

**TUGAS AKHIR**

**PEMANFAATAN ABU BOILER CANGKANG KELAPA  
SAWIT SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN  
UNTUK BETON MUTU TINGGI  
(Studi Penelitian)**

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

**Disusun Oleh:**

**NIRMA RAHMADIA  
1407210176**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2018**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Nirma Rahmadia

NPM : 1407210176

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Untuk Beton Mutu Tinggi (Studi Penelitian)

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, 20 September 2018

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I/Penguji



Ir. Ellyza Chairina, MSi

Dosen Pembimbing II/Penguji



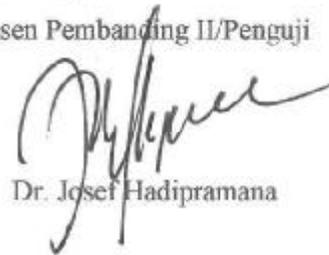
Tondi Amrisyah Putera, ST, MT

Dosen Pembanding I/Penguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

Dosen Pembanding II/Penguji



Dr. Josef Hadipramana



Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Nirma Rahmadia  
Tempat /Tanggal Lahir : Rantau Panjang/11 Februari 1996  
NPM : 1407210176  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Untuk Beton Mutu Tinggi”.

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

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

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

Medan, 20 September 2018

Saya yang menyatakan,

  
Nirma Rahmadia

## ABSTRAK

### PEMANFAATAN ABU BOILER CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN UNTUK BETON MUTU TINGGI

Nirma Rahmadia

1407210176

Ir. Ellyza Chairina, MSi

Tondi Amirsyah Putera, ST, MT

Berdasarkan data dari *Indonesian Palm Oil Association* (IPOA), total keseluruhan produksi minyak sawit indonesia di tahun 2017 adalah sebesar 41,98 juta ton. Angka ini menunjukkan peningkatan sebesar 18% jika dibandingkan dengan tahun 2016. Dengan terus meningkatnya pertumbuhan di industri pabrik kelapa sawit, tentu akan sebanding dengan limbah buangan yang dihasilkan. Hasil pembakaran limbah kelapa sawit menyisakan produk samping seperti abu kerak boiler cangkang kelapa sawit sekitar 3 sampai dengan 5 ton/minggu. Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit sendiri memiliki kandungan berupa silika yang tinggi yakni sebesar 89,9%. Kandungan silika yang tinggi, pengadaan bahan baku yang melimpah serta mudah dan murah didapatkan dirasa penulis sangat tepat dijadikan sebagai bahan pengganti semen dalam proses pembuatan beton yang diharapkan dapat menghasilkan beton yang bermutu tinggi dan menjadi salah satu solusi pemanfaatan limbah hasil pembakaran. Penelitian kali ini dilakukan dengan penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti pada sebagian semen dengan nilai persentase 10%, 15%, 20%, dan 25% yang bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan maksimum untuk beton umur 7 dan 28 hari serta pengaruh penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit terhadap beton mutu tinggi. Adapun hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah kuat tekan maksimum berada pada persentase 15% untuk umur 28 hari dan persentase 20% untuk umur 7. Pengaruh penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit bahan pengganti sebagian semen adalah berkurangnya jumlah semen yang dipakai dalam pembuatan beton.

Kata kunci: Beton, abu kerak boiler cangkang kelapa sawit, maksimum, kuat tekan beton.

## **ABSTRACT**

### **UTILIZATION OF PALM OIL SHELL ASH AS A PART OF CEMENT FOR HIGH QUALITY CONCRETE**

Nirma Rahmadia

1407210176

Ir. Ellyza Chairina, MSi

Tondi Amirsyah Putera, ST, MT

*Based on Indonesian Palm Oil Association (IPOA), overall production of Indonesian palm oil mill in 2017 was 41.98 million tons. This value shows up 18%, if comparated in 2016. Progress in the palm oil mill industry, it will certainly be comparable to the waste produced. The results of burning oil palm waste leave secondary product like palm shell boiler ash around 3 to 5 tons/wee. Palm shell boiler ash comprise silica 89.9%. High content of silica, raw materials that are cheap and easy to have, make palm shell boiler ash is very suitable to be used as a substitute for cement in the process of making concrete in the hope of producing high-quality concrete and become one of the solutions to the use of combustion waste. This time the research carried out by adding palm shell boiler ash as substitute for some cement with a percentage value of 10%, 15%, 20%, and 25% which aims to determine the value of the maximum compressive strength for concrete aged 7 and 28 days and the effect of the addition palm shell boiler ash to high quality concrete. The results of this study are the maximum compressive strength at a percentage of 15% for the age of 28 days and a percentage of 20% for the age of 7 years. The effect of adding the palm shell boiler ash to partially cement substitution is the reduced many of cement used in making concrete.*

*Keywords: concrete, palm shell boiler ash, maximum, compressive strength.*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada 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 “Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai *Filler* Pada Semen Untuk Beton Mutu Tinggi” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Ibu Ir. Ellyza Chairina, MSi selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Tondi Amirsyah Putera, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II dan yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc selaku Dosen Pemanding I sekaligus Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Josef Hadipramana selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
5. Bapak Munawar Alfansuri Siregar, ST, MT 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 keteknik sipil kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Bapak Sukariadi dan Ibu Suniarti yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan dukungan baik moril maupun materil serta doa-doa terbaik yang tidak putus hingga hari ini.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Adikku tersayang Dwi Adityaning Lestari yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Sahabat-sahabat penulis: M. Yudha Pratama Siregar, Yuwinda Artika, Retno Sri Ayu Ningsih, Sri Wahyunita, Ridho Noprianto, Reza Suhwandi Harahap, M. Iqbal Hanafi, Yogi Ismayadi, Melisa Octafani, Cici Haryati Yahya, Dinda Astri Yolanda, Dinda Putri Karina Surbakti dan Keluarga Besar Teknik Sipil B 1 pagi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

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

Medan, 30 Agustus 2018

Nirma Rahmadia

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Tujuan Penelitian	2
1.3.Rumusan Masalah	3
1.4.Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 STUDI PUSTAKA	5
2.1. Beton	5
2.2. Pengertian Beton Mutu Tinggi	7
2.3. Material Pembentuk Campuran Beton	8
2.3.1. Semen Portland	8
2.3.2. Air	12
2.3.3. Agregat	12
2.3.3.1. Agregat Halus	13
2.3.3.2. Agregat Kasar	16
2.3.3.3. Sifat-Sifat Agregat Dalam Campuran Beton	18
2.4. Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit	19
2.5. <i>Slump Test</i>	21
2.6. Perawatan Beton ( <i>Curing</i> )	21
2.5. Kuat Tekan Beton	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Bagan Alir Penelitian	23
3.1.1. Metodologi Penelitian	23
3.1.2. Perencanaan Pembuatan Campuran Beton Menurut SNI 03-2834-2000	26
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	38
3.3. Bahan dan Peralatan	38
3.3.1. Bahan	38
3.3.2. Peralatan	39
3.4. Persiapan Penelitian	39

3.5. Pemeriksaan Agregat	39
3.6. Pemeriksaan Agregat Halus	40
3.6.1. Kadar Air Agregat Halus	40
3.6.2. Kadar Lumpur Agregat Halus	41
3.6.3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	42
3.6.4. Berat Isi Agregat Halus	43
3.6.5. Analisa Saringan Agregat Halus	44
3.7. Pemeriksaan Agregat Kasar	46
3.7.1. Kadar Air Agregat Kasar	47
3.7.2. Kadar Lumpur Agregat Kasar	47
3.7.3. Berat Jenis Penyerapan Agregat Kasar	48
3.7.4. Berat Isi Agregat Kasar	49
3.7.5. Analisa Saringan Agregat Kasar	50
3.7.6. Keausan Agregat Dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	53
3.8. Perencanaan Campuran Beton	54
3.9. Pelaksanaan Penelitian	54
3.9.1. <i>Mix Design</i>	54
3.9.2. Pembuatan Benda Uji	54
3.9.3. Pengujian <i>Slump</i>	54
3.9.4. Perawatan Beton	55
3.9.5. Pengujian Kuat Tekan	55
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>56</b>
4.1. Perencanaan Campuran Beton ( <i>Mix Design</i> )	56
4.1.1. Data-Data Campuran Beton	56
4.2. Pembuatan Benda Uji	65
4.3. <i>Slump Test</i>	66
4.4. Kuat Tekan Beton	67
4.4.1. Kuat Tekan Beton Normal	68
4.4.2. Kuat Tekan Beton Campuran Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit 10%	69
4.4.3. Kuat Tekan Beton Campuran Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit 15%	70
4.4.4. Kuat Tekan Beton Campuran Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit 20%	71
4.4.5. Kuat Tekan Beton Campuran Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit 25%	72
4.5. Pembahasan	74
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>78</b>
5.1. Kesimpulan	78
5.2. Saran	79
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>80</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Unsur pembentuk beton	5
Tabel 2.2	Berbagai beton mutu tinggi	7
Tabel 2.3	Susunan oxida semen Portland	9
Tabel 2.4	Empat senyawa dar semen portland	9
Tabel 2.5	Jenis-jenis semen portland menurut ASTM C.150	11
Tabel 2.6	Batas gradasi agregat halus	14
Tabel 2.7	persyaratan batas-batas susunan besar butir agregat kasar	17
Tabel 2.8	Komposisi kimia abu kerak boiler cangkang kelapa sawit	20
Tabel 3.1	Faktor pengali untuk standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang tersedia	27
Tabel 3.2	Tingkat mutu pekerjaan pembetonan	27
Tabel 3.3	Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air semen dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia	28
Tabel 3.4	Perkiraan kadar air bebas ( $\text{Kg/m}^3$ ) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton	30
Tabel 3.5	Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus	31
Tabel 3.6	Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat	32
Tabel 3.7	Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air	34
Tabel 3.8	Data-data hasil penelitian kadar air agregat halus	40
Tabel 3.9	Data-data hasil penelitian kadar lumpur agregat halus	41
Tabel 3.10	Data-data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat halus	42
Tabel 3.11	Data-data hasil penelitian berat isi agregat halus	43
Tabel 3.12	Data-data hasil penelitian analisa saringan agregat halus	44
Tabel 3.13	Data-data hasil penelitian kadar air agregat kasar	47
Tabel 3.14	Data-data hasil penelitian kadar lumpur agregat kasar	48
Tabel 3.15	Data-data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat kasar	48
Tabel 3.16	Data-data hasil penelitian berat isi agregat kasar	50
Tabel 3.17	Data-data hasil penelitian analisa saringan agregat kasar	50
Tabel 3.18	Data-data dari hasil pengujian keausan agregat	53
Tabel 4.1	Data-data pemeriksaan dasar	56
Tabel 4.2	Perencanaan campuran beton	57
Tabel 4.3	Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji	60
Tabel 4.4	Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji	60
Tabel 4.5	Banyak abu boiler cangkang kelapa sawit yang dibutuhkan untuk 1 benda uji	62
Tabel 4.6	Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan	

	dalam 40 benda uji	64
Tabel 4.7	Banyak agregat halus yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 40 benda uji	64
Tabel 4.8	Hasil pengujian nilai <i>slump</i>	67
Tabel 4.9	Hasil pengujian kuat tekan beton normal 7 hari	68
Tabel 4.10	Hasil pengujian kuat tekan beton normal 28 hari	68
Tabel 4.11	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 10% pada umur 7 hari	69
Tabel 4.12	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 10% pada umur 28 hari	69
Tabel 4.13	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 15% pada umur 7 hari	70
Tabel 4.14	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 15% pada umur 28 hari	70
Tabel 4.15	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 20% pada umur 7 hari	71
Tabel 4.16	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 20% pada umur 28 hari	71
Tabel 4.17	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 25% pada umur 7 hari	72
Tabel 4.18	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 25% pada umur 28 hari	72

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daerah gradasi pasir kasar	14
Gambar 2.2	Daerah gradasi pasir sedang	15
Gambar 2.3	Daerah gradasi pasir agak halus	15
Gambar 2.4	Daerah gradasi pasir halus	16
Gambar 2.5	Batas gradasi agregat kasar	17
Gambar 3.1	Tahapan singkat penelitian yang dilaksanakan	24
Gambar 3.2	Faktor air semen bebas	29
Gambar 3.3	Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm	35
Gambar 3.4	Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm	35
Gambar 3.5	Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm	36
Gambar 3.6	Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton	37
Gambar 3.7	Grafik gradasi agregat halus (zona 2)	46
Gambar 3.8	Grafik gradasi agregat kasar diameter maksimum 40 mm	52
Gambar 4.1	Hubungan faktor air semen dan kuat tekan kubus beton	65
Gambar 4.2	Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm	67
Gambar 4.3	Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton	68
Gambar 4.1	Beban tekan pada benda uji silinder	67
Gambar 4.2	Grafik kuat tekan beton pada umur 14 hari	73
Gambar 4.3	Grafik kuat tekan beton pada umur 28 hari	73
Gambar 4.4	Perbandingan kuat tekan rata-rata beton umur 7 dan 28 hari	73
Gambar 4.5	Persentase perbandingan nilai kuat tekan beton normal dengan beton yang menggunakan abu boiler cangkang Kelapa sawit umur 7 hari	75
Gambar 4.6	Persentase perbandingan nilai kuat tekan beton normal dengan beton yang menggunakan abu boiler cangkang Kelapa sawit umur 28 hari	76
Gambar 4.7	Penurunan jumlah semen pada setiap variasi bahan tambah	77

## DAFTAR NOTASI

A	= luas penampang	(cm <sup>2</sup> )
B <sub>j</sub>	= berat jenis	(gr/mm <sup>3</sup> )
B <sub>jh</sub>	= berat jenis agregat halus	(gr/mm <sup>3</sup> )
B <sub>j<sub>camp</sub></sub>	= berat jenis agregat campuran	(gr/mm <sup>3</sup> )
FM	= modulus kehalusan	-
f'c	= kuat tekan	(MPa)
n	= jumlah benda uji	(Buah)
P	= beban tekan	(kg)
t	= tinggi benda uji	(cm)
V	= volume	(cm <sup>3</sup> )
W	= berat	(kg)
Kh	= persentasi berat agregat halus terhadap agregat campuran	(%)
C <sub>a</sub>	= absorpsi air pada agregat halus	(%)
C <sub>k</sub>	= kadar air pada agregat halus	(%)

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar belakang**

Kegiatan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) adalah bagian dari mata rantai kegiatan agrobisnis dibidang perkebunan. Perkembangan kebun kelapa sawit dan industri pabrik kelapa sawit semakin meningkat seiring dengan kebutuhan minyak kelapa sawit dunia. Perkembangan tersebut disadari mampu memberikan pengaruh positif terhadap perkembangan ekonomi nasional yang ditandai dengan terbukanya lapangan kerja, meningkatnya pendapatan devisa negara dari ekspor non migas, peningkatan penerimaan negara dari pajak, non pajak (PNBP), serta meningkatnya pendapatan per kapita masyarakat.

Namun, pengembangan industri kelapa sawit yang diikuti dengan pembangunan pabrik dapat menimbulkan dampak negatif pada lingkungan, baik terhadap kualitas sumber daya alam (berupa pencemaran), kuantitas sumber daya alam (berupa pengurasan) maupun lingkungan hidup (aspek sosial). Hal ini disebabkan oleh bobot limbah PKS yang harus dibuang ke badan penerima semakin bertambah. Limbah yang dihasilkan dari pengolahan kepala sawit sekitar 60% dari jumlah produksi buah kelapa sawit (Mulia, 2007).

Hasil pembakaran limbah kelapa sawit menyisakan produk samping seperti abu layang sebesar kurang lebih 100 kg/minggu dan abu kerak boiler sekitar lebih 3 sampai dengan 5 ton/minggu (Mulia, 2007). Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit sendiri memiliki kandungan berupa silika yang tinggi yakni sebesar 89,9% (Tjokrodimuljo,1998).

Dilatar belakangi masalah di atas penulis memutuskan untuk melakukan penelitian dengan memanfaatkan abu kerak boiler cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti semen pada campuran beton, dengan judul “Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Sebagian Semen Untuk Beton Mutu Tinggi”. Kandungan silika yang tinggi, pengadaan bahan baku yang melimpah serta mudah dan murah didapatkan dirasa penulis sangat tepat dijadikan

sebagai bahan tambah maupun pengganti dalam proses pembuatan beton yang diharapkan dapat menghasilkan beton yang bermutu tinggi. Mengingat abu kerak boiler cangkang kelapa sawit hingga saat ini hanya dimanfaatkan sebagai peneras jalan dilingkungan pabrik.

Berikut merupakan penelitian beberapa jurnal terkait dengan penelitian yang memanfaatkan abu kerak boiler cangkang kelapa sawit diantaranya adalah “Pengaruh Limbah Abu Boiler dan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Dalam Campuran Beton” yang diteliti oleh Reza, dkk (2014). Hasil dari penelitian tersebut adalah substansi abu boiler dan *fly ash* terhadap semen pada campuran beton dapat menurunkan nilai slump pada setiap penambahan variasi, sehingga nilai *workability* beton tersebut berkurang dan pada campuran beton dengan penggantian semen dengan abu boiler dan *fly ash* masing-masing 2,5% meningkatkan nilai kuat tekan beton.

Selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Jurianto (2014) dengan judul penelitian “Pengaruh Substitusi Sebagian Semen Dengan Abu Kerak Boiler Cangkang Kelapa Sawit dan *Accelerator* Terhadap Kuat Tekan Beton”. Hasil dari penelitian tersebut adalah kuat tekan tertinggi berada pada substansi semen dengan abu cangkang kelapa sawit 10%. Adapun penambahan *sikaket accelerator* sebagai bahan tambah terbukti mempercepat proses pengikatan pada saat pembuatan beton segar.

Perbedaan penelitian yang dilakukan penulis dengan penelitian di atas adalah penulis tidak menggunakan bahan tambah berupa *fly ash* dan *accelerator*. Serta pengujian yang dilakukan penulis hanya berfokus untuk mengetahui kuat tekan maksimum pada beton umur 7 dan 28 hari, dengan persentase bahan pengganti yaitu sebesar 10%, 15%, 20%, dan 25%.

Pemanfaatan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai bahan tambah dalam campuran beton diharapkan dapat menghasilkan beton yang bermutu tinggi. Mengingat kandungan kimia abu boiler cangkang kelapa sawit berupa silika yang tinggi dan dapat menjadi salah satu solusi untuk pemanfaatan hasil pembakaran limbah kelapa sawit. Adapun pengaruh penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai *filler* pada semen diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan semen. Nilai bahan tambah untuk setiap variasi campuran abu boiler cangkang

kelapa sawit sebagai *filler* pada semen, diambil dari nilai semen untuk satu benda uji dikali dengan nilai persentase untuk tiap variasi. Persentase penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai *filler* pada semen yang tergolong cukup tinggi diharapkan dapat membantu dari segi ekonomis, namun tidak menurunkan nilai kuat tekan beton itu sendiri.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana kuat tekan beton pada persentase penggantian 10%, 15%, 20%, dan 25% sebagian semen dengan abu kerak boiler cangkang kelapa sawit pada umur beton 7, dan 28 hari?
2. Bagaimana persentase variasi maksimum dari penggantian 10%, 15%, 20%, dan 25% sebagian semen dengan abu kerak boiler cangkang kelapa sawit pada umur beton 7, dan 28 hari?
3. Bagaimana pengaruh penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai *filler* pada semen untuk campuran beton?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui kuat tekan beton setelah penambahan campuran abu boiler cangkang kelapa sawit pada umur beton 7, dan 28 hari.
2. Untuk mengetahui persentase variasi optimal penambahan campuran abu boiler cangkang kelapa sawit terhadap kuat tekan beton untuk umur 7, dan 28 hari.
3. Untuk mengetahui pengaruh penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai *filler* pada semen untuk campuran beton.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

2. Metode perancangan campuran adukan beton menggunakan standart menurut SNI 03-2834-2000
3. Tinjauan analisis adalah kuat tekan beton.
4. Umur pengujian adalah 7, dan 28 hari.
5. Pengujian kuat tekan menggunakan bahan tambah berupa abu boiler cangkang kelapa sawit.
6. Persentase penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit adalah 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%.

### **1.5 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, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika pembahasan.

#### **BAB 2 Tinjauan Pustaka**

Membahas hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir.

#### **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 Beton

Beton didefinisikan sebagai campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan pembentuk massa padat (SNI 03-2834-2000). Beton dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar (batu pecah atau kerikil), udara dan kadang-kadang campuran bahan tambahan lainnya (mulai dari bahan kimia, serat sampai bahan buangan non kimia) dengan perbandingan tertentu. Campuran yang masih plastis ini dicor kedalam perancah dan dirawat untuk mempercepat reaksi hidrasi campuran semen dan air yang menyebabkan pengerasan pada beton. Bahan yang terbentuk ini mempunyai kuat desak yang tinggi dan ketahanan terhadap tarik yang rendah (Nawy, 1990).

Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis (Sutikni, 2003). Secara proporsi, komposisi unsur pembentuk beton dapat kita lihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Unsur beton.

Nama Bahan	Jumlah (%)
Agregat kasar dan halus	60-75
Semen	7-15
Air	14-21
Udara	1-2

Seperti yang terlihat pada Tabel 2.1 pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60%-75% (Mulyono, 2005).

Beton memiliki kelebihan dan kekurangan antara lain:

- a. Kelebihan beton
  - Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
  - Mampu memikul beban yang berat.
  - Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
  - Biaya pemeliharaan yang kecil.
- b. Kekurangan beton
  - Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
  - Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
  - Memiliki bobot yang berat.
  - Daya pantul suara yang besar.

Dalam proses pembentukannya, beton sangat dipengaruhi oleh komposisi masing-masing unsur pembentuk, pelaksanaan, pemadatan, dan pemeliharaan selama pengeringan sehingga dihasilkan beton sesuai rencana. Bahan pembuat beton sebagian besar menggunakan bahan lokal, kecuali semen portland dan bahan tambahan kimia, sehingga menguntungkan secara ekonomis dan mudah dalam pelaksanaan. Nilai kuat tekan dan kuat tariknya tidak sebanding lurus, dimana kuat tekan beton sangat besar dan kuat tariknya sangat kecil sekitar 2-3% dari kuat tekannya, sehingga dalam perencanaan beton sepenuhnya diperhitungkan kuat tekannya saja sedangkan kuat tariknya diperhitungkan terhadap baja tulangan sebagai pengganti. Menurut Nawy, parameter yang sangat mempengaruhi kekuatan beton adalah:

- a. Kualitas semen.
- b. Proporsi semen terhadap campuran.
- c. Kekuatan dan kebersihan agregat.
- d. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat.
- e. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton.
- f. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton.
- g. Perawatan beton.
- h. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos.

## 2.2 Pengertian Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal biasa. *American Concrete Institute* menjelaskan beton mutu tinggi sebagai beton dengan perlakuan khusus dan persyaratan seragam yang tidak dapat selalu dicapai secara rutin hanya dengan penggunaan material konvensional dan pencampuran secara normal, penempatan dan cara perawatannya.

Ada banyak parameter yang mempengaruhi kuat tekan pada beton mutu tinggi, diantaranya adalah kualitas bahan penyusunnya, faktor air semen yang rendah dan kepadatan yang tinggi tetapi beton sangat kaku atau sulit diaduk saat dikerjakan (Blissett dan Rowson, 2012).

Beton mutu tinggi bermanfaat pada pracetak dan pratekan. Pada bangunan tinggi mengurangi beban mati. Kelemahannya adalah kegetasannya. Tiga aspek yang mempengaruhi kekuatan beton yaitu, pasta semen, agregat, dan lekatan semen-agregat. Ini perlu perhatian pada semua aspek produksi, yaitu pemilihan material, mix design, penanganan dan penuangan. Kontrol kualitas adalah bagian yang penting dan memerlukan kerja sama penuh antara pemasok, perencana dan kontraktor. Pada Tabel 2.2 akan dijelaskan berbagai beton mutu tinggi.

Tabel 2.2: Berbagai beton mutu tinggi (Paul Nugraha & Antoni, 2007)

Jenis	Faktor air semen	Kuat 28 hari (Mpa)	Catatan
Konsistensi normal	0,35-0,40	35-80	<i>Slump</i> 50-100 mm, semen >
<i>No-slump</i>	0,30-0,45	35-50	<i>Slump</i> < 25mm
w/c rendah	0,20-0,35	110-170	Pakai admixtures
<i>compacted</i>	0,05-0,30	70-240	Tekanan > 70mm

Manfaat beton mutu tinggi dibidang teknik sipil (Parrot, 1988):

1. Menghasilkan beton dengan ketahanan tinggi (*high durability*).
2. Menghasilkan beton dengan kuat tekan awal yang tinggi dan mempercepat pelaksanaan konstruksi.

3. Meningkatkan nilai modulus elastisitas dan mengurangi efek rangkak (*creep*).
4. Memungkinkan pembangunan konstruksi bangunan tingkat tinggi (*high rise construction*).
5. Memperkecil dimensi kolom, sehingga penggunaan ruang lantai lebih efisien.
6. Secara ekonomi dapat meningkatkan penggunaan *box girder* dan *solid girder bridge* dengan *design* yang lebih simpel.

Adapun kelemahan penggunaan beton mutu tinggi adalah (Parrot, 1988):

1. Meningkatkan biaya beton per unit volume.
2. Memerlukan kontrol kualitas terhadap mutu beton dan kebutuhan produksi.
3. *Workability* kurang baik dan seringkali menurun dengan cepat setelah waktu pencampuran.
4. Waktu pengangkutan beton dan penambahan *super plasticizer* sangat kritis.
5. Waktu perkerasan beton sangat cepat.
6. Menghasilkan panas hidrasi yang tinggi sehingga perlu menurunkan hidrasi semennya.
7. Membutuhkan waktu lebih dari 28 hari untuk mencapai kuat tekan yang spesifik.

## **2.3 Material Pembentuk Campuran Beton**

Kualitas beton sangat ditentukan oleh kualitas bahan susunanya. Oleh karena itu agar diperoleh beton yang baik, harus dipilih bahan-bahan yang berkualitas baik pula.

### **2.3.1 Semen Portland**

Semen portland merupakan bubuk halus yang diperoleh dengan menggiling *klinker* (yang didapat dari pembakaran suatu campuran yang baik dan merata antara kapur dan bahan-bahan yang mengandung silika, alumina, dan oksid

besi), dengan batu gips sebagai bahan tambah dalam jumlah yang cukup. Bubuk halus ini bila dicampur dengan air, selang beberapa waktu dapat menjadi keras dan digunakan sebagai bahan ikat hidrolis (Kardiyono, 1989).

Semen jika dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan agregat halus (pasir) dan air, maka akan terbentuk adukan yang disebut mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar (kerikil) akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton. Dalam campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif yang berfungsi sebagai pengisi (Tjokrodimulyo, 1995).

Sedangkan untuk susunan oksida dari semen portland (Antono, 1995), dapat dilihat pada Tabel 2.3, berikut ini:

Tabel 2.3: Susunan oksida semen Portland (Antono, 1995)

Oksida	% rata-rata
Kapur (CaO)	63
Silika (SiO <sub>2</sub> )	22
Alumunia (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7
Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3
Magnesia (MgO)	2
Sulfur (SO <sub>3</sub> )	2
Kapur (CaO)	63

Sifat-sifat kimia dari bahan pembentuk ini mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan, sebagaimana hasil susunan kimia yang terjadi, diperoleh senyawa dari semen Portland (Tabel 2.4).

Tabel 2.4: Empat senyawa dari semen portland

Nama Senyawa	Rumus Oksida	Notasi	Kadar rata-rata
Trikalsium Silikat	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C3S	50
Dikalsium Silikat	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C2S	25

Tabel 2.4. *Lanjutan*

Nama Senyawa	Rumus Oksida	Notasi	Kadar rata- rata
Tricalcium Alumate	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C3A	12
Tetracalsium Aluminoforit	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot FeO_3$	C4Af	8

Senyawa-senyawa kimia dari semen portland adalah tidak stabil secara termodinamis, sehingga sangat cenderung untuk bereaksi dengan air. Sifat hidrasi pada setiap komponen perlu untuk dipelajari mengingat setiap komponen memiliki kecepatan beraksi dengan air yang berbeda-beda.

1. *Tricalcium Silikat (C3S) =  $3CaO \cdot SiO_2$*

Senyawa ini mengalami hidrasi yang sangat cepat yang menyebabkan pengerasan awal, menunjukkan desintegrasi (perpecahan) oleh sulfat air tanah, oleh perubahan volume kemungkinan mengalami retak-retak.

2. *Dicalcium Silikat (C2S) =  $2CaO \cdot SiO_2$*

Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dan dapat melepaskan panas, kualitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama pada 14 hari pertama.

3. *Tricalcium Alumate (C3A) =  $3CaO \cdot Al_2O_3$*

Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari, memiliki ketahanan agresif kimia yang relatif tinggi, penyusutan yang relatif rendah.

4. *Tetracalsium Aluminoforit (C4Af) =  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot FeO_3$*

Adanya senyawa Aluminoforit kurang penting karena tidak tampak banyak pengaruh terhadap kekuatan dan sifat semen. (L.J Murdock, 1986).

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa tipe

semen yang sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia (PUBI, 1982), dibagi menjadi 5 jenis seperti pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5: Jenis-jenis semen portland menurut ASTM C.150

Jenis Semen	Sifat Pemakaian	Kadar Senyawa (%)				Panas Hidrasi 7 Hari (J/G)
		C3S	C2S	C3A	C4Af	
I	Normal	50	24	11	8	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	250
III	Kekuatan awal tinggi	60	13	9	8	500
IV	Panas hidrasi rendah	26	50	5	12	210
V	Tahan sulfat	40	40	9	9	250

Keterangan:

- a) Jenis I adalah semua semen portland untuk tujuan umum, biasa tidak memerlukan sifat-sifat khusus misalnya, gedung, trotoar, jembatan, dan lain-lain.
- b) Jenis II semen portland yang tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang dan ketahanan terhadap sulfat lebih baik, penggunaannya pada pir (tembok di laut dermaga), dinding tahan tanah tebal dan lain-lain.
- c) Jenis III adalah semen portland dengan kekuatan awal tinggi. Kekuatan dicapai umumnya dalam satu minggu. Umumnya dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus cepat dipakai.
- d) Jenis IV adalah semen portland dengan panas hidrasi rendah. Dipakai untuk kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan grafitasi yang besar. Pertumbuhan kekuatannya lebih lambat daripada kelas I.
- e) Jenis V adalah semen portland tahan sulfat, dipakai untuk beton dimana menghadapi aksi sulfat yang panas. Umumnya dimana tanah atau air tanah mengandung kandungan sulfat yang tinggi. (Tjokrodimulyo, 1995).

### 2.3.2 Air

Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting, karena air dapat bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat desak beton, karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Selain itu kelebihan air akan mengakibatkan beton menjadi *bleeding*, yaitu air bersama-sama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan yang lemah.

Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap:

1. Sifat *workability* adukan beton.
2. Besar kecilnya nilai susut beton.
3. Kelangsungan reaksi dengan semen Portland.
4. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yaitu tawar, tidak berbau, dan bila dihembuskan dengan udara tidak keruh, tetapi tidak berarti air yang digunakan untuk pembuatan beton harus memenuhi syarat sebagai air minum. Penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan sebagai berikut ini, (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992):

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
3. Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.

### 2.3.3 Agregat

Agregat adalah bahan pengisi yang berfungsi sebagai penguat. Agregat menempati 60%-80% volume beton, sehingga karakteristik agregat akan menentukan kualitas beton (Murdock dan Brook, 1999). Ditinjau dari aspek ekonomis, agregat dalam satuan berat yang sama jauh lebih murah dari pada

semen. Agregat merupakan bahan yang bersifat kaku dan memiliki stabilitas volume dan durabilitas yang baik dari pada semen.

### **2.3.3.1 Agregat Halus**

Menurut ASTM agregat halus adalah agregat yang mempunyai ukuran butiran berkisar antara 0,075 mm sampai dengan 4,75 mm dan memenuhi persyaratan. Penggunaan agregat halus dapat berupa pasir dari laut dengan syarat harus dibersihkan terlebih dahulu dari pengotoran garam atau klorida ataupun kulit kerang dan pasir yang diperoleh dari penggalian dengan syarat harus dibersihkan dari lempung atau tanah liat.

Fungsi agregat dalam desain campuran beton adalah sebagai pengisi. Ditinjau dari berat jenis agregat halus yang digunakan maka beton yang dihasilkan dapat berbobot ringan, normal atau berat. Tujuan penggunaan agregat halus didalam adukan beton adalah:

1. Menghemat pemakaian semen.
2. Menambah kekuatan beton.
3. Mengurangi penyusutan pada pengerasan beton.

Penilaian terhadap mutu agregat halus dapat ditinjau dari beberapa segi:

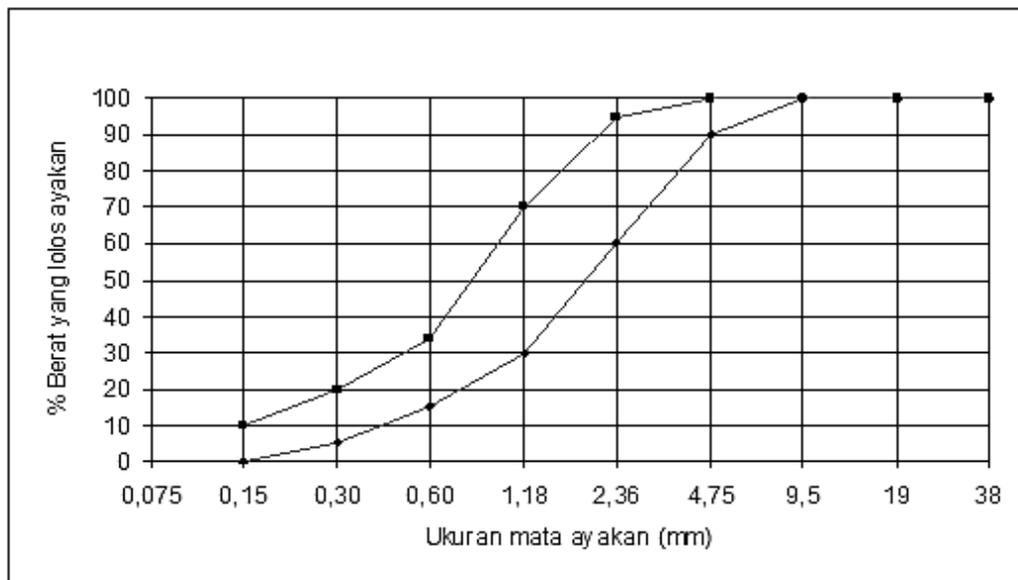
1. Ada atau tidaknya bahan campuran yang terkandung di dalam pasir, misalnya pasir yang berasal dari sungai biasanya banyak mengandung lumpur dan bahan organik.
2. Butiran pasir harus cukup keras, maksudnya butiran pasir ini tidak hancur atau pecah karena perubahan cuaca.
3. Melakukan analisa saringan untuk mendapatkan agregat halus dengan ukuran yang sesuai.

SNI 03-2834-2000 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus dengan mengelompokkannya dalam empat zona (daerah) seperti dalam Tabel 2.6. Tabel tersebut dijelaskan dalam Gambar 2.1 sampai 2.4 untuk mempermudah pemahaman.

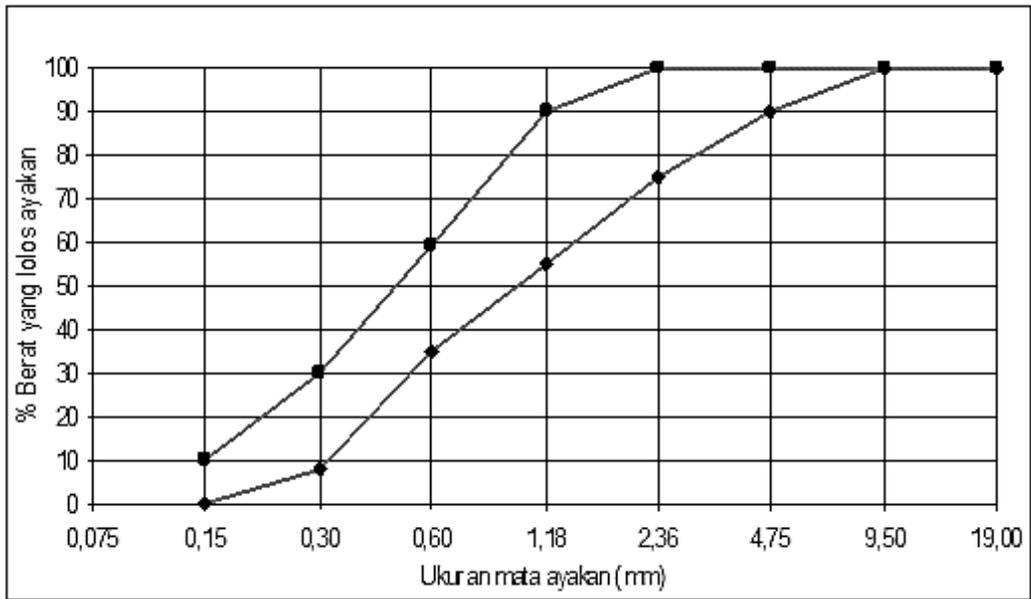
Tabel 2.6: Batas gradasi agregat halus (SNI 03-2834-2000).

Lubang Ayakan (mm)	No	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
		I	II	III	IV
10	3/8 in	100	100	100	100
4,8	No.4	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	No.8	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	No.16	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	No.30	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	No.50	5-20	8-30	12-40	15-50
0,25	No.100	0-10	0-10	0-10	0-15

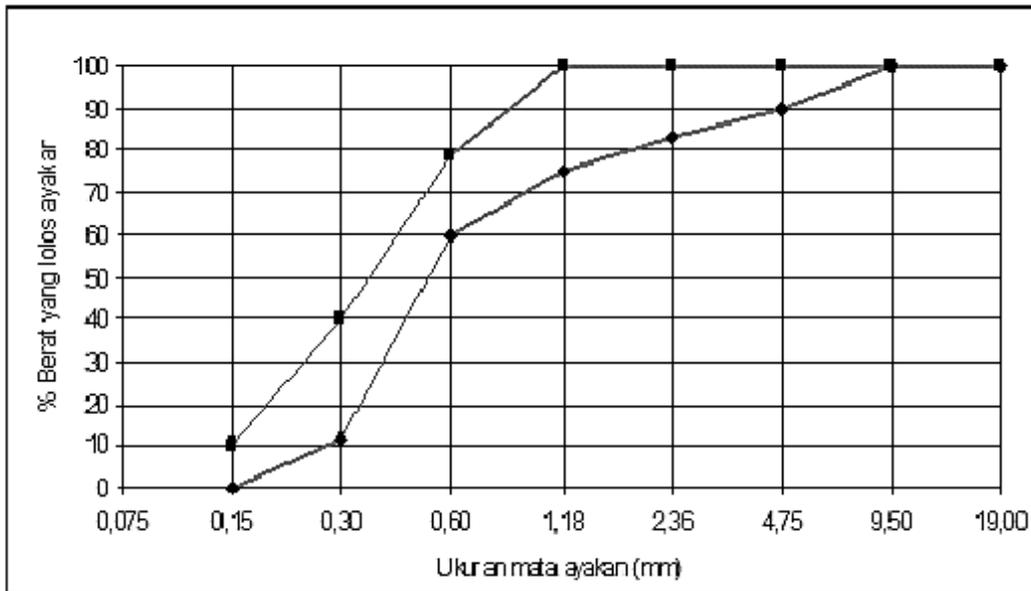
- Keterangan :
- Daerah Gradasi I = Pasir Kasar
  - Daerah Gradasi II = Pasir Agak Kasar
  - Daerah Gradasi III = Pasir Agak Halus
  - Daerah Gradasi IV = Pasir Halus



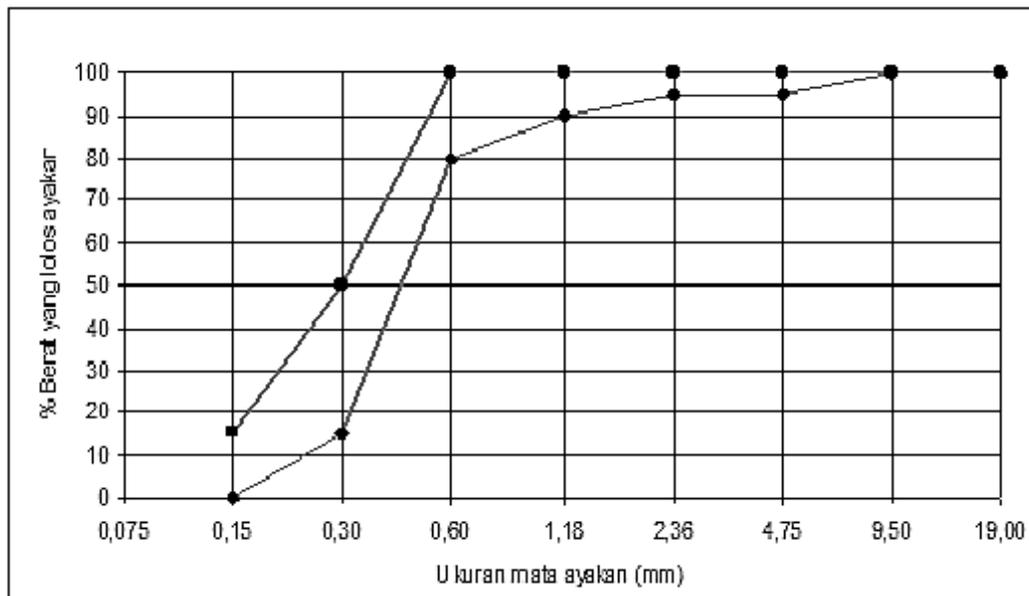
Gambar 2.1: Daerah gradasi pasir kasar (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2.2: Daerah gradasi pasir sedang (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2.3: Daerah gradasi pasir agak halus (SNI 03-2834-2000).



