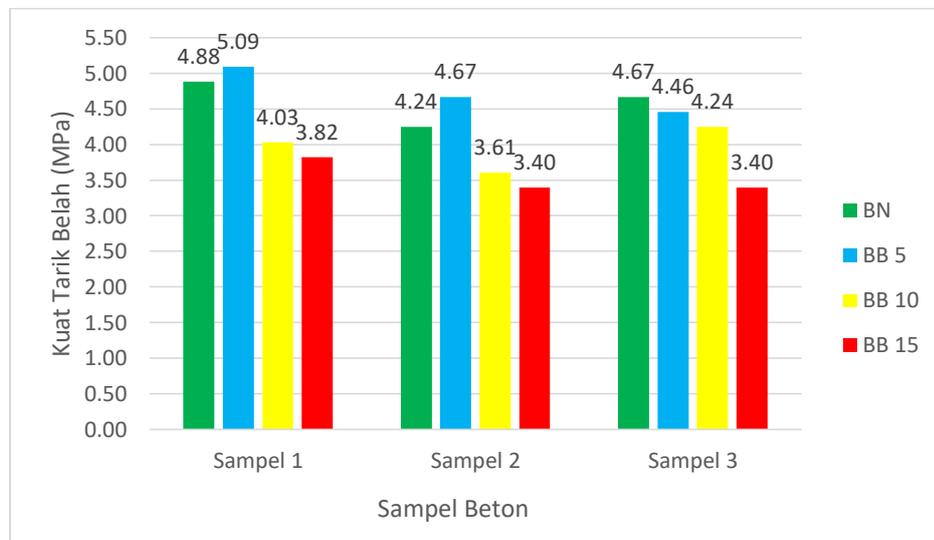
4.8 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilaksanakan setelah benda uji berumur 28 hari. Pengujian ini dengan memberikan beban yang mampu diterima oleh benda uji pada sisi beton yang diletakkan mendarat pada mesin uji. Pengujian ini menggunakan metode SNI 03-2491-2012 tentang pengujian kuat tarik belah beton. Beban yang mampu diterima oleh benda uji berdasarkan Persamaan 2.1 diperoleh hasil pengujian kuat tarik belah beton yang dapat dilihat pada Tabel 4.18.

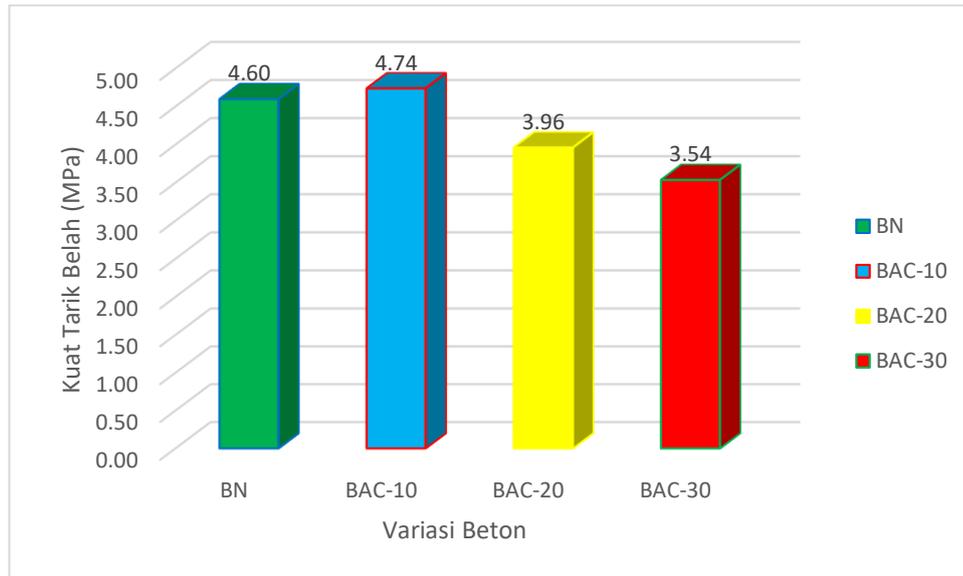
Table 4.20: Hasil pengujian kuat tarik belah beton.

