

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI *FLY ASH* TERHADAP  
BETON NORMAL**

(Penelitian Menggunakan Substitusi 20% Kerak Boiler Sebagai Agregat Halus)

Satu Tugas Akhir  
Untuk Memenuhi Sebagian dari Syarat-syarat  
Yang Diperlukan untuk Memperoleh  
Ijazah Sarjana Teknik

**Disusun Oleh :**

**RISKY FEBRIANTO**

**NIM : 1605903020043**  
**Bidang : Struktur**  
**Jurusan : Teknik Sipil**



**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TEUKU UMAR  
ALUE PEUNYARENG – MEULABOH  
2021**

## **PENGESAHAN**

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI FLY ASH TERHADAP BETON NORMAL**  
(Penelitian Menggunakan Substitusi 20% Kerak Boiler Sebagai Agregat Halus)

Disusun Oleh :

Nama : Risky Febrianto  
Nim : 1605903020043  
Bidang Studi : Struktur  
Jurusan : Teknik Sipil

Alue Peunyareng, 07 Januari 2021

**Disetujui oleh :**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**LISSA OPIRINA, S.T., M.T**  
NIDN. 0005107904

**AZWANDA, S.T., M.Eng**  
NIDN. 0007048006

**Diketahui / Disahkan Oleh :**

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Teuku Umar

Ketua Jurusan  
Teknik Sipil FT-UTU

**Dr. Ir. M. ISYA, M.T**  
NIP. 19620411 1989031002

**LISSA OPIRINA, S.T., M.T**  
NIDN. 0005107904

## **PENGESAHAN**

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI FLY ASH TERHADAP BETON NORMAL**  
(Penelitian Menggunakan Substitusi 20% Kerak Boiler Sebagai Agregat Halus)

Disusun Oleh :

Nama : Risky Febrianto  
Nim : 1605903020043  
Bidang Studi : Struktur  
Jurusan : Teknik Sipil

Alue Peunyareng, 07 Januari 2021

**Dibahas oleh :**

**Pembahas I**

**Pembahas II**

**ANDI YUSRA, S.T.,M.T**  
NIDN. 0123117302

**M. ARRIE RAFSHANJANI AMIN, S.T., MT**  
NIDN. 0027108902

**Diketahui / Disahkan Oleh :**

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Teuku Umar

Ketua Jurusan  
Teknik Sipil FT-UTU

**Dr. Ir. M. ISYA, M.T**  
NIP. 196204111989031002

**LISSA OPIRINA, S.T., M.T**  
NIDN. 0005107904

## PRAKATA

Alhamdulillah, segala bentuk puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Variasi Komposisi Fly Ash Terhadap Beton Normal (Penelitian Menggunakan Substitusi 20% Kerak Boiler Sebagai Agregat Halus)”. Shalawat beserta salam semoga selalu tercurah kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah berjaya membawa umat dari zaman Jahiliyah kepada zaman Islamiyah.

Laporan Tugas Akhir ini dibuat dalam rangka penyelesaian Tugas Akhir Program Studi (SI) Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan, sehingga membutuhkan bantuan dari berbagai pihak agar skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan benar. Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada Ibu Lissa Opirina, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I yang selalu sabar dalam membimbing dan memberi arahan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih yang tidak terhingga juga penulis ucapkan kepada Bapak Azwanda, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan masukan kepada penulis dalam perbaikan Tugas Akhir ini.

Selanjutnya, pada kesempatan ini penulis juga sampaikan terimakasih banyak kepada :

1. Bapak Dr. Ir. M. Isya, M.T sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar.
2. Ibu lissa Opirina, S.T.,M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil sekaligus selaku dosen pembimbing I yang selalu sabar dalam membimbing dan memberi arahan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Azwanda, S.T.,M.Eng selaku dosen pembimbing II yang selalu sabar dalam membimbing dan memberi arahan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