Gambar 2.4: Daerah gradasi pasir halus (SNI 03-2834-2000).

### 2.3.3.2 Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang semua butirannya tertinggal di atas ayakan 4,75 mm, yang biasanya disebut kerikil. Material ini merupakan hasil disintegrasi alami batuan atau hasil dari industri pemecah batu. Butir-butir agregat harus bersifat kekal, artinya tidak pecah ataupun hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari atau hujan.

Agregat kasar untuk beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

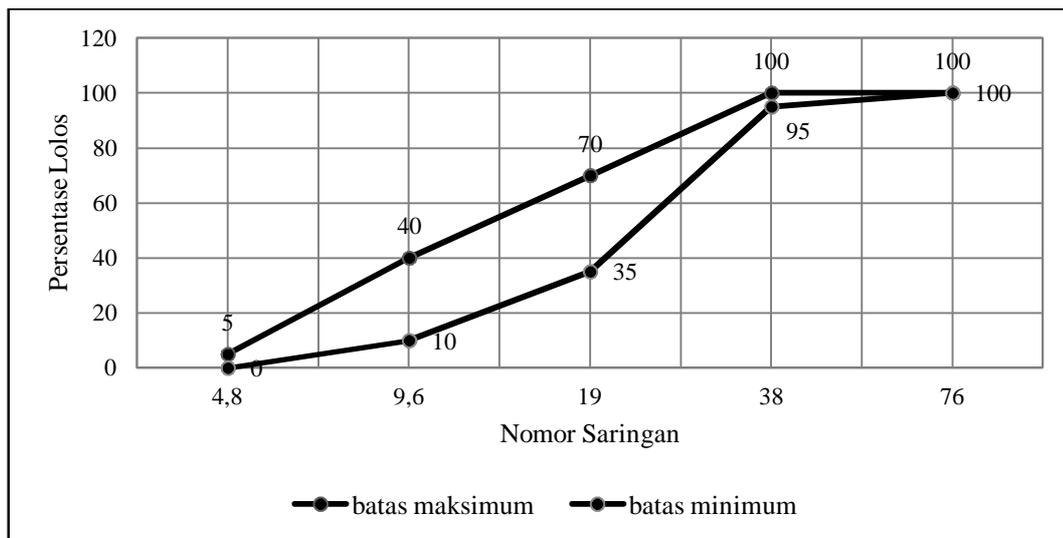
1. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat reaktif alkali.
3. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan ayakan harus memenuhi syarat-syarat:
  - a. Sisa di atas ayakan 31,5 mm lebih kurang 0% berat total.
  - b. Sisa di atas ayakan 4 mm lebih kurang 90% - 98% berat total.
  - c. Selisih antara sisa-sisa komulatif di atas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% berat total, minimum 10% berat total.

4. Berat butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari  $\frac{1}{5}$  jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan,  $\frac{1}{3}$  dari tebal plat atau  $\frac{3}{4}$  dari jarak besi minimum antara tulang-tulangan.

Agregat kasar yang digunakan pada campuran harus memenuhi persyaratan-persyaratan pada Tabel 2.7. Tabel tersebut dijelaskan dalam Gambar 2.5.

Tabel 2.7: Persyaratan batas-batas susunan besar butir agregat kasar (SNI 03-2834-2000).

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan
38.1	95 – 100
19.0	35 – 70
9.52	10 – 40
4.76	0 – 5



Gambar 2.5: Batas gradasi agregat kasar

Pemeriksaan dasar agregat kasar ini sesuai dengan standar SNI 03-2834-2000, agregat kasar diteliti terhadap:

1. Modulus kehalusan.
2. Berat jenis.
3. Penyerapan (*Absorpsi*).
4. Kadar air.
5. Kadar lumpur.
6. Berat isi.
7. Keausan agregat.

### **2.3.3.3. Sifat-sifat agregat dalam campuran beton**

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton untuk menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan seperti yang diinginkan.

#### **a. Penyerapan dan kadar air agregat**

Perubahan cuaca menyebabkan dekomposisi mineral pembentuk atau terjebaknya udara dalam lapisan agregat yang berakibat pada terbentuknya lubang atau rongga kecil dalam butiran agregat (pori). Pori dalam agregat mempunyai variasi yang cukup besar dan menyebar diseluruh tubuh butiran. Pori-pori mungkin menjadi reservoir air bebas di dalam agregat. Persentase berat air yang mampu diserap agregat di dalam air disebut sebagai serapan air, sedangkan banyaknya air yang terdandung dalam agregat disebut kadar air. Serapan air dihitung dari banyaknya air yang mampu diserap oleh agregat pada kondisi jenuh permukaan kering (JPK) atau biasa juga disebut *saturated surface dry* (SSD). Kondisi ini merupakan:

- Keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastinya.
- Kadar air di lapangan lebih banyak mendekati kondisi SSD dari pada kondisi air tungku (keadaan benar-benar tidak berair).

Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung dalam suatu agregat. Kadar air agregat dapat dibedakan menjadi empat jenis:

- Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair.
- Kadar air kering udara, yaitu kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi mengandung air dalam porinya dan masih dapat menyerap air.
- Jenuh Kering Permukaan (JKP), yaitu keadaan dimana tidak ada air di permukaan agregat tetapi agregat tersebut masih mampu menyerap air. Pada kondisi ini air dalam agregat tidak akan menambah atau mengurangi air pada campuran beton.
- Kondisi basah, yaitu kondisi dimana butir-butir agregat banyak mengandung air, sehingga akan menyebabkan penambahan kadar air campuran beton.

b. Berat jenis dan daya serap agregat

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis dari agregat pada akhirnya akan menentukan berat jenis dari beton sehingga secara langsung menentukan banyaknya campuran agregat dalam campuran beton. Hubungan antara berat jenis dengan daya serap adalah jika semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap air agregat tersebut.

## 2.4 Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit

Pada penelitian yang dilakukan oleh Reza (2014), beliau menuliskan bahwa 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 biomass dengan kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang potensial dimanfaatkan. Pembakaran cangkang dan serat buah menghasilkan kerak yang keras berwarna putih keabuan akibat pembakaran dengan suhu yang tinggi. Silika memiliki sifat non konduktor, memiliki ketahanan terhadap oksidasi dan degradasi termal yang baik (Hildayati *et al*, 2009).

Kerak boiler ini pada dasarnya adalah abu yang mengeras pada setiap dinding-dinding boiler akibat endapan-endapan abu yang terperangkap pada mesin siklon saat terjadinya pembakaran cangkang dan serat buah kelapa sawit pada tungku pembakaran boiler. Hal ini sangat merugikan bagi pembakaran pada boiler, karena akan mengurangi efisiensi pertukaran panas. Penyebab dari fenomena ini adalah tekanan gas yang berbeda pada setiap bahan bakar yang mengakibatkan percikan pijar api dan partikel yang relatif ringan, namun tidak mampu keluar dari mesin pengendap siklon dan akan melekat pada dinding-dinding boiler. Sedangkan partikel yang ringan akan dikeluarkan melalui cerobong asap dan partikel yang relatif berat dan habis terbakar akan tertampung pada tempat abu yang berada dibawah tungku. Pada umumnya kerak boiler ini digunakan oleh pabrik kelapa sawit sebagai pengeras jalan di sekitar pabrik. Pada Tabel 2.8 dijelaskan kandungan kimia abu kerak boiler cangkang kelapa sawit.

Tabel 2.8: Komposisi kimia abu kerak boiler cangkang kelapa sawit (Falah Hudan, 2012).

No.	Kandungan	Nilai	Satuan
1	SiO <sub>2</sub>	89,9105	%
2	CaCO <sub>3</sub>	2,4751	%
3	MgCO <sub>3</sub>	0,7301	%
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1958	%
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0012	%

Tingginya kandungan silika ini membuat abu kerak boiler ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan dalam campuran beton. 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 sehingga bahan tambah mineral atau pozzolan itu cenderung bersifat penyemenan, namun tidak mempunyai sifat-sifat layaknya seperti semen tetapi dalam keadaan halus, jika dicampur dengan kapur padam dan

air setelah beberapa waktu dapat mengeras pada suhu kamar sehingga membentuk suatu massa yang padat dan sukar larut dalam air.

Hayward (1995) menyatakan dalam bahan pozzolan ada dua senyawa utama yang mempunyai peran penting dalam pembentukan semen yaitu senyawa  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dimana kedua senyawa ini terdapat dalam kandungan abu boiler cangkang kelapa sawit. Sehingga abu boiler cangkang kelapa sawit dapat di katagorikan sebagai bahan pozzolanic, yaitu material yang tidak mengikat seperti semen, namun mengandung senyawa silika oksida ( $\text{SiO}_2$ ) aktif yang apabila bereaksi dengan kapur bebas atau kalsium hidroksida ( $\text{CaOH}_2$ ) dan air akan membentuk material semen yaitu kalsium silikat hidrat. Hal ini merupakan faktor terpenting dalam pemilihan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti semen untuk campuran beton, karena kandungan silika yang tinggi dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Selain itu khususnya di pulau Sumatera yang dikenal sebagai penghasil sawit terbesar di Indonesia abu kerak boiler cangkang kelapa sawit sangat mudah untuk didapatkan karena banyaknya pabrik-pabrik pengolahan kelapa sawit yang tentunya menghasilkan limbah sisa dari hasil pembakaran kelapa sawit dan belum dimanfaatkan secara maksimal.

## **2.5 Slump Test**

Nilai *slump* digunakan untuk mengetahui tingkat kececekan suatu adonan beton yang berpengaruh pada tingkat pegerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai *slump* maka semakin encer dan mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai *slump* maka beton semakin kental dan sulit untuk dikerjakan.

## **2.6 Perawatan Beton (*curing*)**

Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai final setting, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan, agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus

dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedekatan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur.

## **2.7 Kuat Tekan Beton**

Karena sifat utama dari beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka mutu beton pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut. Sifat yang lain seperti kuat tarik, dan modulus elastis beton dapat dikorelasi terhadap kuat tekan beton. Menurut peraturan beton di Indoensia (PBI-1971, diperbaiki dengan SK SNI T-15-1991-03 dan SNI 03-2834-2000), kuat tekan beton dinotasikan dengan  $f_c'$ , yaitu kuat tekan silinder beton yang disyaratkan pada waktu berumur 28 hari.

Mutu beton dibedakan atas 3 macam menurut kuat tekannya, yaitu:

- a. Mutu beton dengan  $f_c'$  kurang dari 10 Mpa, digunakan untuk beton non struktural (misalnya: kolom praktis, balok praktis).
- b. Mutu beton dengan  $f_c'$  antara 10 Mpa sampai 20 Mpa, digunakan untuk beton struktural (misalnya: balok, kolom, pelat, maupun pondasi).
- c. Mutu beton dengan  $f_c'$  sebesar 20 Mpa keatas, digunakan untuk struktur beton yang direncanakan tahan gempa.

Kuat tekan (*Compressive Strength*) untuk setiap umur beton dan kuat tekan rata-ratanya tergantung pada karakteristik pemakain semen, penggunaan bahan lain pembentuk beton dan kehalusan bahan tambahan.

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Bagan Alir Penelitian**

##### **3.1.1. Metodologi Penelitian**

Sebagai acuan dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari data-data pendukung. Data pendukung diperoleh dari:

1. Data primer

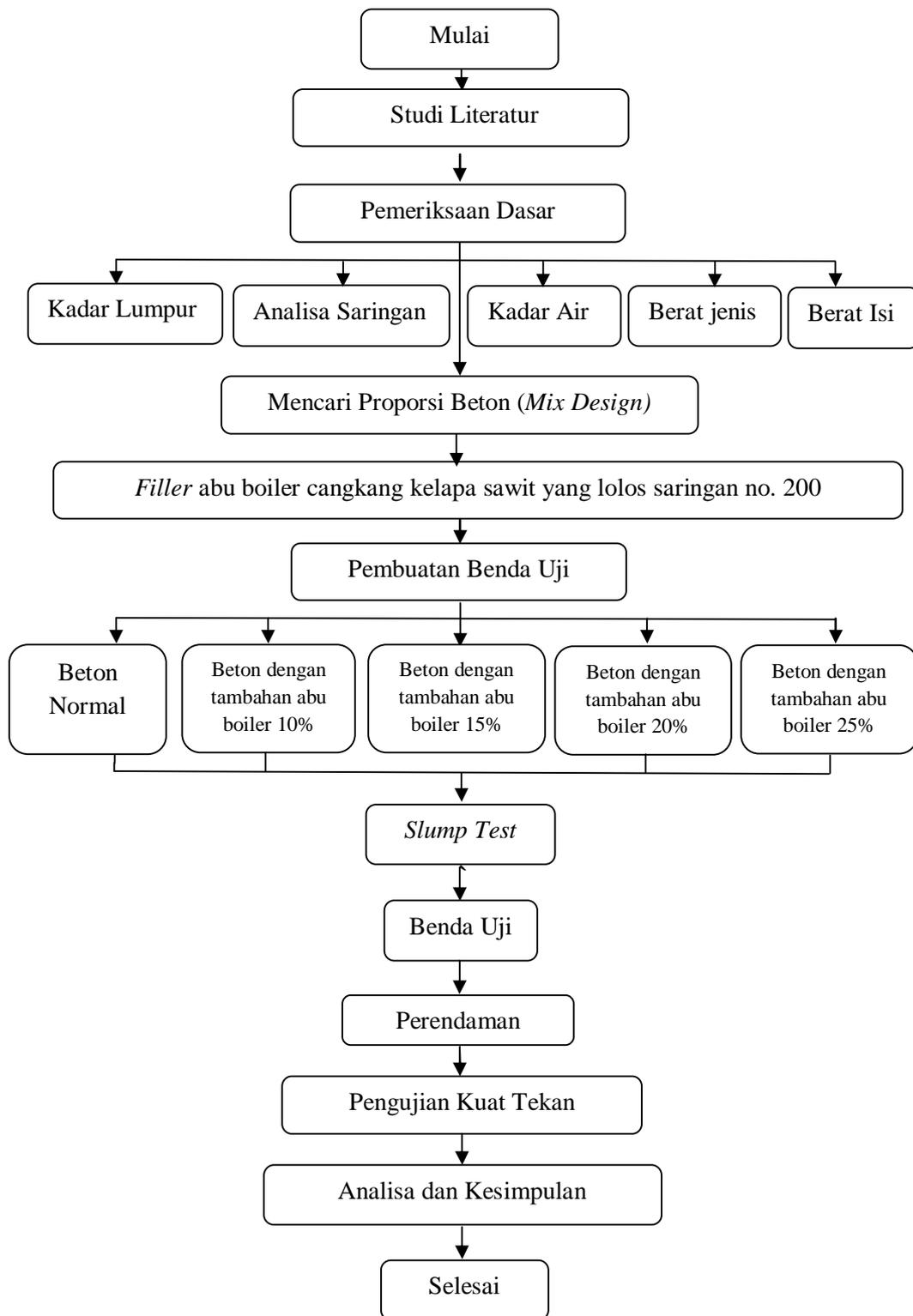
Data yang diperoleh dari hasil perhitungan di laboratorium seperti:

- 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*).
- g. Uji kuat tekan beton.

2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku yang berhubungan dengan teknik beton (literatur) dan konsultasi langsung dengan Kepala Laboratorium Beton di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Data teknis mengenai SNI-03-2834-2000, PBI (Peraturan Beton Indonesia), ASTM C33 (1985) serta buku-buku atau literatur sebagai penunjang guna untuk memperkuat suatu penelitian yang dilakukan.

Langkah-langkah penelitian yang dilaksanakan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Tahapan singkat penelitian yang dilaksanakan.

Penelitian tugas akhir yang berjudul “Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai *Filler* Pada Semen Untuk Beton Mutu Tinggi” dimulai setelah mendapatkan persetujuan secara tertulis dari Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Selanjutnya dilakukan Studi Literatur, berupa kumpulan informasi dari jurnal-jurnal terkait dengan penelitian yang akan dilakukan penulis. Seperti mencari referensi pada penelitian terdahulu, informasi kandungan dalam bahan tambahan, nilai persentase yang akan yang digunakan serta acuan dalam melakukan penelitian.

Setelah acuan dalam penelitian ditetapkan yaitu menggunakan SNI 03-2834-2000, mengenai tata cara pembuatan rencana campuran beton normal, selanjutnya dilakukan pemeriksaan dasar yang bertujuan untuk mendapatkan data-data pendukung yang diperoleh dari perhitungan di laboratorium seperti analisa saringan, berat jenis dan penyerapan, berat isi, kadar air, dan kadar lumpur.

Selanjutnya mencari proporsi beton (*mix design*) sesuai SNI 03-2834-2000, hal ini bertujuan untuk mengetahui proporsi campuran untuk setiap 1 benda uji silinder sesuai dengan faktor-faktor yang disyaratkan guna mencapai kuat tekan yang ditargetkan.

Setelah diperoleh proporsi campuran beton kemudian dilakukan penyaringan bahan untuk setiap nomor saringan agregat halus maupun agregat kasar. Penyaringan bahan ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan agregat kasar dan agregat halus yang telah direncanakan dalam *mix design* serta mengacu pada data-data analisa saringan pada pemeriksaan dasar yang lebih dahulu telah dilakukan.

Tahap selanjutnya yaitu, melakukan penyaringan abu boiler cangkang kelapa sawit yang lolos saringan no. 200. Menggunakan saringan no. 200 karena abu boiler cangkang kelapa sawit nantinya akan digunakan sebagai bahan pengganti semen.

Setelah bahan-bahan yang dibutuhkan untuk campuran beton telah diperoleh tahap selanjutnya adalah pembuatan benda uji. Proses pembuatan benda uji dibagi kedalam 5 bagian, sesuai dengan variasi bahan pengganti yang digunakan yaitu beton normal (tanpa bahan pengganti), beton dengan bahan pengganti semen berupa abu boiler sebanyak 10%, 15%, 20%, dan 25%. Hal ini dilakukan karena penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti semen,

mempengaruhi jumlah semen untuk setiap variasi campuran. Untuk benda uji dengan bahan pengganti abu boiler cangkang kelapa sawit sebanyak 10%, jumlah semen yang digunakan adalah hasil perkalian antara persentase bahan pengganti dengan jumlah semen untuk 1 benda uji. Didalam proses pembuatan beton, setiap campuran yang akan dimasukkan kedalam cetakan terlebih dahulu diuji nilai *slump*. Dimana nilai slump yang diperoleh harus memasuki range slump yang telah ditetapkan dalam *mix design* yaitu 3-6 cm.

Setelah pengujian *slump* dilakukan, campuran beton selanjutnya dimasukkan kedalam cetakan berbentuk silinder berukuran 15 x 30 cm, yang telah terlebih dahulu diberi vaselin. Benda uji dapat dilepaskan dari cetakan setelah  $24 \pm 4$  jam dan tidak lebih dari 48 jam dari pencetakan. Selanjutnya dilakukan perendaman sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan sebelumnya yaitu 7 dan 28 hari.

Pada umur mencapai 7 dan 28 hari, benda uji kemudian diangkat dari bak perendaman, dan kemudian dilakukan uji kuat tekan beton. Dari hasil pengujian kuat tekan, kita dapat memperoleh data-data yang dibutuhkan sesuai dengan tujuan penelitian.

Dari rangkaian kegiatan penelitian dan data-data kuat tekan serta nilai *slump test* dilakukan analisa data yang selanjutnya dapat diambil kesimpulan. Penelitian selesai dilakukan setelah tujuan dari penelitian didapatkan melalui data-data dan kesimpulan.

### **3.1.2. Perencanaan Pembuatan Campuran Beton Standar 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.  
Ditetapkan 22,5 MPa untuk umur 28 hari.
1. Penghitungan nilai deviasi standar (S)  
Faktor pengali untuk standar deviasi dengan hasil uji  $< 30$  dapat dilihat pada Tabel 3.1. Pada tabel ini kita dapat langsung mengambil nilai standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang akan dicetak.