Variasi Beton	Luas (πLD) (mm ²)	Beban (T)			Kuat Tarik Belah (Mpa)			Tarik Belah Rata-Rata
		1	2	3	1	2	3	
BN	141372	34.5	30	33	4.88	4.24	4.67	4.60
BAC-10%	141372	36	33	31.5	5.09	4.67	4.46	4.74
BAC-20%	141372	28.5	25.5	30	4.03	3.61	4.24	3.96
BAC-30%	141372	27	24	24	3.82	3.40	3.40	3.54

Berdasarkan Tabel 4.18 diperoleh grafik hasil pengujian kuat tarik belah beton yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.4: Grafik nilai kuat tarik belah semua variasi.



Gambar 4.5: Grafik nilai kuat tarik belah rata – rata.

Berdasarkan data hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat diketahui bahwa untuk sampel beton variasi BAC-10 mempunyai kuat tarik belah yang paling tinggi yakni sebesar 4,74 Mpa. Sedangkan beton normal mempunyai kuat tarik belah sebesar 4,60 Mpa, maka beton BAC-10 memperoleh kenaikan sebesar 2,95% dengan selisih 0,14 Mpa. Tetapi pada BAC-30 memperoleh penurunan sebesar 23,04% dengan selisih 1,06 Mpa.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain:

1. Pengaruh abu cangkang kelapa sawit sebagai substitusi agregat halus dengan bahan tambah zat kimia *superplasticizer viscocrete* 0,8% mengalami kenaikan sebesar 2,95% terdapat pada variasi abu cangkang 10% yaitu dengan nilai kuat tarik sebesar 4,74 MPa dengan selisih 0,14 MPa dari beton normal yang memiliki nilai kuat tarik sebesar 4,60 MPa. Dan peningkatan kuat tarik optimum terjadi pada variasi abu cangkang kelapa sawit 10% pada 28 hari dan 0,8% *superplasticizer viscocrete* dari berat semen.
2. Pengaruh penambahan *superplasticizer viscocrete* membuat nilai kuat tarik beton abu cangkang kelapa sawit menjadi tidak teratur. Penambahan *superplasticizer* 0,8%, pada variasi abu cangkang kelapa sawit 10% mengalami kenaikan kuat tarik, akan tetapi dengan variasi abu cangkang kelapa sawit 20 dan 30% dengan *superplasticizer viscocrete* 0,8% justru menyebabkan penurunan kuat tarik. Dikarenakan pada variasi abu cangkang 20% dan 30% terlalu banyak mengandung abu cangkang kelapa sawit. Karena abu cangkang kelapa sawit memiliki tekstur yang lebih halus dari agregat halus sehingga mempengaruhi kuatnya pada persentase 20 dan 30%, semakin banyak persentase agregat yg di substitusi semakin turun kuatnya.