Tabel 3.1: 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

Dari Tabel 3.1 diperoleh sebesar 12 MPa, karena jumlah benda uji disetiap variasi campuran kurang dari 15 benda uji.

2. Penghitungan nilai tambah/margin (m) ditentukan menggunakan tingkat mutu pekerjaan pembetonan yang dijelaskan pada Tabel 3.3 di bawah ini. Maka diperoleh nilai untuk tambah (margin) sebesar 5,6 MPa.

Tabel 3.2: Tingkat mutu pekerjaan pembetonan (Mulyono, 2005).

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

2. Menentukan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan ( $22,5 + 12 = 34,5 \text{ MPa}$ ) dan dengan menentukan nilai tambah (m) sesuai Tabel 2.8.

$$f'_{cr} = f'_c + m$$

$$f'_{cr} = 34,5 + 5,6$$

$$f'_{cr} = 40,1 \text{ MPa}$$

3. Jenis Semen yang digunakan adalah PCC Tipe I.
4. Jenis agregat diketahui:
  - Agregat halus alami = Pasir
  - Agregat kasar = Batu Pecah

5. Penetapan nilai faktor air semen bebas:

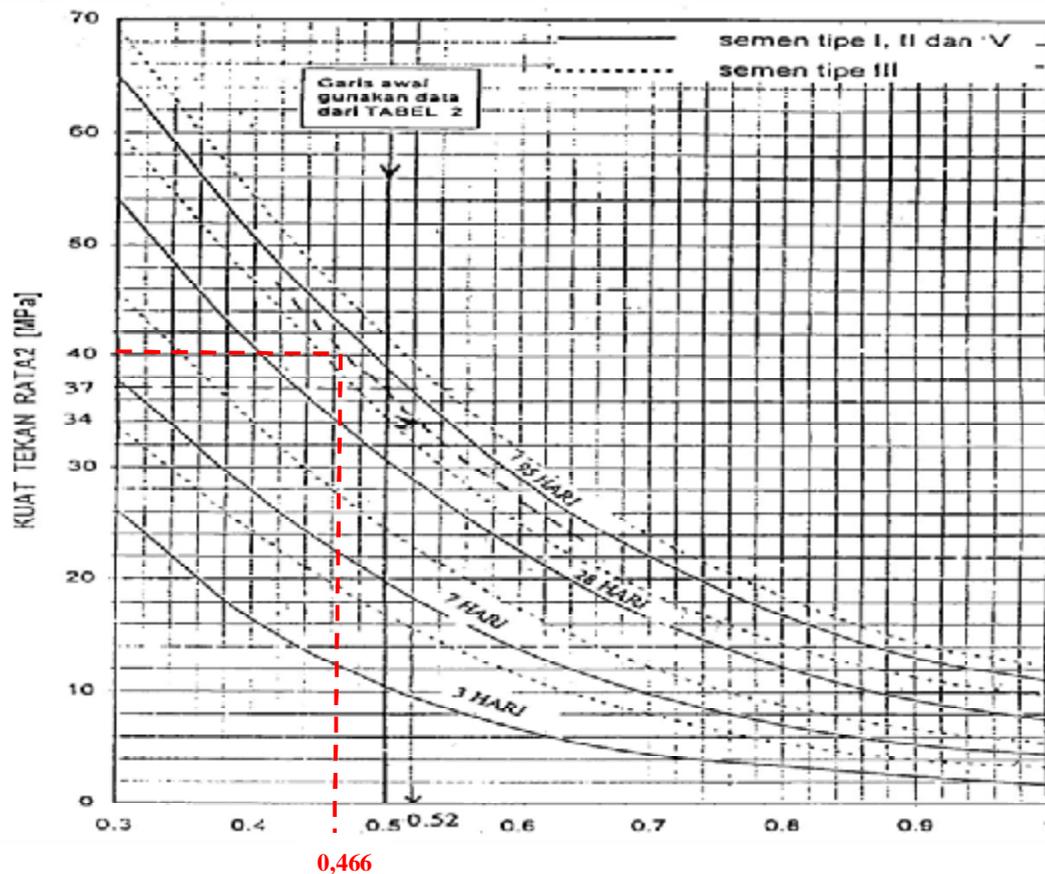
Dari Tabel 3.3 diketahui untuk jenis agregat kasar berupa batu pecah, dan menggunakan semen portland tipe I untuk kekuatan tekan umur 28 hari dengan bentuk benda uji berupa silinder diperoleh kekuatan tekan sebesar 37 MPa.

Tabel 3.3: 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	Bentuk uji
Semen portland Tipe 1	Batu tak dipecah	17	23	33	silinder
	Batu pecah	19	27	37	
Semen tahan sulfat Tipe I,II,V	Batu tak dipecah	20	28	40	kubus
	Batu pecah	25	32	45	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	
	Batu tak dipecah	25	31	46	kubus
	Batu pecah	30	40	53	

Harga ini dipakai untuk membuat kurva pada Gambar 4.1 untuk mencari faktor air semen beton yang direncanakan dengan cara berikut ini: Dari titik kekuatan tekan sebesar 37 MPa, menarik garis datar hingga memotong garis tengah yang menunjukkan faktor air semen 0,50. Melalui titik potong ini lalu menggambar kurva yang berbentuk sama dengan kurva umur 28 hari disebelah atas dan di sebelah bawahnya (garis putus-putus). Kemudian dari titik kekuatan tekan beton yang direncanakan, menarik garis datar hingga memotong kurva garis putus-putus tadi. Dari titik potong ini, kemudian

menarik garis tegak lurus ke bawah hingga memotong sumbu x (absiska) dan membaca faktor air semen yang diperoleh yaitu 0,46.



Gambar 3.2: Faktor air semen bebas.

6. Faktor air semen maksimum dalam hal ini ditetapkan 0,60.

Dalam faktor air semen yang diperoleh dari Gambar 3.2 tidak sama dengan yang ditetapkan, untuk perhitungan selanjutnya memakai harga faktor air semen yang lebih kecil.

7. Slump ditetapkan setinggi 30 – 60 mm.

8. Ukuran agregat maksimum: Ditetapkan 40 mm

9. Jumlah kadar air bebas:

Pada Tabel 3.4 untuk agregat gabungan yang berupa campuran antara pasir alami dan kerikil/batu pecah dengan nilai slump 30-60 mm dan baris ukuran agregat maksimum 40 mm maka kadar air bebas adalah  $160 \text{ kg/m}^3$  untuk agregat halus dan 190 untuk agregat kasar.

Tabel 3.4: Perkiraan kadar air bebas ( $\text{Kg/m}^3$ ) 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

Maka untuk mencari kadar air bebas dicari dengan persamaan:

$$\frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad (4.1)$$

dengan:

$W_h$  = adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus dan

$W_k$  = adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Dalam contoh ini dipakai agregat halus berupa pasir alami dan agregat kasar berupa batu pecah / kerikil, maka jumlah kadar air yang diperlukan:

$$\begin{aligned} &= \frac{2}{3}160 + \frac{1}{3}190 \\ &= 170 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

10. Jumlah semen, yaitu:  $170 : 0,46 = 364,81 \text{ kg/m}^3$ .

11. Nilai jumlah semen maksimum diambil sama dengan poin 11.

12. Menentukan jumlah semen semimum mungkin. Dapat dilihat pada Tabel 3.5, 3.6, dan 3.7. Dari ketiga tabel tersebut kita dapat mengambil jumlah semen minimum maupun nilai faktor air semen maksimum menurut kondisi beton yang akan dicetak nantinya.

Tabel 3.5: 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 <sup>3</sup> beton (kg)	Nilai faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Keadaan keliling non-korosif</li> <li>b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif</li> </ul>	275 325	0,60 0,52
Beton di luar ruangan bangunan; <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.</li> <li>b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung</li> </ul>	325 275	
Beton masuk ke dalam tanah: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti</li> <li>b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah</li> </ul> Beton yang kontinyu berhubungan: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Air tawar</li> <li>b. Air laut</li> </ul>	325	0,55  Lihat Tabel 2.9  Lihat Tabel 2.10

Tabel 3.6: Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat (SNI 03-2834- 2000).

Kadar sulfat	Konsentrasi Sulfat sebagai SO <sub>2</sub>			Tipe Semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal agregat maksimum (kg/m <sup>3</sup> )			F.a.s
	Dalam Tanah		SO <sub>3</sub> dalam air tanah g/l		mm	Mm	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	0,5
				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 3.6: *Lanjutan.*

Kadar sulfat	Konsentrasi Sulfat sebagai SO <sub>2</sub>			Tipe Semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal agregat maksimum (kg/m <sup>3</sup> )			F.a.s
	Dalam Tanah	SO <sub>3</sub> dalam air tanah g/l			mm	mm	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

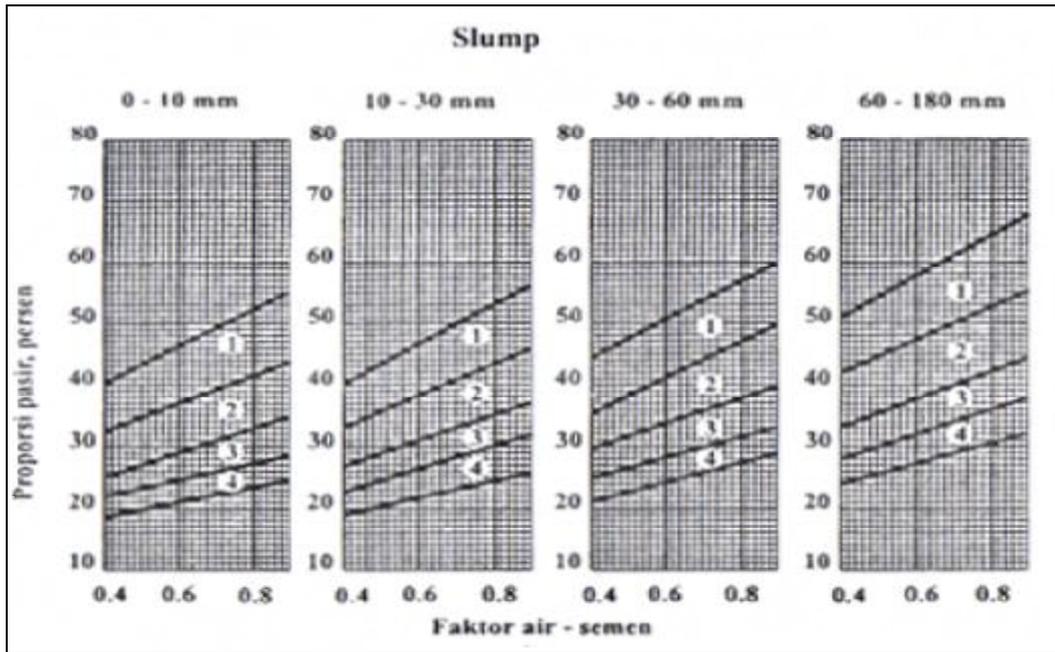
Tabel 3.7: Ketentuan minimum untuk beton bertulang kepad air (SNI 03-2834-2000).

Jenis beton	Kondisi lingkungan yang berhubungan dengan	Faktor air maks.	Tipe semen	Kandungan semen minimum (kg/m <sup>3</sup> )	
				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
	Air laut	0,50	Tipe II atau Tipe V		

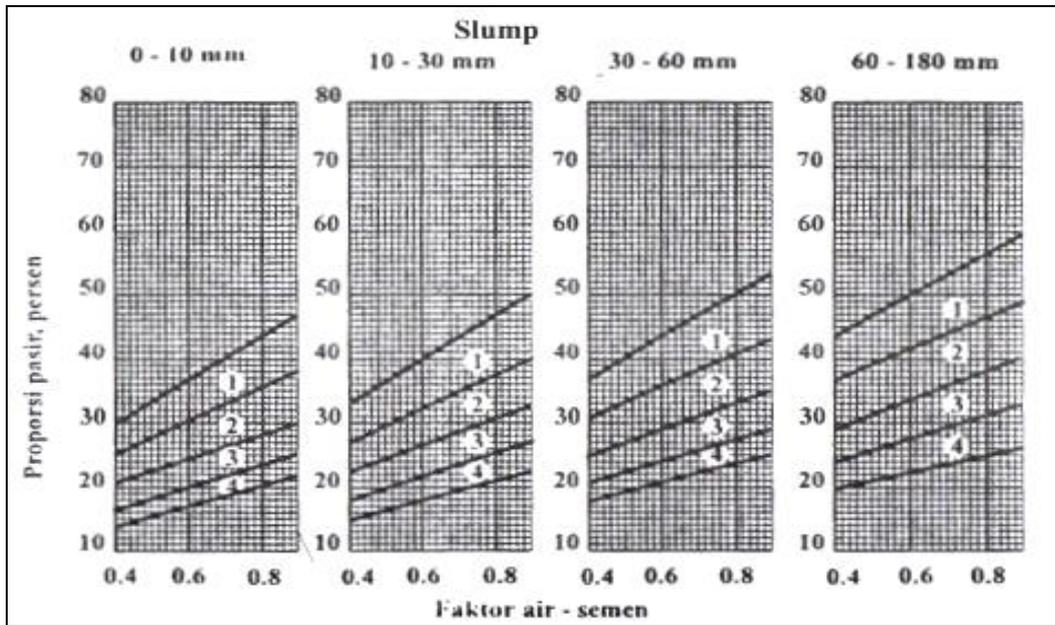
Jumlah semen minimum ditetapkan 275 kg/m<sup>3</sup> (Tabel 3.5), jika kadar semen yang diperoleh dari perhitungan butir 11 belum mencapai syarat minimum yang ditetapkan, maka harga minimum ini harus dipakai dan faktor air semen yang baru perlu disesuaikan.

13. Faktor air semen yang disesuaikan, dalam hal ini dapat diabaikan oleh karena syarat minimum kadar semen sudah dipenuhi.
14. Penetapan jenis agregat halus:
 

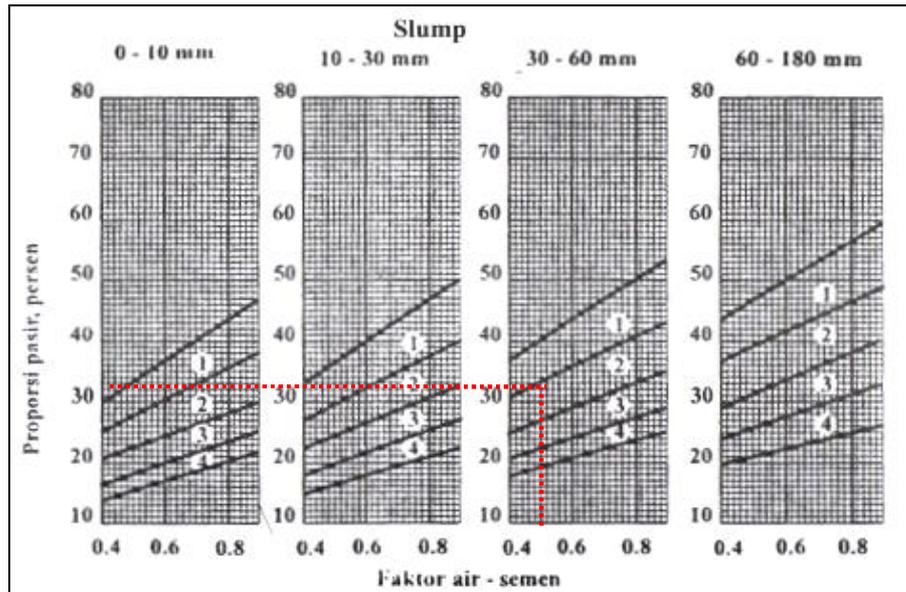
Agregat halus diklasifikasikan menjadi 4 jenis, yaitu pasir kasar (Gambar 2.1), agak kasar (Gambar 2.2), agak halus (Gambar 2.3) dan pasir halus (Gambar 2.4).
15. Penetapan jenis agregat kasar menurut Gambar 2.5.
16. Proporsi berat agregat halus terhadap agregat campuran.
17. Proporsi berat agregat halus ditetapkan dengan cara menghubungkan kuat tekan rencana dengan faktor air semen menurut slump yang digunakan secara tegak lurus berpotongan yang dapat dilihat pada Gambar 3.3, Gambar 3.4, dan Gambar 3.5.



Gambar 3.3: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm (SNI 03-2834-2000).



Gambar 3.4: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang di anjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm (SNI 03-2834-2000).



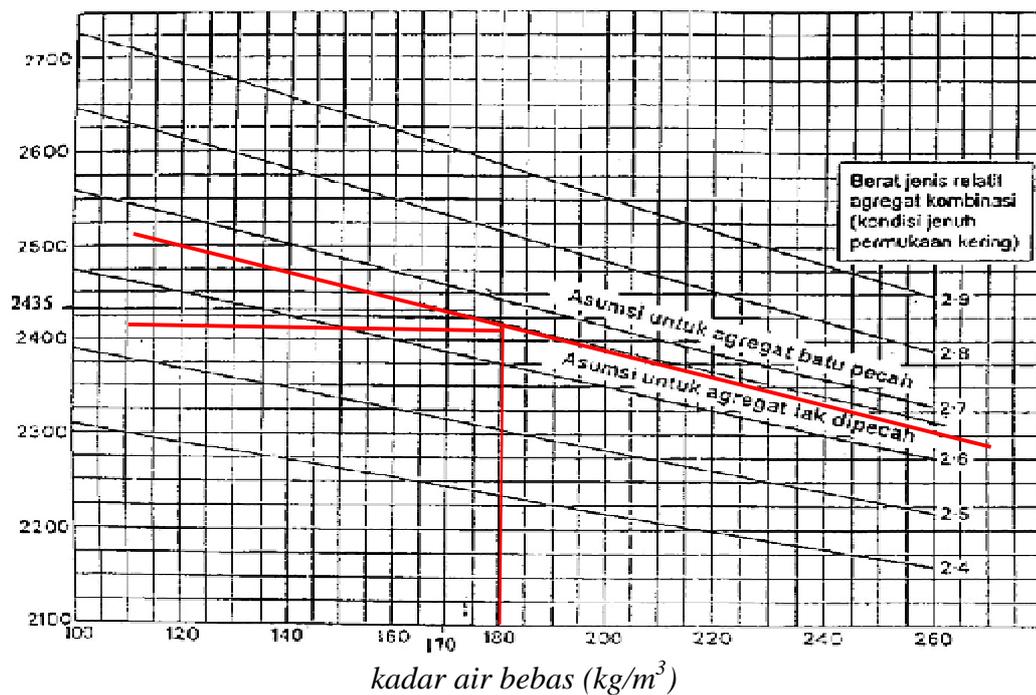
Gambar 3.5: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm (SNI 03-2834-2000).

Persen agregat halus dari 4,75 mm pada Gambar 3.5 pada nilai slump 30-60 mm dan nilai faktor air semen 0,46. Bagi agregat halus/pasir yang termasuk daerah susunan No.2 diperoleh nilai 34%.

18. Berat jenis relatif agregat ini adalah berat jenis agregat gabungan, artinya gabungan agregat halus dan agregat kasar. Oleh karena agregat halus dalam ini merupakan gabungan pula dari dua macam agregat halus lainnya, maka berat jenis sebelum menghitung berat jenis agregat gabungan antara pasir dan kerikil. Dengan demikian perhitungan berat jenis relatif menjadi sebagai berikut:

$$- \text{BJ agregat halus gabungan} = (0,34 \times 2,55) + (0,66 \times 2,68) = 2,64$$

19. Berat isi beton diperoleh dengan cara menarik garis yang sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan, yaitu 2,64. Titik potong garis yang tegak lurus menunjukkan kadar air bebas, dalam hal ini  $170 \text{ kg/m}^3$  ditarik sampai dengan nilai berat jenis beton yang didapat. Kemudian menarik lagi garis horizontal sehingga nilai berat isi beton didapat. Dalam hal ini diperoleh angka  $2413 \text{ kg/m}^3$ . Yang dijelaskan seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.6: Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat beton (SNI 03-2834-2000).

20. Kadar air gabungan adalah berat jenis beton dikurang jumlah kadar semen dan kadar air, perhitungannya sebagai berikut:

$$2413 - (364,81 + 170) = 1878,19 \text{ kg/m}^3$$

21. Kadar agregat halus adalah persen agregat halus dikali kadar agregat gabungan, perhitungannya sebagai berikut:

$$0,34 \times 1878,19 = 638,58 \text{ kg/m}^3$$

22. Kadar agregat kasar adalah kadar agregat gabungan dikurang kadar agregat halus, perhitungannya sebagai berikut:

$$1878,19 - 638,58 = 1239,61 \text{ kg/m}^3$$

23. Proporsi campuran dari langkah no. 1 hingga no. 23 kita dapatkan susunan campuran beton teoritis untuk tiap  $\text{m}^3$  sebagai berikut:

- Semen = 364,81  $\text{kg/m}^3$
- Agregat halus = 638,58  $\text{kg/m}^3$
- Agregat kasar = 1239,61  $\text{kg/m}^3$
- Air = 170  $\text{kg/m}^3$

24. Koreksi proporsi campuran untuk mendapatkan susunan campuran yang sebenarnya yaitu yang akan kita pakai sebagai campuran uji, angka-angka

teoritis tersebut perlu dibetulkan dengan memperhitungkan jumlah air bebas yang terdapat dalam atau yang masih dibutuhkan oleh masing-masing agregat yang akan dipakai, perhitungannya sebagai berikut:

– Agregat kasar

$$D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} = 1239,61 + (0,614 - 0,74) \times \frac{1239,61}{100}$$

$$= 1238,05 \text{ kg}$$

– Agregat halus

$$C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} = 638,58 + (2,145 - 1,83) \times \frac{638,58}{100}$$

$$= 640,59 \text{ kg}$$

– Air

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

$$= 170 - (2,145 - 1,83) \times \frac{638,58}{100} - (0,614 - 0,74) \times \frac{1239,61}{100}$$

$$= 169,55 \text{ kg}$$

Maka didapat total untuk:

- Semen = 364,81 kg
- Agregat halus = 640,59 kg
- Agregat kasar = 1238,05 kg
- Air = 169,55 kg

### 3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dimulai pada bulan Februari 2018 hingga Mei 2018. Penelitian dilakukan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

### 3.3. Bahan dan Peralatan

#### 3.3.1. Bahan

Komponen bahan pembentuk beton yang digunakan yaitu:

a. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Andalas PPC (*Portland Pozzolan Cement*).

b. Agregat Halus

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

c. Agregat Kasar

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

d. Air

Air yang digunakan berasal dari PDAM Tirtanadi Medan.

e. Abu boiler cangkang kelapa sawit

Abu yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu dari pabrik kelapa sawit PT. Karimun, Kec. Besitang, Kab. Langkat, Sumatera Utara.

### **3.3.2. Peralatan**

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

- a. Alat-alat pendukung pengujian material.
- b. Timbangan digital.
- c. Alat pengaduk beton (*mixer*).
- d. Cetakan benda uji berbentuk kubus.
- e. Mesin kompres (*compression test*).

### **3.4. Persiapan Penelitian**

Setelah seluruh material sampai di lokasi penelitian, maka material dipisahkan menurut jenisnya untuk mempermudah dalam tahapan-tahapan penelitian yang akan dilaksanakan nantinya dan juga agar material tidak tercampur dengan bahan-bahan yang lain sehingga mempengaruhi kualitas material.

### **3.5. Pemeriksaan Agregat**

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

agregat serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

### 3.6. Pemeriksaan Agregat Halus

Penelitian ini meliputi beberapa tahapan/pemeriksaan diantaranya:

- a. Pemeriksaan kadar air.
- b. Pemeriksaan kadar lumpur.
- c. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.
- d. Pemeriksaan berat isi.
- e. Pemeriksaan analisa saringan.

#### 3.6.1. Kadar Air Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 566 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMSU tentang kadar air agregat halus. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.8 sehingga diketahui kadar air agregat halus yang diperiksa.

Tabel 3.8: Data-data hasil penelitian kadar air agregat halus.

Pengujian	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-rata
Berat contoh SSD dan berat wadah (W1)	741	701	721
Berat contoh SSD	500	500	500
Berat contoh kering oven & wadah (W2)	730	691	711
Berat wadah (W3)	241	201	221
Berat air (W1-W2)	11	10	11
Berat contoh kering (W2-W3)	489	490	490

Tabel 3.8: *Lanjutan*

Pengujian	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-rata
Kadar air $((W1-W2)/(W2-W3)) \times 100\%$	2,249	2,04	2,145

Berdasarkan Tabel 3.8 menjelaskan hasil pemeriksaan kadar air pada agregat halus yang telah diteliti di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil UMSU, didapat rata-rata kadar air sebesar 2,145%. Percobaan ini dilakukan sebanyak dua kali pengujian, pada contoh pertama, kadar air yang didapat sebesar 2,249%, sedangkan contoh kedua didapat kadar air sebesar 2,04%.

### 3.6.2. Kadar Lumpur Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 117-90 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.9 sehingga diketahui kadar lumpur agregat halus yang diperiksa.

Tabel 3.9: Data-data hasil penelitian kadar lumpur agregat halus.

Pengujian	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-rata
Berat contoh kering : A (gr)	500	500	500
Berat contoh setelah dicuci : B (gr)	478	476	477
Berat kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci C (gr)	22	24	23
Persentase kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci (%)	4,4	4,8	4,6

Berdasarkan Tabel 3.9 pemeriksaan kadar lumpur agregat halus dilakukan dengan mencuci sampel dengan menggunakan air, kemudian disaring dengan menggunakan Saringan No. 200, persentase yang didapat dihitung dari pembagian berat kotoran agregat yang lolos saringan dibagi dengan berat contoh awal contoh, kemudian membuat hasilnya di dalam persentase. Dari percobaan ini didapat

persentase kadar lumpur untuk sampel yang pertama sebesar 4,4%, dan sampel kedua sebesar 4,8%. Maka, untuk mengambil nilai kadar lumpur diambil dari rata-rata pengujian yakni sebesar 4,6%.

### 3.6.3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 128-88 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMSU tentang berat jenis dan penyerapan agregat halus. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.10 sehingga diketahui berat jenis dan penyerapan agregat halus yang diperiksa.

Tabel 3.10: Data-data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Pengujian	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-rata
Berat contoh SSD kering permukaan jenuh (B)	500	500	500
Berat contoh SSD kering oven 110°C sampai konstan (E)	492	490	491
Berat piknometer penuh air (D)	693	680	687
Berat contoh SSD dalam piknometer penuh air (C)	999	982	991
Berat jenis contoh kering $E/(B+D-C)$	2,54	2,47	2,51
Berat jenis contoh SSD $B/(B+D-C)$	2,58	2,53	2,55
Berat jenis contoh semu $E/(E+D-C)$	2,65	2,61	2,63
Penyerapan $((B-E)/E) \times 100\%$	1,63	2,04	1,83

Berdasarkan Tabel 3.10 menjelaskan hasil pemeriksaan yang dilakukan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik UMSU sehingga dapat diketahui nilai berat

jenis maupun penyerapan. Pada tabel terlampir 3 macam berat jenis, yakni berat jenis contoh semu, berat jenis SSD, dan berat jenis contoh semu. Berat jenis agregat terpenuhi apabila nilai Berat Jenis Contoh Kering < Berat Jenis SSD < Berat Jenis Contoh Semu dengan nilai rata-rata  $2,51 \text{ gr/cm}^3 < 2,55 \text{ gr/cm}^3 < 2,63 \text{ gr/cm}^3$  dan nilai penyerapan rata-rata sebesar 1,83%. Berdasarkan standar ASTM C 128 tentang absorpsi yang baik adalah dibawah 2% dan nilai absorpsi agregat halus yang diperoleh telah memenuhi syarat.

#### 3.6.4. Berat Isi Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 29 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMSU tentang berat isi agregat halus. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.11 sehingga diketahui berat isi agregat halus yang diperiksa.

Tabel 3.11: Data-data hasil penelitian berat isi agregat halus.

No	Pengujian	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Sampel 3 (gr)	Rata-rata
1	Berat contoh & wadah (gr)	19765	19978	19875	19872,67
2	Berat wadah (gr)	5400	5400	5400	5400
3	Berat contoh (gr)	14365	14578	14475	14473
4	Volume wadah (cm <sup>3</sup> )	10861,71	10861,71	10861,71	10861,71
5	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )	1,323	1,342	1,333	1,332

Berdasarkan Tabel 3.11 menjelaskan hasil pemeriksaan yang dilakukan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik UMSU didapat hasil berat isi agregat halus dengan rata-rata sebesar  $1,332 \text{ gr/cm}^3$ . Hasil ini didapat dari rata-rata kedua contoh, yang berdasarkan perbandingan nilai berat contoh yang didapat dengan volume wadah yang dipakai dalam percobaan.

### 3.6.5. Analisa Saringan Agregat Halus

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 03-2834-2000 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMSU tentang analisa saringan agregat halus. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.5 dan batas gradasi agregat halus pada Gambar 3.2, sehingga diketahui modulus kehalusan agregat halus yang diperiksa.

Tabel 3.12: Data-data hasil penelitian analisa saringan agregat halus.

No. Saringan	Berat Tertahan				Kumulatif	
	Sampel 1	Sampel 2	Total Berat	%	Tertahan	Lolos
	(gr)	(gr)	(gr)			
9.50 (No 3/8 in)	0	0	0	0	0	100
4.75 (No. 4)	143	36	179	7,17	7,17	92,83
2.36 (No. 8)	46	79	125	5,01	12,18	87,82
1.18 (No.16)	129	167	296	11,86	24,04	75,96
0.60 (No. 30)	352	256	698	24,36	48,40	51,60
0.30 (No. 50)	488	278	766	30,69	79,09	20,91
0.15 (No. 100)	299	123	422	16,91	95,09	4,01
Pan	43	57	100	4,01	100,00	0,00
Total	1500	996	2496	100		

Berdasarkan Tabel 3.12 menjelaskan pemeriksaan analisa saringan agregat halus ini menggunakan nomor saringan yang telah ditentukan berdasarkan SNI 03-2834-2000, yang nantinya akan dibuat grafik zona gradasi agregat yang didapat dari nilai kumulatif agregat. Apakah agregat yang dipakai termasuk zona pasir kasar, sedang, agak halus, atau pasir halus. Penjelasan nilai kumulatif agregat didapat dari penjelasan berikut ini:

Total berat pasir = 2000 gram

- Persentase berat tertahan rata-rata:

$$\text{No.4} = \frac{179}{2496} \times 100\% = 7,17 \%$$

$$\text{No.8} = \frac{125}{2496} \times 100\% = 5,01 \%$$

$$\begin{aligned}
\text{No.16} &= \frac{296}{2496} \times 100\% = 11,86 \% \\
\text{No.30} &= \frac{608}{2496} \times 100\% = 24,36 \% \\
\text{No.50} &= \frac{766}{2496} \times 100\% = 30,69 \% \\
\text{No.100} &= \frac{422}{2496} \times 100\% = 16,91 \% \\
\text{Pan} &= \frac{100}{2496} \times 100\% = 4,01 \%
\end{aligned}$$

- Persentase berat kumulatif tertahan:

$$\begin{aligned}
\text{No.4} &= 0 + 7,17 = 7,17 \% \\
\text{No.8} &= 7,17 + 5,01 = 12,18 \% \\
\text{No.16} &= 12,18 + 11,86 = 24,04 \% \\
\text{No.30} &= 24,04 + 24,36 = 48,40 \% \\
\text{No.50} &= 48,40 + 30,69 = 79,09 \% \\
\text{No.100} &= 79,09 + 16,91 = 95,09 \% \\
\text{Pan} &= 95,09 + 4,01 = 100,00 \%
\end{aligned}$$

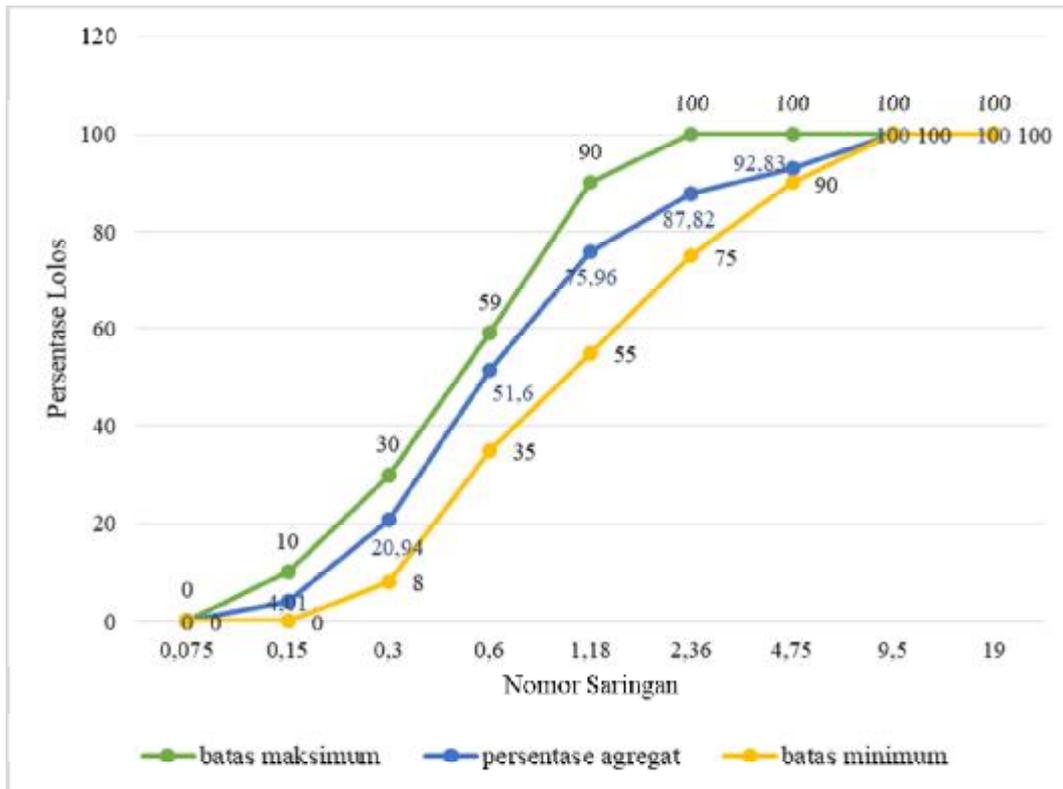
Jumlah persentase kumulatif yang tertahan = 266,87%

$$\begin{aligned}
\text{FM (Modulus kehalusan)} &= \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Tertahan}}{100} \\
&= \frac{266,87}{100} \\
\text{FM} &= 2,67
\end{aligned}$$

- Persentase berat kumulatif yang lolos saringan:

$$\begin{aligned}
\text{No.4} &= 100 - 7,17 = 92,83 \% \\
\text{No.8} &= 100 - 12,18 = 87,82 \% \\
\text{No.16} &= 100 - 24,04 = 75,96 \% \\
\text{No.30} &= 100 - 48,40 = 51,60 \%
\end{aligned}$$

No.50 = 100 - 79,09 = 20,91 %  
 No.100 = 100 - 95,09 = 4,01 %  
 Pan = 100 - 100,00 = 0,00 %



Gambar 3.7: Grafik gradasi agregat halus (zona 2 pasir sedang).

Berdasarkan Gambar 3.7 menjelaskan hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus pada Tabel 3.12 diperoleh nilai modulus kehalusan sebesar 2,67 dan dari grafik hasil pengujian diketahui bahwa agregat halus yang diuji termasuk di zona 2 (pasir sedang) seperti gambar diatas, serta hasil tersebut memenuhi standar yang telah ditentukan yaitu: 2,60 – 2,90 dalam kategori Pasir Sedang.

### 3.7. Pemeriksaan Agregat Kasar

Penelitian ini meliputi beberapa tahapan / pemeriksaan diantaranya:

- a. Pemeriksaan kadar air.
- b. Pemeriksaan kadar lumpur.
- c. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.

- d. Pemeriksaan berat isi.
- e. Pemeriksaan analisa saringan.

### 3.7.1. Kadar Air Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 566 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMSU tentang kadar air agregat halus. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.13 sehingga diketahui kadar air agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 3.13: Data-data hasil penelitian kadar air agregat kasar.

Pengujian	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-rata
Berat contoh SSD & berat wadah (W1)	3653	3831	3742
Berat contoh SSD	3100	3300	3200
Berat contoh kering oven & wadah (W2)	3633	3812	3722,5
Berat wadah (W3)	553	531	542
Berat air (W1-W2)	20	19	19,5
Berat contoh kering (W2-W3)	3080	3281	3180,5
Kadar air $((W1-W2)/(W2-W3)) \times 100\%$	0,649	0,579	0,614

Berdasarkan Tabel 3.13 menjelaskan hasil pemeriksaan kadar air agregat kasar yang menggunakan dua sampel yang kemudian dirata-ratakan. Dari hasil pengujian didapat nilai kadar air agregat kasar pada contoh pertama sebesar 0,649%, pada contoh kedua sebesar 0,579%. Sedangkan nilai rata-rata kadar air pada agregat kasar yang diteliti adalah sebesar 0,614%.

### 3.7.2. Kadar Lumpur Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 117-90 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.14 sehingga diketahui kadar lumpur agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 3.14: Data-data hasil penelitian kadar lumpur agregat kasar.

Agregat Kasar Diameter Maksimum 40 mm	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-rata
Berat contoh kering: A (gr)	1000	1000	1000
Berat contoh setelah dicuci: B (gr)	994	993	993,5
Berat kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci: C (gr)	6	7	6,5
Persentase kotoran agregat lolos saringan No.200 setelah dicuci (%)	0,6	0,7	0,7

Berdasarkan Tabel 3.14 menjelaskan hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar dilakukan dengan mencuci sampel yang menggunakan air, kemudian disaring dengan menggunakan Saringan No. 200, persentase yang didapat dihitung dari pembagian berat kotoran agregat yang lolos saringan dibagi dengan berat contoh awal, kemudian membuat hasilnya di dalam persentase. Dari percobaan ini didapat persentase kadar lumpur untuk sampel yang pertama sebesar 0,6%, dan sampel kedua sebesar 0,7%. Maka, untuk mengambil nilai kadar lumpur diambil dari rata-rata pengujian yakni sebesar 0,7%.

### 3.7.3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 127-88 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMSU tentang berat jenis dan penyerapan agregat kasar. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.15 sehingga diketahui berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 3.15: Data-data hasil penelitian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pengujian	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-rata
Berat contoh SSD kering permukaan jenuh (A)	3000	3200	3100

Tabel 3.15: *lanjutan*

Pengujian	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-rata
Berat contoh SSD kering oven 110°C sampai konstan (C)	2979	3175	3347
Berat contoh jenuh (B)	1893	2001	1947
Berat jenis contoh kering (C/(A-B))	2,69	2,65	2,67
Berat jenis contoh SSD (A/(A-B))	2,71	2,66	2,68
Berat jenis contoh semu (C/(C-B))	2,74	2,70	2,72
Penyerapan ((A-C)/C) x 100%	0,70	0,78	0,74

Berdasarkan hasil pemeriksaan di dapat data-data pada Tabel 3.15 sehingga dapat diketahui nilai berat jenis maupun penyerapan (*absorbtion*) pada agregat halus yang diteliti. Pada tabel terlampir 3 macam berat jenis, yakni berat jenis contoh semu, berat jenis SSD, dan berat jenis contoh semu. Berat jenis agregat terpenuhi apabila nilai Berat Jenis Contoh Kering < Berat Jenis SSD < Berat Jenis Contoh Semu. Dari percobaan didapat rata-rata nilai berat jenis contoh kering sebesar 2,67 gr/cm<sup>3</sup>, nilai rata-rata berat jenis SSD sebesar 2,68 gr/cm<sup>3</sup>, dan nilai rata-rata berat jenis contoh semu sebesar 2,72 gr/cm<sup>3</sup>. Selain berat jenis, pada pemeriksaan ini juga didapat nilai penyerapan pada agregat kasar yang didapat nilai rata-ratanya sebesar 0,74%.

#### 3.7.4. Berat Isi Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan ASTM C 29 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMSU tentang berat isi agregat kasar. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.16 sehingga diketahui berat isi agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 3.16: Data-data hasil penelitian berat isi agregat kasar.

No	Pengujian	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Sampel 3 (gr)	Rata-rata
1	Berat contoh & wadah (gr)	31456	32458	31350	31754,67
2	Berat wadah (gr)	6500	6500	6500	6500
3	Berat contoh (gr)	24956	25958	24850	25255
4	Volume wadah (cm)	15465,21	15465,21	15465,21	15465,21
5	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )	1,614	1,678	1,607	1,633

Berdasarkan Tabel 3.16 menjelaskan tentang nilai berat isi agregat kasar yang rata-ratanya didapat sebesar 1,270 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai berat isi agregat didapatkan dari perbandingan nilai antara berat contoh yang didapat dengan volume wadah yang dipakai dalam penelitian ini. Pada sampel pertama didapat nilai berat isi agregat sebesar 1,614 gr/cm<sup>3</sup>. Percobaan kedua menghasilkan nilai berat isi agregat sebesar 1,678 gr/cm<sup>3</sup>. Sedangkan percobaan ke tiga menghasilkan nilai berat isi agregat sebesar 1,607 gr/cm<sup>3</sup> dengan rata-rata berat isi sebesar 1,633 gr/cm<sup>3</sup>.