5.2 Saran

Diharapkan penelitian ini dapat dilanjutkan oleh peneliti-peneliti berikutnya. Maka dapat disarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya terhadap abu cangkang kelapa sawit disarankan untuk menggunakan variasi tidak lebih besar dari 10 % untuk pengujian kuat tarik.
2. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dilakukan menggunakan bahan *additive* lainnya.
3. Agar diperoleh sampel yang baik perlu diperhatikan pada saat pengadukan dan pemadatan, karena apabila dalam pemadatan tidak baik, sampel akan mengalami keropos dan ini akan sangat mempengaruhi kekuatan sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Azmi, N., Budi, T., & Muttaqin, A. (2019). *Studi Kuat Geser Beton Mutu Tinggi dengan Variasi Jenis Superplasticizer Menggunakan Bahan Tambah Abu Cangkang Sawit*. 1(2), 71–77.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. SNI 03-2834-2000. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–34.
- Darul, Syahroni, S., Edison, B., Darul, Syahroni, S., & Edison, B. (2014). *Kajian Pengaruh Serat Ijuk Terhadap Kuat Tarik Belah Beton K-175*. 1–8. <http://e-journal.upp.ac.id/index.php/mhsteknik/article/view/191/197>
- Departemen, M., Sipil, T., Utara, U. S., Pengajar, S., Teknik, D., & Utara, U. S. (n.d.). *Pengaruh substitusi agregat halus dengan kerak boiler terhadap beton*. 1, 1–10.
- Eveline Untu J Kumaat, G. E., & Windah, R. S. (2015). Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(10), 703–708.
- Fauzi Rahman, F. (2017). Kata kunci: limbah cangkang kelapa sawit, pengganti pasir, beton normal. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 6(1), 30–40.
- Gunawan, P., Prayitno, S., & Cahyadi, A. (2013). *Pengaruh Penambahan Serat Galvalum Az 150 Pada Beton Ringan Dengan Teknologi Foam Terhadap Modulus Elastisitas, Kuat Tarik Dan Kuat Tekan*. September, 213–220.
- Hengky Christian Gunawan 1) Chrisna D, Mungok2), Y. L. (n.d.). *Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Suryakencana*. 1–9.
- Idf, F., & Das, P. (2014). *pengaruh penggunaan cacahan gelas plastik polypropylene (pp) terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton fitroh*. 2(1), 1–8.
- Muhammad Reza1, Rahmi Karolina2, J. T. (2005). *pengaruh limbah abu boiler dan fly ash sebagai bahan pengganti semen dalam campuran beton*. 1, 1535–1540.
- Opirina, L., Aulia, T. B., & Afifuddin, M. (2016). *Terhadap Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi*. 2(1), 59–70.
- Pangloly, D. R., Sumajow, M. D. J., Dapas, S. O., Teknik, F., Sipil, J., Sam, U., Manado, R., Belakang, L., & Masalah, R. (2018). *Pengujian kuat tarik belah beton geopolymer pada perawatan temperatur ruangan*. 6(10), 743–750.

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>

Raja Marpaung. (n.d.). *pengaruh substitusi oil palm shell (ops) kuat tekan , tarik dan berat beton oleh :*

Teknik, M. F., Sipil, J., Maret, U. S., Teknik, P. F., Sipil, J., Maret, U. S., & Sutami, J. I. (2014). *Kajian Nilai Slump , Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton*. 2(2), 131–137.

Vitri, G., & Herman, H. (2019). *Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton*. 6(2), 78–87. <https://doi.org/10.21063/JTS.2019.V602.06>

LAMPIRAN



Gambar L.1: *Compressing Test Machine.*



Gambar L.2: *Saringan Agregat Kasar.*



Gambar L.3: Saringan Agregat Halus.



Gambar L.4: Cetakan Silinder.



Gambar L.5: Oven.



Gambar L.6: Gelas Ukur.



Gambar L.7: Kerucut Abrams.



Gambar L.8: *Mixer* Beton.



Gambar L.9: Timbangan.



Gambar L.10: Tongkat Penumbuk.



Gambar L.11: Triplek 1m x 1m.



Gambar L.12: Bak Perendaman.



Gambar L.13: Ember.



Gambar L.14: Sendok semen dan sekop tangan.