### 3.7.5. Analisa Saringan Agregat Kasar

Alat, bahan dan cara kerja sesuai dengan SNI 03-2834-2000 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UMSU tentang analisa saringan agregat kasar. Dari hasil penelitian didapat data-data pada Tabel 3.17 sehingga diketahui modulus kehalusan agregat kasar yang diperiksa.

Tabel 3.17: Data-data hasil penelitian analisa saringan agregat kasar.

No Saringan	Berat Tertahan				Kumulatif	
	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Total Berat (gr)	%	Tertahan	Lolos
38,1 (1.5 in)	119	120	239	4,12	4,12	95,88

Tabel 3.17: *lanjutan.*

No Saringan	Berat Tertahan				Kumulatif	
	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Total Berat (gr)	%	Tertahan	Lolos
19.0 (3/4 in)	925	1180	2105	36,29	40,41	59,59
9.52 (3/8 in)	725	1001	1726	29,76	70,17	29,83
4.75 (No. 4)	831	899	1730	29,83	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	2600	3200	5800	100		

Berdasarkan Tabel 3.17, didapatkan nilai kumulatif agregat dan modulus kehalusan agregat kasar yang diperoleh dari persentase jumlah keseluruhan kumulatif tertahan agregat.. Penjelasan tentang persentase dan kumulatif agregat dijelaskan sebagai berikut:

Total berat pasir = 5800 gr

- Persentase berat tertahan rata-rata:

$$1,5 = \frac{239}{5800} \times 100\% = 4,12 \%$$

$$\frac{3}{4} = \frac{2105}{5800} \times 100\% = 36,29 \%$$

$$\frac{3}{8} = \frac{1726}{5800} \times 100\% = 29,76 \%$$

$$\text{No. 4} = \frac{1730}{5800} \times 100\% = 29,83 \%$$

- Persentase berat kumulatif tertahan:

$$1,5 = 0 + 4,12 = 4,12 \%$$

$$\frac{3}{4} = 4,12 + 36,29 = 40,41 \%$$

$$\begin{aligned} 3/8 &= 40,41 + 29,76 = 70,17 \% \\ \text{No.4} &= 70,17 + 29,83 = 100,00 \% \end{aligned}$$

Jumlah persentase kumulatif yang tertahan = 714,71

$$\begin{aligned} \text{FM (Modulus kehalusan)} &= \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Tertahan}}{100} \\ &= \frac{714,71}{100} \end{aligned}$$

$$\text{FM} = 7,15$$

- Persentase berat kumulatif yang lolos saringan:

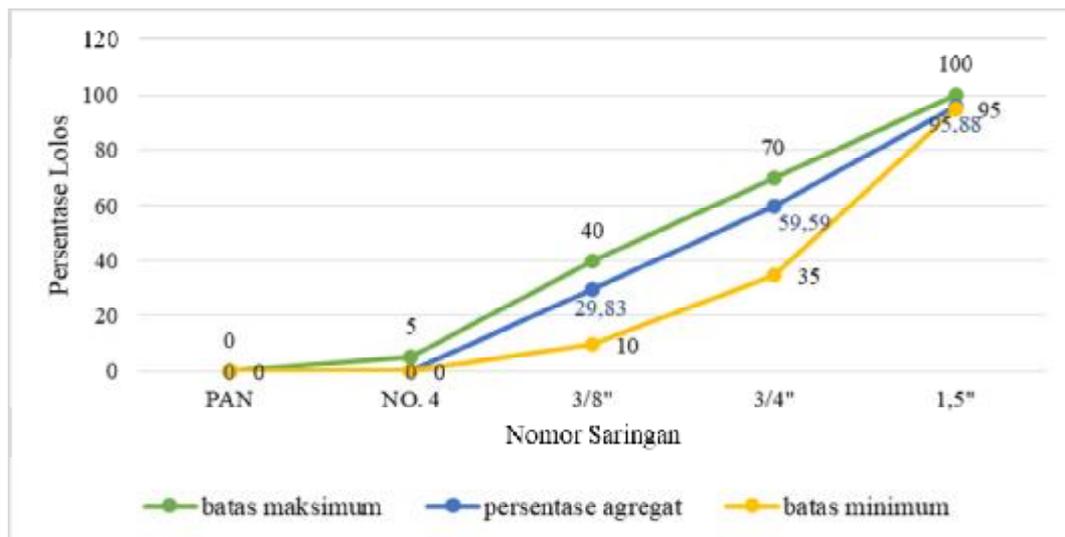
$$1,5 = 100 - 4,12 = 95,88 \%$$

$$3/4 = 100 - 40,41 = 59,59 \%$$

$$3/8 = 100 - 70,17 = 29,83 \%$$

$$\text{No. 4} = 100 - 100 = 0 \%$$

Batas gradasi batu pecah sebagai agregat kasar dengan kriteria berdiameter maksimum 40 mm dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8: Grafik gradasi agregat kasar diameter maksimum 40 mm

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

### 3.7.6. Keausan Agregat Dengan Mesin *Los Angeles*

Alat, bahan dan cara kerja mengikuti Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil UMSU tentang kekerasan agregat dengan Mesin *Los Angeles*.

Dari hasil penelitian didapat data-data sebagai berikut:

Berat sampel sebelum pengujian = 5000 gr

Berat tiap-tiap ayakan tercantum dalam Tabel 3.18. Nilai keausan agregat didapatkan dari perbandingan persentase dari berat akhir agregat yang tertahan dengan saringan No. 12 dengan berat awal agregat yang diambil. Percobaan ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar ketahanan agregat terhadap gesekan.

Tabel 3.18: Data-data dari hasil pengujian keausan agregat.

No Saringan	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)
12,5 (1/2 in)	2500	1141
9,50 (3/8 in)	2500	1260
4,75 (No. 4)	-	955
2,36 (No. 8)	-	351
1,18 (No. 16)	-	-
0,60 (No. 30)	-	-
0,30 (No. 50)	-	-
0,15 (No. 100)	-	-
Pan	-	178
Total	5000	3885
	Berat lolos saringan No. 12	1115
	<i>Abrasion</i> (Keausan) (%)	22,3%

$$\begin{aligned}
Abrasion &= \frac{\text{Berat Awal} - \text{Berat Akhir}}{\text{Berat Awal}} \times 100\% \\
&= \frac{5000 - 3885}{50000} \times 100\% \\
&= 22,3 \%
\end{aligned}$$

Dari hasil pemeriksaan di dapat pada Tabel 3.18 diketahui bahwa berat akhir setelah melakukan pengujian keausan agregat adalah sebesar 3885 gr dan nilai *abrasion* (keausan) sebesar 22,3%.

### **3.8. Perencanaan Campuran Beton**

Tahap awal sebelum melakukan perencanaan campuran beton, dilakukan pengujian terhadap komponen-komponen dasar pembentuk beton sesuai dengan SNI (Standar Nasional Indonesia), yaitu pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar serta air. Selanjutnya dilakukan perencanaan campuran beton berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia).

### **3.9. Pelaksanaan Penelitian**

#### **3.9.1. Mix Design**

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

#### **3.9.2. Pembuatan Benda Uji**

Benda uji dibuat menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan sisi yang berjumlah 40 buah. Proses pembuatan benda uji ditunjukkan dengan gambar pada lampiran.

#### **3.9.3. Pengujian Slump**

Pengujian *slump* dilakukan berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh SNI 03-2834-2000.

#### **3.9.4. Perawatan Beton**

Setelah beton dikeluarkan dari cetakan, dilakukan perawatan dengan cara perendaman dalam air sampai saat uji kuat tekan dilakukan, yaitu pada umur 14 dan 28 hari.

#### **3.9.5. Pengujian Kuat Tekan**

Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tekan dengan kapasitas 1500 KN. Sebelum ditekan benda uji ditimbang terlebih dahulu untuk dapat mengetahui berat jenis beton. Jumlah sampel pengujian untuk setiap variasi direncanakan sebanyak:

- Beton normal umur 14 hari : 4 buah.
- Beton normal umur 28 Hari : 4 buah.
- Beton variasi 10% umur 14 hari : 4 buah.
- Beton variasi 10% umur 28 hari : 4 buah.
- Beton variasi 15% umur 14 hari : 4 buah.
- Beton variasi 15% umur 28 hari : 4 buah.
- Beton variasi 20% umur 14 hari : 4 buah.
- Beton variasi 20% umur 28 hari : 4 buah.
- Beton variasi 25% umur 14 hari : 4 buah.
- Beton variasi 25% umur 28 hari : 4 buah.
- Total : 40 buah.

## BAB 4

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

##### 4.1.1 Data-Data Campuran Beton

Dalam hal ini penulis ingin menganalisis dari data-data yang telah diperoleh saat penelitian berlangsung sehingga didapat campuran beton yang diinginkan.

Dari hasil percobaan didapati data-data sebagai berikut:

Tabel 4.1: Data-data pemeriksaan dasar

Jenis Data	Nilai
Berat jenis agregat kasar	2,68 gram/cm <sup>3</sup>
Berat jenis agregat halus	2,55 gram/cm <sup>3</sup>
Kadar lumpur agregat kasar	0,7%
Absorpsi agregat kasar	0,74%
Absorpsi agregat halus	1,83%
Kadar lumpur agregat halus	4,6%
Berat isi agregat kasar	1,633 gram/cm <sup>3</sup>
Berat isi agregat halus	1,332 gram/cm <sup>3</sup>
FM agregat kasar	7,15
FM agregat halus	2,67
Kadar air agregat kasar	0,614%
Kadar air agregat halus	2,145%
Keausan agregat	22,3%
Nilai slump rencana	30–60 mm
Ukuran agregat max	40 mm

Setelah melakukan pengujian dasar maka nilai-nilai diatas tersebut dapat digunakan untuk perencanaan campuran beton (*Mix Design*) yang terlampir pada Tabel 4.1 berdasarkan SNI 03-2834-2000 di bawah ini.

Tabel 4.2: Perencanaan Campuran Beton (SNI 03-28334-2000).

No	Uraian	Tabel / Gambar perhitungan	Nilai
1.	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder)	Ditetapkan	22,5 Mpa
2.	Deviasi standart	-	12 Mpa
3.	Nilai tambah (margin)	-	5,6 Mpa
4.	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	1 + 2 + 3	40,1 Mpa
5.	Jenis semen	Ditetapkan	PCC Tipe 1
6.	Jenis agregat: - Kasar - Halus	Ditetapkan Ditetapkan	Batu pecah Binjai Pasir alami Binjai
7.	Faktor air semen bebas	Gambar 4.1	0,46
8.	Faktor air semen maksimum	Ditetapkan	0,60
9.	Slump	Ditetapkan	30-60 mm
10.	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	40 mm
11.	Kadar air bebas	Tabel 2.10	170 kg/ m <sup>3</sup>
12.	Jumlah semen	11:7	364,81 kg/ m <sup>3</sup>
13.	Jumlah semen maksimum	12	364,81 kg/ m <sup>3</sup>
14.	Jumlah semen minimum	Tabel 2.11	275 kg/ m <sup>3</sup>
15.	Faktor air semen yang disesuaikan	-	0,46
16.	Susunan besar agregat halus	Gambar 2.2	Daerah Gradasi zona 2
17.	Susunan agregat kasar atau gabungan	Gambar 2.5	Gradasi Maksimum 40 mm
18.	Persen agregat halus	Gambar 4.2	34%

Tabel 4.2: Lanjutan.

No	Uraian	Tabel / Gambar perhitungan		Nilai	
19.	Berat jenis relatif agregat (jenuh kering permukaan)	Tabel		2,64	
20.	Berat isi beton	Gambar 4.3		2413 kg/ m <sup>3</sup>	
21.	Kadar agregat gabungan	20 – (12+11)		1878,19 kg/ m <sup>3</sup>	
22.	Kadar agregat halus	18 x 21		638,58 kg/ m <sup>3</sup>	
23.	Kadar agregat kasar	21 – 22		1239,61 kg/ m <sup>3</sup>	
	Proporsi Campuran	Semen (kg)	Air (kg atau ltr)	Agregat kondisi jenuh kering permukaan (kg)	
				Halus	Kasar
24.	- Tiap m <sup>3</sup>	364,81	170	638,58	1239,61
	- Tiap campuran uji m <sup>3</sup>	1	0,46	1,75	3,40
	- Tiap benda uji v = 0,0053 m <sup>3</sup> (1 silinder)	1,93	0,90	3,38	6,57
25.	Koreksi proporsi campuran				
	- Tiap m <sup>3</sup>	364,81	169,55	640,59	1238,05
	- Tiap campuran uji m <sup>3</sup>	1	0,464	1,756	3,394
	- Tiap benda uji v = 0,0053 m <sup>3</sup> (1 silinder)	1,93	0,899	3,395	6,562

Perencanaan campuran beton digunakan sesuai dengan SNI 03-28334-2000. Dimana yang pertama kali dilakukan adalah menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan yaitu 22,5 MPa dengan benda uji berbentuk silinder. Dimana hal ini nantinya akan dijadikan acuan untuk kuat tekan minimum yang harus dicapai saat uji kuat beton umur 28 hari. Selanjutnya menetapkan standart deviasi yang mengacu pada SNI 03-2834-2000. Karena jumlah pengujian yang akan dilakukan untuk setiap variasi bahan tambah kurang dari 15 benda uji, maka faktor pengali deviasi standart yang digunakan adalah 12 MPa.

Untuk perhitungan nilai tambah margin (m), ditentukan menggunakan tingkat mutu pekerjaan pembetonan (Mulyono, 2005). Dimana pada *mix design* kali ini menggunakan tingkat mutu 5,6 yang berarti cukup. Parameternya dapat dilihat dari peralatan yang digunakan, dan juga keakurasian pengerjaan campuran.

Adapun semen yang dipilih kali ini adalah PCC (*Portland Composite Cement*) tipe 1. Penggunaan semen ini mengacu pada SNI 15-2049-2004, dimana Jenis ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus untuk hidrasi panas dan kekuatan tekan awal. Jenis semen tipe ini merupakan tipe familiar yang banyak digunakan oleh masyarakat, sehingga mudah untuk didapatkan. Selain itu sifat semen PCC dalam proses pengerjaan yang tergolong mudah, suhu adukan rendah sehingga hasilnya tidak mudah retak, menghasilkan permukaan plesteran dan beton yang halus, kedap air, tahan terhadap serangan sulfat, serta mempunyai kuat tekan yang relatif tinggi dari beberapa jenis semen lainnya.

Adapun nilai slump ditetapkan yaitu 30-60 mm. Penetapan nilai slump akan berpengaruh langsung terhadap perhitungan jumlah kadar air bebas dan proporsi berat agregat halus yang secara tidak langsung berpengaruh dalam perhitungan untuk mendapatkan proporsi campuran untuk setiap satu benda uji silinder dengan volume  $0,0053 \text{ m}^3$ . Proporsi campuran yang didapat melalui *mix design* selanjutnya akan dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan benda uji. Dimana nantinya akan didapatkan berat agregat disetiap nomor saringan, baik agregat halus maupun kasar dengan mengalikan hasil proporsi untuk kebutuhan pencetakan 1 benda uji berbentuk silinder dengan nilai % berat tertahan disetiap nomor saringan dari analisa saringan.

Berdasarkan analisa saringan maka didapat berat untuk masing-masing saringan untuk 1 benda uji. Untuk agregat kasar pada Tabel 4.3, sedangkan untuk agregat halus pada Tabel 4.4.

Tabel 4.3: Banyak agregat kasar yang dibutuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Rumus		Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times$	Agregat kasar	
1,5	4,12	$\frac{4,12}{100} \times$	6,562	0,270
$\frac{3}{4}$	36,29	$\frac{36,29}{100} \times$	6,562	2,381
3/8	29,76	$\frac{29,76}{100} \times$	6,562	1,953
No. 4	29,83	$\frac{29,83}{100} \times$	6,562	1,957
Total				6,562

Tabel 4.4: Banyak agregat halus yang di butuhkan untuk tiap saringan dalam 1 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Rumus		Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times$	Agregat Halus	
4	7,17	$\frac{7,17}{100} \times$	3,395	0,243
8	5,01	$\frac{5,01}{100} \times$	3,395	0,170
16	11,86	$\frac{11,86}{100} \times$	3,395	0,403
30	24,36	$\frac{24,36}{100} \times$	3,395	0,827
50	30,69	$\frac{30,69}{100} \times$	3,395	1,042
100	16,91	$\frac{16,91}{100} \times$	3,395	0,574
Pan	4,01	$\frac{4,01}{100} \times$	3,395	0,136

Total	3,395
-------	-------

a. Bahan *filler* pada semen

Untuk penggunaan bahan *filler* pada semen tertahan saringan nomor 200 menggunakan abu boiler cangkang kelapa sawit sebesar 10%, 15%, 20% dan 25% dapat dilihat pada Tabel 4.5.

- Abu boiler cangkang kelapa sawit yang dibutuhkan sebanyak 10% untuk 1 benda uji.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{10}{100} \times \text{Berat semen} \\
 &= \frac{10}{100} \times 1,93 \text{ kg} \\
 &= 0,193 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka, jumlah semen yang digunakan adalah =  $1,93 - 0,193 = 1,737 \text{ kg}$

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{15}{100} \times \text{Berat semen} \\
 &= \frac{15}{100} \times 1,93 \text{ kg} \\
 &= 0,289 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka, jumlah semen yang digunakan adalah =  $1,93 - 0,289 = 1,641 \text{ kg}$

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{20}{100} \times \text{Berat semen} \\
 &= \frac{20}{100} \times 1,93 \text{ kg} \\
 &= 0,386 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Maka, jumlah semen yang digunakan adalah =  $1,93 - 0,386 = 1,544 \text{ kg}$

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

$$\begin{aligned}
&= \frac{25}{100} \times \text{Berat semen} \\
&= \frac{25}{100} \times 1,93 \text{ kg} \\
&= 0,483 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Maka, jumlah semen yang digunakan adalah =  $1,93 - 0,483 = 1,447 \text{ kg}$

Tabel 4.5: Banyaknya abu boiler cangkang kelapa sawit yang dibutuhkan untuk 1 benda uji.

Penggunaan Bahan Ganti	Berat abu boiler cangkang kelapa sawit (kg)	Berat semen (kg)
10%	0,193	1,737
15%	0,289	1,641
20%	0,386	1,544
25%	0,483	1,447

Dalam penelitian ini jumlah benda uji yang akan dibuat adalah sebanyak 40 benda uji, banyak bahan yang dibutuhkan untuk 40 benda uji adalah:

– Semen yang dibutuhkan untuk 40 benda uji

Untuk beton normal

= banyak semen untuk 1 benda uji x 8

=  $1,93 \text{ kg} \times 8$

=  $15,44 \text{ kg}$

Untuk beton dengan *filler* pada semen sebesar 10%

= banyak semen untuk 1 benda uji x 8

=  $1,737 \text{ kg} \times 8$

=  $13,896 \text{ kg}$

Untuk beton dengan *filler* pada semen sebesar 15%

= banyak semen untuk 1 benda uji x 8

=  $1,641 \text{ kg} \times 8$

=  $13,128 \text{ kg}$

Untuk beton dengan *filler* pada semen sebesar 20%

= banyak semen untuk 1 benda uji x 8

= 1,544 kg x 8

= 12,352 kg

Untuk beton dengan *filler* pada semen sebesar 25%

= banyak semen untuk 1 benda uji x 8

= 1,447 kg x 8

= 11,576 kg

Maka, jumlah semen yang dibutuhkan untuk 40 benda uji adalah= 15,44 + 13,896 + 13,128 + 12,352 + 11,576 = 66,392 kg

– Batu pecah yang dibutuhkan untuk 40 benda uji

= banyak batu pecah untuk 1 benda uji x 40

= 6,562 x 40

= 262,48 kg

– Pasir yang dibutuhkan untuk 40 benda uji

= banyak batu pecah untuk 1 benda uji x 40

= 3,395 x 40

= 135,80 kg

– Air yang dibutuhkan untuk 40 benda uji

= banyak air untuk 1 benda uji x 40

= 0,899 x 40

= 35,96 kg

Dalam penelitian ini jumlah benda uji yang akan dibuat adalah sebanyak 40 benda uji, banyak bahan yang di butuhkan untuk 40 benda uji pada agregat kasar terlampir pada Tabel 4.6, dan untuk agregat halus terlampir pada Tabel 4.7. Jumlah total agregat tiap saringan didapat dari hasil berat tertahan per saringan per benda uji dikalikan dengan jumlah total benda uji.

Tabel 4.6: Banyak agregat kasar yang di butuhkan untuk tiap saringan untuk 40 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Rumus		Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times$	Agregat kasar	
1,5	4,12	$\frac{4,12}{100} \times$	262,48	10,814
$\frac{3}{4}$	36,29	$\frac{36,29}{100} \times$	262,48	95,254
3/8	29,76	$\frac{29,76}{100} \times$	262,48	78,114
No. 4	29,83	$\frac{29,83}{100} \times$	262,48	78,298
Total				262,48

Tabel 4.7: Banyak agregat halus yang di butuhkan untuk tiap saringan untuk 40 benda uji.

Nomor saringan	% berat tertahan	Rumus		Berat tertahan (kg)
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times$	Agregat kasar	
4	7,17	$\frac{7,17}{100} \times$	131,2	9,407
8	5,01	$\frac{5,01}{100} \times$	131,2	6,573
16	11,86	$\frac{11,86}{100} \times$	131,2	15,560
30	24,36	$\frac{24,36}{100} \times$	131,2	31,960
50	30,69	$\frac{30,69}{100} \times$	131,2	40,265
100	16,91	$\frac{16,91}{100} \times$	131,2	22,186
Pan	4,01	$\frac{4,01}{100} \times$	131,2	5,261
Total				131,2

## 4.2 Pembuatan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan silinder sebagai benda uji dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, jumlah benda uji yang di buat sebanyak 40 benda uji.

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam pembuatan benda uji:

### 1. Pengadukan beton

Pengadukan beton dilakukan dengan menggunakan mesin pengaduk (mixer). Jumlah air yang ditetapkan dibagi menjadi 3 bagian. Memasukkan 1/3 dari jumlah air yang ditetapkan kedalam bejana pengaduk, lalu memasukkan agregat kasar dari urutan yang terbesar ke yang terkecil, selanjutnya menambahkan agregat halus dari urutan saringan terbesar hingga yang terkecil yang selanjutnya dimasukkan air sebanyak 1/3 bagian dari jumlah keseluruhan air yang ditetapkan. Setelah itu menambahkan semen ke dalam mesin pengaduk dan memasukkan air 1/3 dari jumlah keseluruhan air. Bahan yang telah tercampur dibiarkan hingga terlihat menyatu. Pengadukan didalam bejana pengaduk dilanjutkan sampai warna adukan tampak rata, dan tampak campuran homogen dan sudah tampak kelecakan yang cukup. Setelah beton tercampur merata kemudian adukan beton tersebut dituang ke dalam pan.

### 2. Pencetakan

Sebelum beton di masukkan kedalam cetakan terlebih dahulu dilakukan pengukuran kelecakan (*slump test*). Setelah itu kemudian adukan beton dimasukkan kedalam cetakan yang telah di sediakan, masukkan adukan beton kedalam cetakan dengan menggunakan sendok aduk, sekop. Setiap pengambilan campuran dari pan harus dapat mewakili keseluruhan dari adukan tersebut, isi 1/3 cetakan dengan adukan lalu di lakukan pemadatan dengan cara di rojok/tusuk dengan batang besi yang berdiameter 16 mm, dengan jumlah tusukan 25 kali, hal ini terus dilakukan untuk 2/3 dan 3/3 atau sampai cetakan penuh kemudian pukul-pukul bagian luar cetakan dengan menggunakan palu karet sebanyak 10 sampai 15 kali agar udara yang terperangkap didalam adukan dapat keluar, setelah itu ratakan permukaan cetakan dan di tutup dengan kaca untuk menjaga penguapan air dari beton segar. Lepaskan cetakan setelah  $24 \pm 4$  jam dan tidak lebih dari 48 jam setelah pencetakan.

### 3. Pemeliharaan beton

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

### 4. Pembuatan *capping*

Pekerjaan ini dilakukan bertujuan untuk memberi lapisan perata pada permukaan tekan benda uji silinder beton sebelum dilakukan uji tekan.

#### **4.3 Slump Test**

Pengambilan nilai *slump* dilakukan untuk masing – masing campuran baik pada beton normal maupun beton yang menggunakan bahan tambah (*additive & Admixture*). Pengujian *slump* dilakukan dengan kerucut *abrams* dengan cara mengisi kerucut *abrams* dengan beton segar (setiap pengambilan bahan harus dapat mewakili adukan tersebut) sebanyak 3 lapis, tiap lapis kira – kira  $\frac{1}{3}$  dari isi kerucut pada tiap lapisan dilakukan penusukan sebanyak 25 kali, tongkat penusuk dibiarkan jatuh bebas tanpa dipaksa, setelah pengisian selesai ratakan permukaan kerucut lalu diamkan selama 30 detik setelah itu angkat kerucut dengan cara tegak lurus sampai adukan beton terlepas semua dari cetakan, ukur tinggi adukan selisih tinggi kerucut dengan adukan adalah nilai dari *slump*.

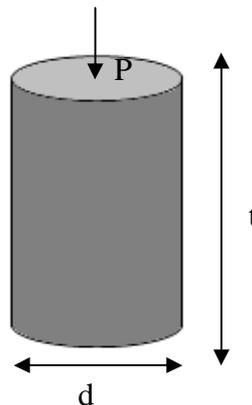
Salah satu cara yang dapat digunakan untuk melihat *workability* (tingkat kemudahan pengerjaan) dari campuran beton segar adalah dengan pengujian *Slump*, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.8. Pada tabel ini dijelaskan nilai *slump* pada masing masing pencetakan beton. Seperti yang kita ketahui, perencanaan *slump* pada *Job Mix Design* adalah 30-60 mm. Penelitian ini melakukan dua kali pencetakan benda uji, sehingga nilai *slump*nya berbeda. Hal ini dikarenakan molen yang tersedia di laboratorium tidak sanggup menahan beban total dari semua agregat, semen dan air.

Tabel 4.8: Hasil pengujian nilai *slump*.

	Beton normal		Beton campuran abu boiler cangkang kelapa sawit (%)							
			10		15		20		25	
Hari	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
<i>Slump</i> (cm)	4,5	3,5	4	5	4,5	3	4	3	5,5	5,5
	4,5	3,5	4,5	4,5	4,5	3	4,5	3,5	6	6

#### 4.4 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 7 dan 28 hari dengan menggunakan mesin tekan dengan kapasitas 1500 KN, benda uji yang akan dites adalah berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm seperti pada Gambar 4.4 dan jumlah benda uji 40 buah, dengan pengelompokan benda uji sesuai dengan variasi campurannya.



Gambar 4.1: Beban tekan pada benda uji silinder.

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

Pengujian terhadap kuat tekan beton dilakukan untuk mendapatkan gambaran mutu beton tersebut. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Jadi pengujian kuat tekan ini merupakan

pembuktian dari hasil perbandingan *Mix Design* yang dibuat berdasarkan mutu rencana.

#### 4.4.1 Kuat Tekan Beton Normal

Pengujian beton normal dilakukan pada saat beton berumur 7 dan 28 hari. Nilai kuat tekan beton normal umur 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 untuk beton umur 10 hari.

Tabel 4.9: Hasil pengujian kuat tekan beton normal 7 hari.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	$A= 176,71\text{cm}^2$ $f'_c= (P/A)/0,83$ (MPa)	Estimasi 28 hari (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (MPa)
I	40500	27,61	42,48	40,91
II	39000	26,59	40,91	
III	37500	25,57	39,33	
IV	39000	26,59	40,91	

Tabel 4.10: Hasil pengujian kuat tekan beton normal 28 hari.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	$A= 176,71\text{cm}^2$ $f'_c= (P/A)/0,83$ (MPa)	Estimasi 28 hari (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (MPa)
I	48000	32,73	32,73	32,22
II	46500	31,70	31,70	
III	49500	33,75	33,75	
IV	45000	30,68	30,68	

#### 4.4.2 Kuat Tekan Beton Campuran Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit 10%

Pengujian beton campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit dilakukan pada saat beton berumur 7 dan 28 hari. Nilai kuat tekan beton campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 10% umur 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4.11. dan Tabel 4.12 untuk umur 28 hari. Dari Tabel di bawah, akan diperoleh nilai kuat tekan rata-rata pada beton campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 10% pada saat umur beton 7 adalah 38,94 MPa. Sedangkan pada pengujian kuat tekan umur beton 28 hari rata-rata didapat sebesar 33,26 MPa.

Tabel 4.11: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 10% pada umur 7 hari.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	$A= 176,71\text{cm}^2$ $f'_c= (P/A)/0,83$ (MPa)	Estimasi 28 hari (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (MPa)
I	40500	27,61	42,48	38,94
II	43500	29,66	45,63	
III	33000	22,50	34,61	
IV	31500	21,48	33,01	

Tabel 4.12: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 10% pada umur 28 hari.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	$A= 176,71\text{cm}^2$ $f'_c= (P/A)/0,83$ (MPa)	Estimasi 28 hari (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (MPa)
I	37500	25,57	25,57	26,33
II	37500	25,57	25,57	
III	39000	26,59	26,59	
IV	40500	27,61	27,61	

#### 4.4.3 Kuat Tekan Beton Campuran Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit 15%

Pengujian Beton Campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 15% dilakukan pada saat beton berumur 7 dan 28 hari. Nilai kuat tekan beton campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 15% dapat dilihat pada Tabel 4.13 untuk umur 7 hari dan Tabel 4.14 untuk 28 hari. Didalam tabel ini didapat kuat tekan rata-rata pengujian pada umur 7 hari sebesar 41,70 MPa. Sedangkan untuk pengujian pada saat umur beton 28 hari, nilai kuat tekan rata-rata mencapai 35,28 MPa.

Tabel 4.13: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 15% pada umur 7 hari.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	$A= 176,71\text{cm}^2$ $f'_c= (P/A)/0,83$ (MPa)	Estimasi 28 hari (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (MPa)
I	39000	26,59	40,91	41,70
II	40500	27,61	42,48	
III	42000	28,64	44,06	
IV	37500	25,57	39,33	

Tabel 4.14: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 15% pada umur 28 hari.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	$A= 176,71\text{cm}^2$ $f'_c= (P/A)/0,83$ (MPa)	Estimasi 28 hari (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (MPa)
I	52500	35,79	35,79	35,28
II	51000	34,77	34,77	
III	54000	36,82	36,82	
IV	49500	33,75	33,75	

#### 4.4.4 Kuat Tekan Beton Campuran Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit 20%

Pengujian Beton Campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 20% dilakukan pada saat beton berumur 7 dan 28 hari. Nilai kuat tekan beton campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 20% dapat dilihat pada Tabel 4.15 untuk umur 7 hari dan Tabel 4.16 untuk umur 28 hari. Didalam tabel ini didapat kuat tekan rata-rata pengujian pada umur 7 hari sebesar 42,09 MPa. Sedangkan untuk pengujian pada saat umur beton 28 hari pada Tabel 4.15, diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 33,24 MPa.

Tabel 4.15: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 20% pada umur 7 hari.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	$A= 176,71\text{cm}^2$ $f'_c= (P/A)/0,83$ (MPa)	Estimasi 28 hari (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (MPa)
I	40500	27,61	42,48	42,09
II	43500	29,66	45,63	
III	37500	25,57	39,33	
IV	31500	26,59	40,91	

Tabel 4.16: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 20% pada umur 28 hari.

Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	$A= 176,71\text{cm}^2$ $f'_c= (P/A)/0,83$ (MPa)	Estimasi 28 hari (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (MPa)
I	52500	35,79	35,79	33,24
II	51000	34,77	34,77	
III	45000	30,68	30,68	
IV	46500	31,70	31,70	

#### 4.4.5 Kuat Tekan Beton Campuran Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit 25%

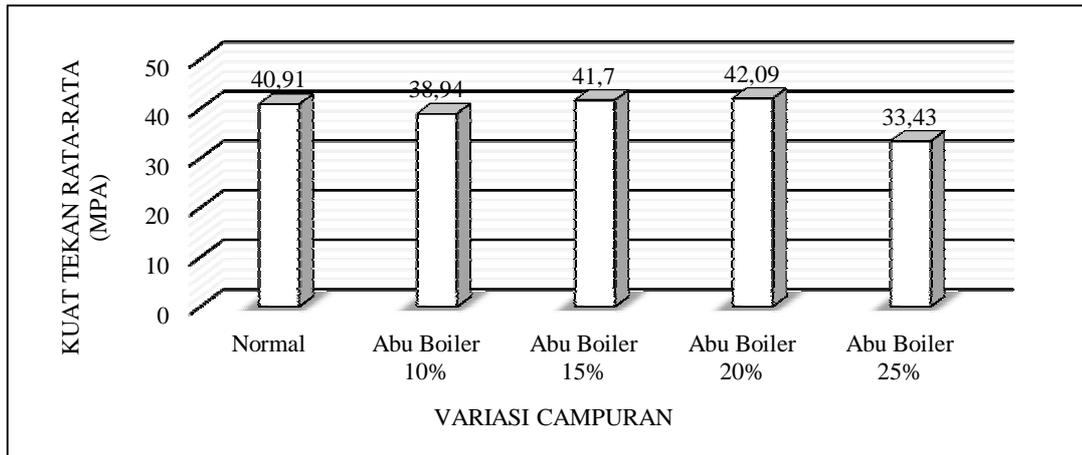
Pengujian Beton Campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 25% dilakukan pada saat beton berumur 7 dan 28 hari. Hasil kuat tekan beton campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 25% umur 7 hari dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 untuk 28 hari. Didalam tabel ini didapat kuat tekan rata-rata pengujian pada umur 7 hari sebesar 33,43 MPa. Sedangkan untuk pengujian pada saat umur beton 28 hari pada Tabel 4.17, diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 21,73 MPa.

Tabel 4.17: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 25% pada umur 7 hari.

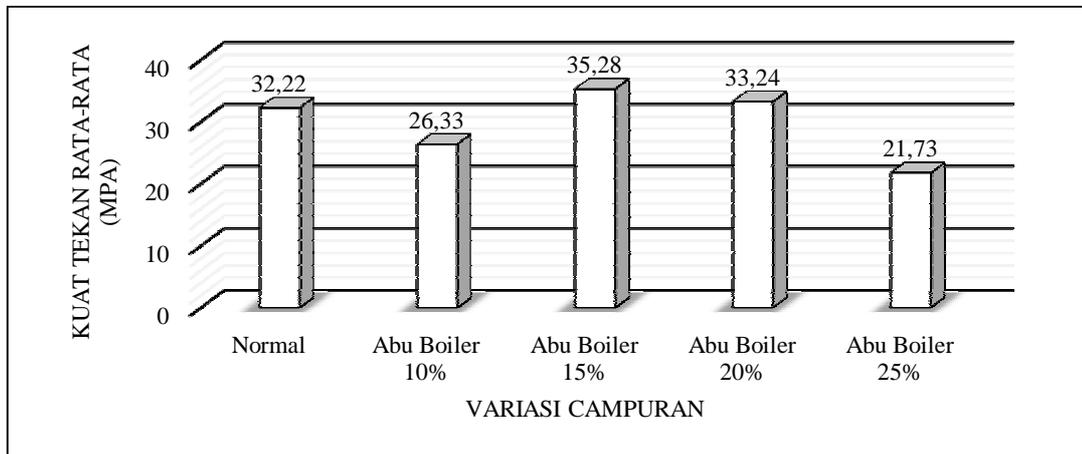
Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	$A= 176,71\text{cm}^2$ $f'_c= (P/A)/0,83$ (MPa)	Estimasi 28 hari (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (MPa)
I	33000	22,50	34,61	33,43
II	33000	22,50	34,61	
III	30000	20,45	31,47	
IV	31500	21,48	33,04	

Tabel 4.18: Hasil pengujian kuat tekan beton untuk campuran Abu boiler cangkang kelapa sawit 25% pada umur 28 hari.

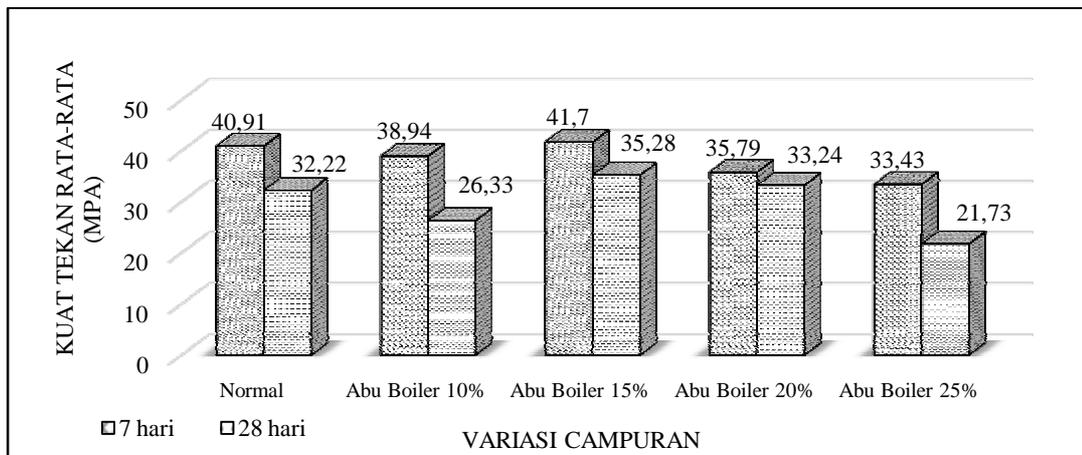
Benda Uji	Beban tekan (P) (kg)	$A= 176,71\text{cm}^2$ $f'_c= (P/A)/0,83$ (MPa)	Estimasi 28 hari (Mpa)	$f'_c$ rata-rata (MPa)
I	30000	20,45	20,45	21,73
II	36000	24,55	24,55	
III	31500	21,48	21,48	
IV	30000	20,45	20,45	



Gambar 4.2: Grafik kuat tekan beton umur 7 hari



Gambar 4.3: Grafik kuat tekan beton umur 28 hari



Gambar 4.4: Perbandingan kuat tekan rata-rata beton umur 7 dan 28 hari

#### 4.5 Pembahasan

Apabila kita membandingkan antara nilai kuat tekan beton normal dengan beton yang menggunakan *filler*, maka dapat kita lihat adanya penurunan dan kenaikan nilai kuat tekan beton pada beberapa nilai variasi campuran. Persentase penurunan dan kenaikan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