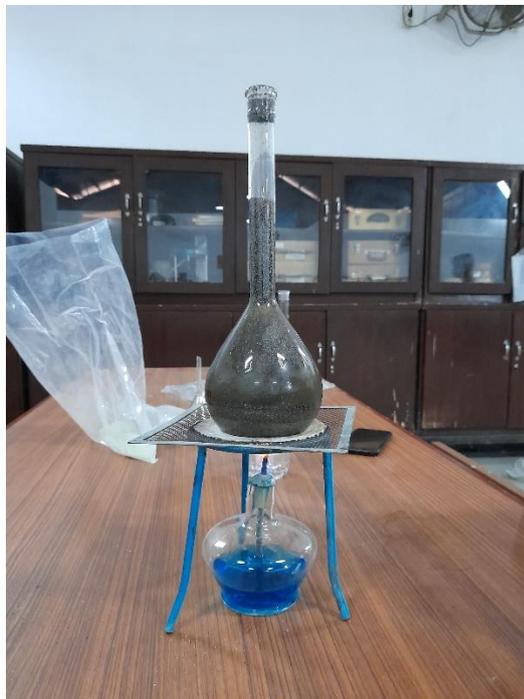
Gambar L.15: Penggaris.



Gambar L.16: Skrap.



Gambar L.17: Abu cangkang kelapa sawit.



Gambar L.18: Pengujian berat jenis abu cangkang kelapa sawit.



Gambar L.19: Proses pengujian *slump flow*.



Gambar L.20: Pengukuran diameter *slump flow*.



Gambar L.21: Perojokan adukan beton di cetakan.



Gambar L.22: Perendaman benda uji.



Gambar L 23: Beton normal.



Gambar L.24: Pengujian kuat tarik belah BN.



Gambar L.25: Beton abu cangkang -10%.



Gambar L.26: Pengujian kuat tarik belah BAC-10.



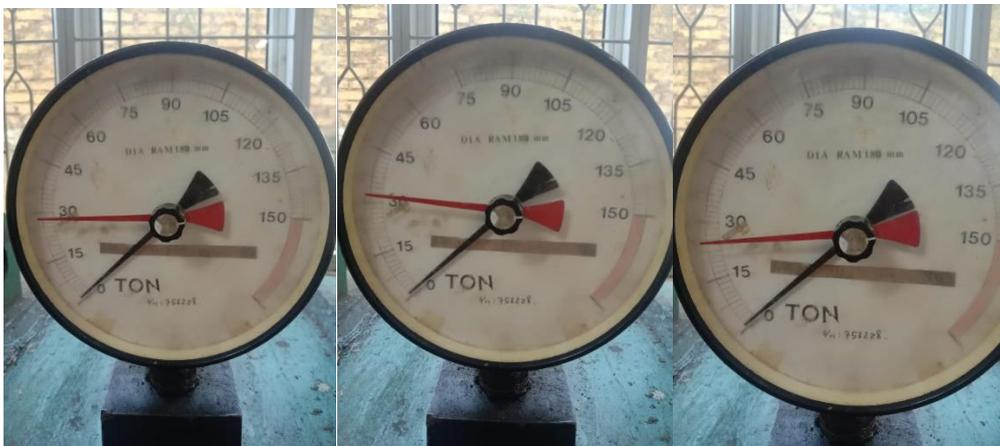
Gambar L.27: Hasil pengujian kuat tarik belah BAC-10.



Gambar L.28: Beton abu cangkang 20%.



Gambar L.29: Pengujian kuat tarik belah BAC-20%.



Gambar L.30: Hasil pengujian kuat tarik belah BAC-20%.



Gambar L.31: Beton abu cangkang-30%.



Gambar L.32: Pengujian kuat tarik belah BAC-30%.



Gambar L.33: Hasil pengujian kuat tarik belah BAC-30%.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama : Muhammad Reja Palepy
Panggilan : Reja
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 16 Oktober 1998
Jenis Kelamin : Laki Laki
Alamat Sekarang : Jalan Kapten Muslim Gang Pertama No 19 D
HP/TlpnSeluler

: 082364450066

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1607210223
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Jenis Kelamain : Laki-laki
Peguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Peguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri, No. 3 Medan 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Tingkat Pendidikan	Namadan Tempat	Tahun Kelulusan
Sekolah Dasar	Muhammadiyah 12 Medan	2010
Sekolah Menengah Pertama	Swasta Darussalam Medan	2013
Sekolah Menengah Atas	Negeri 12 Medan	2016