✓ Penambahan Abu boiler 10%

$$\text{Besar nilai penurunan (umur 7 hari)} = \frac{38,94 - 40,91}{40,91} \times 100\%$$

$$= 4,81\%$$

$$\text{Besar nilai penurunan (umur 28 hari)} = \frac{26,33 - 32,22}{32,22} \times 100\%$$

$$= 18,28\%$$

✓ Penambahan Abu boiler 15%

$$\text{Besar nilai kenaikan (umur 7 hari)} = \frac{41,70 - 40,91}{40,91} \times 100\%$$

$$= 1,93\%$$

$$\text{Besar nilai kenaikan (umur 28 hari)} = \frac{35,28 - 32,22}{32,22} \times 100\%$$

$$= 9,50\%$$

✓ Penambahan Abu boiler 20%

$$\text{Besar nilai kenaikan (umur 7 hari)} = \frac{42,09 - 40,91}{40,91} \times 100\%$$

$$= 2,88\%$$

$$\text{Besar nilai kenaikan (umur 28 hari)} = \frac{33,24 - 32,22}{32,22} \times 100\%$$

$$= 3,16\%$$

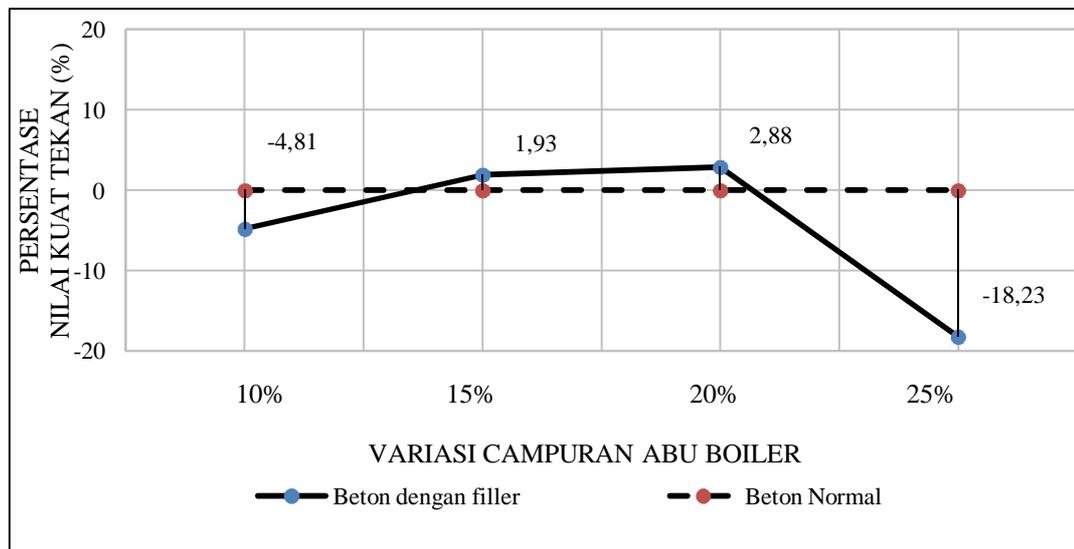
✓ Penambahan Abu boiler 25%

$$\text{Besar nilai penurunan (umur 7 hari)} = \frac{33,43 - 40,91}{40,91} \times 100\%$$

$$= 18,28\%$$

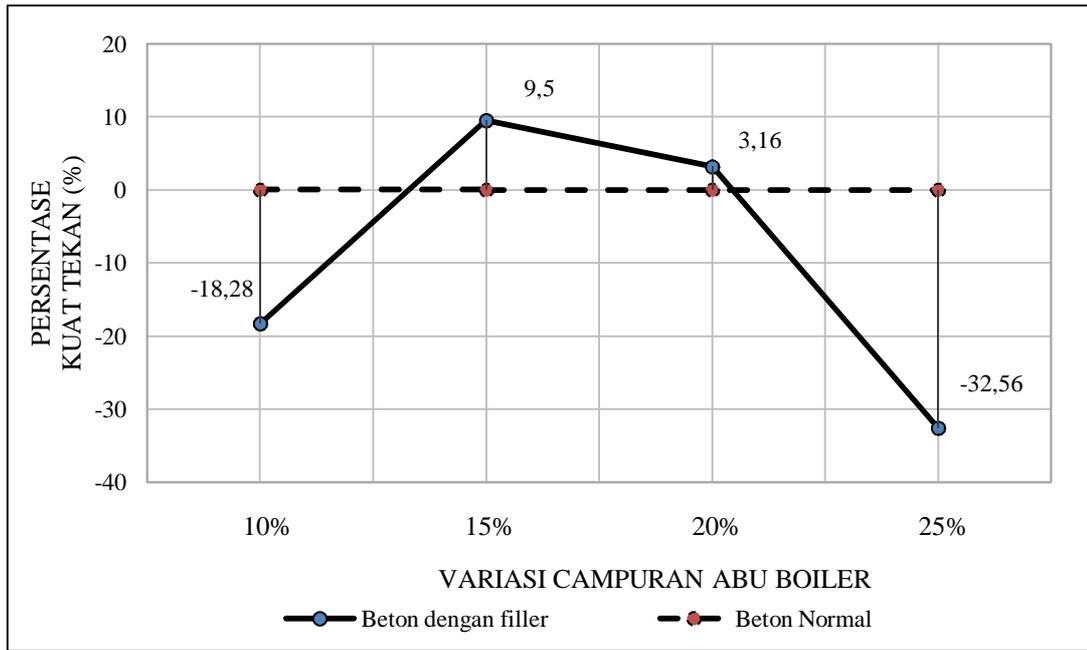
$$\begin{aligned}
 \text{Besar nilai kenaikan (umur 28 hari)} &= \frac{21,73 - 32,22}{32,22} \times 100\% \\
 &= 32,56\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil diatas kita dapat melihat bahwa persentase peningkatan kuat tekan beton umur 7 hari, dengan penambahan Abu boiler cangkang kelapa sawit mengalami penurunan kuat tekan pada penambahan 10% sebesar 4,81%. Namun pada penambahan 15%-20% mengalami peningkatan kuat tekan 1,93%-2,88% dan kembali mengalami penurunan kuat tekan saat penambahan abu boiler 25% sebesar 18,28%. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 di bawah.



Gambar 4.5: Persentase perbandingan nilai kuat beton normal dengan beton yang menggunakan abu boiler cangkang kelapa sawit umur 7 hari.

Hal yang sama juga terjadi pada beton dengan umur 28 hari dimana, terjadi penurunan kuat tekan beton dengan penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit 10% sebesar 18,28%. Namun pada penambahan 15%-20% mengalami peningkatan kuat tekan 9,50%-3,16% dan kembali mengalami penurunan kuat tekan saat penambahan abu boiler 25% sebesar 32,56%. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.6 di bawah.

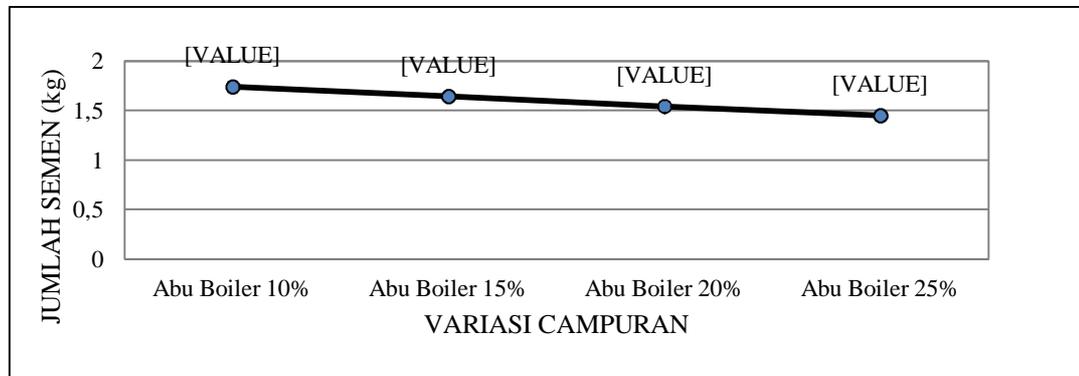


Gambar 4.6: Persentase perbandingan nilai kuat beton normal dengan beton yang menggunakan abu boiler cangkang kelapa sawit umur 28 hari.

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan mengenai persentase perbandingan antara beton normal dan beton dengan *filler*, dapat di ambil kesimpulan bahwa beton dengan campuran abu boiler cangkang kelapa sawit mengalami kenaikan kuat tekan optimum sebesar 9,50% pada umur 28 hari dan 2,88% pada umur 7 hari. Adapun persentase optimal pada penambahan campuran abu boiler cangkang kelapa sawit untuk umur beton 28 hari adalah pada penambahan 15% dan untuk umur beton 7 hari adalah pada penambahan 20%. Peningkatan kuat tekan juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Jurianto (2014), dimana disimpulkan bahwa kenaikan kuat tekan terjadi akibat dari fungsi boiler sebagai pozzolan yang mengandung senyawa silika oksida ( $\text{SiO}_2$ ) aktif, alumunium, dan Ferrum Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang bereaksi bebas secara kimiawi sehingga terjadi pengikatan dengan bahan kapur atau kalsium hidroksida ( $\text{CaOH}_2$ ) yang dilepaskan oleh semen, dan air akan membentuk kalium silikat hidrat selama proses hidrasi terjadi. Kalium silikat hidrat ini berfungsi sebagai bahan pengikat campuran beton.

Pengaruh penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai *filler* pada semen untuk campuran beton terdapat pada berkurangnya jumlah semen yang dipakai dalam proses pembuatan beton karena adanya bahan tambah berupa abu

boiler cangkang kelapa sawit. Hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan jumlah semen disetiap variasi campurannya seperti yang terlihat pada Gambar 4.10 di bawah ini.



Gambar 4.7: Penurunan jumlah semen pada setiap variasi bahan tambah

Dari Gambar 4.7, kita dapat melihat bahwa semakin tinggi persentase penambahan abu boiler maka semakin berkurang jumlah semen yang dipakai dalam proses pembuatan benda uji.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil Pengujian dan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Berdasarkan data dari kuat tekan yang dihasilkan bahwa beton dengan *filler* abu boiler cangkang kelapa sawit dengan persentase penambahan 10% didapat kuat tekan rata-rata untuk 7 hari sebesar 38,94 MPa dan 26,33 MPa pada umur beton 28 hari. Persentase penambahan 15% didapat kuat tekan rata-rata untuk 7 hari sebesar 41,7 MPa dan 35,28 MPa pada umur beton 28 hari. Persentase penambahan 20% didapat kuat tekan rata-rata untuk 7 hari sebesar 42,09 MPa dan 33,24 MPa pada umur beton 28 hari. Serta persentase penambahan 25% didapat kuat tekan rata-rata untuk 7 hari sebesar 33,43 MPa dan 21,73 MPa pada umur beton 28 hari.
2. Berdasarkan data dari kuat tekan beton yang di dapat, bahwa beton dengan bahan tambah abu boiler cangkang kelapa sawit mengalami kenaikan kuat tekan maksimum sebesar 42,09 Mpa atau sebesar 2,88% dari kuat tekan beton normal yaitu 40,91 Mpa untuk umur beton 7 hari pada persentase penambahan abu boiler 20%. Untuk umur beton 28 hari kuat tekan maksimum sebesar 35,28 Mpa atau sebesar 9,50% dari kuat tekan beton normal sebesar 32,33 Mpa pada persentase penambahan abu boiler 15%.
3. Berdasarkan data yang diperoleh pengaruh penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai *filler* pada semen untuk campuran beton terdapat pada berkurangnya jumlah semen yang dipakai dalam proses pembuatan beton karena adanya bahan tambah berupa abu boiler cangkang kelapa sawit. Hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan jumlah semen disetiap variasi campurannya semen.

## 5.2. Saran

1. Penggunaan abu boiler cangkang kelapa sawit sebagai *filler* pada beton disarankan karena dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton.
2. Untuk penelitian berikutnya persentase penambahan campuran diharapkan lebih *detail* agar kita dapat mengetahui persentase peningkatan yang lebih spesifik.
3. Perlu dilakukan pengujian lanjutan untuk pengujian kuat tarik dan lentur akibat pengaruh penambahan abu boiler cangkang kelapa sawit dalam campuran beton.
4. Alat-alat yang digunakan untuk penelitian agar lebih diperhatikan kelengkapannya, sebaiknya alat dikalibrasi dan dilakukan perawatan sehingga dapat meningkatkan ketelitian dalam proses pengujian kuat tekan yang dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211, “*Guide for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)*”, American Concrete Institute, Detroit Michigan, 1993.
- American Society for Testing and Materials C 127, “*Standards test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate*”, ASTM, Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials C 128, “*Standards test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate*”, ASTM. Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials C 136, “*Standards test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*”, ASTM, Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials C 150, “*Standards Specification For Portland Cement*”, ASTM, Philadelphia, 1985.
- American Society for Testing and Materials C 29, “*Standards test for bulk density (unit weight) and voids in aggregate*”, ASTM, Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials C 33, “*Standards Specification For Agregates*”, ASTM, Philadelphia, 1986.
- American Society for Testing and Materials C 39, “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*”, ASTM. Philadelphia. 1993.
- Antono, A, “*Teknologi Beton*”, Universitas Atma Jaya. Yogyakarta. 1995.
- Antono, A, “*Bahan Konstruksi Teknik Sipil*”, Universitas Atma Jaya. Yogyakarta. 1995.
- Blissett, R.S., Smalley, N., Rowson, N.A, “*An investigation into six coal fly ashes from the United Kingdom and Poland to evaluate rare element content*”, Fuel 119, p. 236-239, 2014.

- Dinas Pekerjaan Umum, “*Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI-1971)*”, Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum. Indonesia, 1971.
- Dinas Pekerjaan Umum, “*Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat halus (SNI 1969:2008)*”, Pusjatan-Balitbang PU, Indonesia, 2008.
- Dinas Pekerjaan Umum, “*Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar (SNI 1969:2008)*”, Pusjatan-Balitbang PU, Indonesia, 2008.
- Dinas Pekerjaan Umum, “*Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles (SNI 2147:2008)*”, Pusjatan-Balitbang PU, Indonesia, 2008.
- Dinas Pekerjaan Umum, “*Cara Uji Slump Beton (SNI 1972:2008)*”, Pusjatan-Balitbang PU, Indonesia, 2008.
- Dinas Pekerjaan Umum, “*Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 Mm) (SNI 03-4142-1996)*”, Pusjatan-Balitbang PU, Indonesia, 1996.
- Dinas Pekerjaan Umum, “*Metode Pengujian Kadar Air Agregat (SNI 03-2834-1993)*”, Pusjatan-Balitbang PU, Indonesia, 1993.
- Dinas Pekerjaan Umum, “*Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SK SNI T-15-1990-03)*”, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Indonesia, 1990.
- Dinas Pekerjaan Umum, “*Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-1993)*”, Pusjatan-Balitbang PU, Indonesia, 1993.
- Dinas Pekerjaan Umum, “*Tata cara perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. (SNI 03-2847-2002)*”, Pusjatan-Balitbang PU, Indonesia, 2002.
- Douglas, R. W, “*A history of glass making*”, GT Foulis & Co Ltd, London, 1972.
- Edward G. Nawy, (alih bahasa : Bambang Suryoatmono), “*Beton Bertulang : Suatu Pendekatan Dasar*”, PT. Eresco, Bandung, 1990.
- Hildayati, Triwikantoro, Heny. F., dan Sudirman, “*Sintesis dan Karakteristik Bahan Komposit Karet Alam Silika*” Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2009.

- Jurianto, Gordon, “*Pengaruh Substitusi Sebagian Semen Dengan Abu Kerak Boiler Cangkang Kelapa Sawit dan Accelerator Terhadap Kuat Tekan Beton*”, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta, 2014.
- Kardiyono, Tjokrodimuljo, “*Teknologi Beton*”, Nafiri, Yogyakarta, 1996.
- L. J. Parrot, “*A Literature Review Winter, G. & Nilson, A. H, “Design of concrete structures*”, McGraw Hill Book Company Inc, New York, 1993.
- Mulia, “*Kesehatan Lingkungan*”, Graha Ilmu, Jakarta, 2005.
- Murdock, L. J. & Brook, K. M, (alih bahasa : Stepanus Hendarko), 1991, “*Bahan dan Praktek Beton*”, Erlangga, Jakarta, 1991
- Reza, Muhammad, Johanes Tarigan dan Rahmi Karolina, “*Pengaruh Limbah Abu Boiler dan Fly Ash Sebagai Bahan pengganti semen dalam Campuran Semen*”, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2014.
- Raina, V.K, “*Concrete for Contruction Facts & Practice*”, Tata McGraw Hill. New Delhi, 1989of *High Strength Concrete Properties, British Cement Association (BCA)*”, Wexham Springs, 1988.
- Tjokrodimuljo, K, “*Teknologi Beton*”, Biro, Yogyakarta, 2007.

LAMPIRAN:

Tabel L1: Satu set saringan agregat kasar.

NomorSaringa n	UkuranLubang		Keterangan
	mm	inchi	
-	76,20	3	Satu set saringan untuk agregat ukuran # 2 (diameter agregat antara ukuran 100 mm – 19 mm) Berat minimum contoh: 35 kg
-	63,50	2,5	
-	50,80	2	
-	37,50	1,5	
-	25,00	1	
-	50,80	2	Satu set saringan untuk agregat ukuran # 467 (diameter agregat antara ukuran 50 mm – 4,76 mm) Berat minimum contoh: 35 kg
-	37,50	1,5	
-	25,00	1	
-	19,10	$\frac{3}{4}$	
-	12,50	$\frac{1}{2}$	
-	9,50	$\frac{3}{8}$	
-	4,76	-	
-	25,00	1	Satu set saringan untuk agregat ukuran # 67 (diameter agregat antara ukuran 25 mm – 2,38 mm) Berat minimum contoh: 10 kg
-	19,10	$\frac{3}{4}$	
-	12,50	$\frac{1}{2}$	
-	9,50	$\frac{3}{8}$	
No. 4	4,76	-	
No. 8	2,38	-	
-	12,50	$\frac{1}{2}$	Satu set saringan untuk agregat ukuran # 8 (diameter agregat antara ukuran 100 mm – 19 mm) Berat minimum contoh: 2,5 kg
-	9,50	$\frac{3}{8}$	
No.4	4,76	-	
No.8	2,38	-	
No.16	1,19	-	

Tabel L2: Satu set saringan agregat halus.

Nomorsaringan	Ukuran		Keterangan
	mm	inchi	
-	9,50	3/8	Satu set saringan untuk agregat halus (pasir) Berat minimum:500 gram
No.4	4,76	-	
No.8	2,38	-	
No.16	1,19	-	
No.30	0,59	-	
No.50	0,297	-	
No.100	0,149	-	
No.200	0,075	-	

Tabel L3: Perbandingan kekuatan beton pada berbagai umur (hari).

Umur Beton	Faktor	Umur Beton	Faktor
3	0,400	23	0,964
4	0,463	24	0,971
5	0,525	25	0,979
6	0,588	26	0,986
7	0,650	27	0,993
8	0,683	28	1,000
9	0,718	35	1,023
10	0,749	36	1,026
11	0,781	45	1,055
12	0,814	46	1,058
13	0,847	50	1,071
14	0,880	51	1,074
15	0,890	55	1,087
16	0,900	56	1,090
17	0,910	65	1,119
18	0,920	66	1,123

Tabel L3: *lanjutan.*

19	0,930	90	1.200
20	0,940	350	1,342
21	0,950	360	1,347
22	0,957	365	1,350

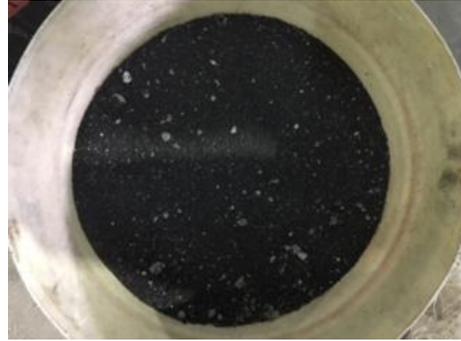
Tabel L4: Perbandingan kekuatan beton pada beberapa benda uji.

Benda Uji	Perbandingan Kekuatan Tekan Beton
Kubus 15 x 15 x 15 cm	1,00
Kubus 20 x 20 x 20 cm	0,95
Silinder $\varnothing$ 15 x 30 cm	0,83

LAMPIRAN  
DOKUMENTASI PADA SAAT PENELITIAN BERLANGSUNG DI  
LABORATORIUM BETON PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA



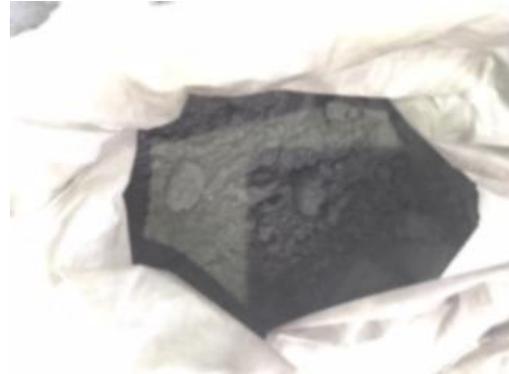
Gambar L.1. Material agregat halus dan kasar yang digunakan.



Gambar L.3. Abu boiler cangkang kelapa sawit



Gambar L.2. Semen Padang Tipe 1  
PPC.



Gambar L.4. Abu boiler cangkang kelapa sawit lolos saringan no.200



Gambar L.5. Pengujian *slump*

Gambar L.7. Benda uji untuk umur rencana 28 hari



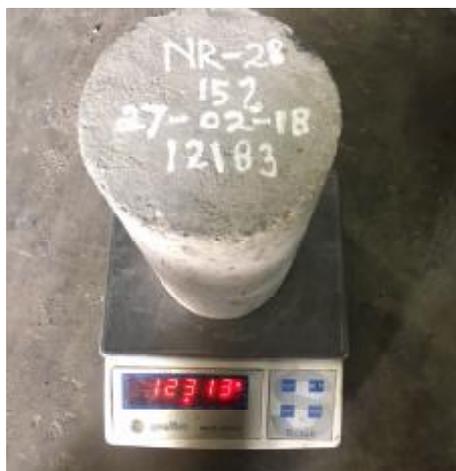
Gambar L.8. Proses penjemuran benda uji.



Gambar L.6. Benda uji untuk umur rencana 7 hari



Gambar L.9. Pengujian kuat tekan



Gambar L.9. Beban tekan untuk salah satu benda uji berumur 28 hari



Gambar L.9. Beban tekan untuk salah satu benda uji berumur 7 hari



# LAMPIRAN

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Nirma Rahmadia  
Panggilan : Nirma  
Tempat, Tanggal Lahir : Rantau Panjang, 11 Februari 1996  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Alamat : Bukit Satu, Securai Utara, P. Berandan  
  
Agama : Islam  
Nama Orang Tua  
Ayah : Sukariadi  
Ibu : Suniarti  
No. HP : 081231892480  
E-mail : [rahmadialqih@gmail.com](mailto:rahmadialqih@gmail.com)

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1407210176  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	Sekolah Dasar	SD TARUNA ANDALAN, PKL. KERINCI	2008
2	SMP	SMP DHARMA PATRA, P. BERANDAN	2011
3	SMA	SMAN 1 BABALAN, P. BERANDAN	2014
4	Melanjutkan Kuliah Di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2014 sampai selesai.		