4. Bapak Andi Yusra, S.T.,M.T selaku dosen pembahas I yang telah memberikan masukan kepada penulis guna penyempurnaan penelitian dan untuk semua arahan serta saran yang telah diberikan.
5. Bapak M. Arrie Rafshanjani Amin, S.T., M.T selaku dosen pembahas II yang juga telah memberikan arahan, motivasi dan saran yang bersifat membangun bagi penulis.
6. Dosen-dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar yang telah memberikan pelajaran saat di bangku perkuliahan.
7. Pimpinan dan Staf Tata Usaha Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar yang telah membantu penulis dalam melancarkan surat-menyurat.
8. Kepada teman-teman yang telah membantu memberikan motivasi dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian penelitian ini, Nadia Souraya, Yuda Alfiyanto, Eki Saputra, Arivandi, Ryan Novebri, Muhammad Fitrah, Risky Abdullah Saidi, Dimas Fachrul Rozaq, T. Ardiansyah dan kawan-kawan lainnya.
9. Keluarga tercinta, khususnya untuk Ibunda Arwayda dan Alm. Ayahanda Muchtar yang disetiap langkah penulis selalu diiringi oleh doa-doa dari beliau. Besarnya perjuangan dan ketulusan mereka tidak dapat penulis balas, melainkan dengan berbakti kepadanya dan semoga Allah memberikan kesehatan serta keselamatan kepada mereka.

Pada akhirnya penulis berserah diri, semoga apa yang dilakukan ini mendapat ridho-Nya dan berharap semoga karya ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis pribadi, bagi pihak Jurusan Teknik Sipil, bagi pihak Universitas Teuku Umar, dan umumnya bagi para pembaca.

Penulis, 07 Januari 2021

**RISKY FEBRIANTO**  
**NIM : 1605903020043**

## **PENGARUH VARIASI KOMPOSISI *FLY ASH* TERHADAP BETON NORMAL**

(Penelitian Menggunakan Substitusi 20% Kerak Boiler Sebagai Agregat Halus)

Oleh :

**RISKY FEBRIANTO**

**NIM : 1605903020043**

Dosen pembimbing :

1. Lissa Opirina, ST.,MT
2. Azwanda, ST.,M.Eng

### **ABSTRAK**

Penggunaan Beton sudah tidak asing lagi dan banyak dipakai sebagai bahan bangunan. Beton dapat dibedakan menjadi beberapa macam yaitu beton geopolimer, beton mutu tinggi, beton bertulang, beton pra-tegang dan beton serat. *Fly ash* adalah material yang berasal dari sisa pembakaran batubara yang tidak terpakai. Memanfaatkan *fly ash* dapat berpengaruh baik terhadap lingkungan karena dapat mengurangi penumpukan limbah abu terbang yang apabila abu tersebut tidak dimanfaatkan akan berpengaruh buruk terhadap lingkungan. Beton geopolimer merupakan material ramah lingkungan yang biasa dikembangkan sebagai alternatif pengganti beton semen di masa mendatang. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh perbandingan agregat halus (pasir : kerak boiler) dan perbandingan bahan pengikat (*fly ash* batubara : semen) terhadap campuran beton normal. Rancangan campuran beton normal diperkirakan kekuatan tekan rencana 20 MPa, benda uji silinder Ø15 x 30 cm dengan menggunakan FAS 0,69. Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil dengan diameter agregat maksimum 19 mm dan penambahan pasir : kerak boiler adalah 80% : 20%. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 28 hari. Beton diberikan beban arah vertikal dan silinder diletakan secara vertikal lalu diberikan beban konstan hingga benda uji hancur. Total jumlah benda uji yaitu 63 buah berbentuk silinder (Ø15 cm, T= 30 cm). Hasil kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 dengan variasi *fly ash* batubara 0%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% yaitu 23,51 MPa, 4,21 MPa, 3,27 MPa, 2,71 MPa, 2,64 MPa, 0,57 MPa dan 0,57. Hasil tekan optimum rata-rata beton dengan penambahan *fly ash* 60% batubara umur 28 hari yaitu 4,21 MPa. Kuat tekan beton penggunaan *fly ash* umur 28 hari mengalami penurunan dibandingkan dengan kuat tekan beton tanpa *fly ash* 0% disebabkan semakin banyak penggunaan *fly ash* dapat menurunnya kuat tekan beton dan tidak sesuai kuat tekan rencana ( $f'c$ ) 20 MPa.

Kata kunci : beton normal, beton geopolimer, *fly ash* batubara, kerak boiler

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b>	
<b>PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Hasil Penelitian .....	4
<b>BAB II    TINJAUAN KEPUSTAKAAN</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Fly Ash</i> Batubara .....	5
2.1.1 Sifat fisika <i>fly ash</i> .....	5
2.1.2 Sifat kimia <i>fly ash</i> .....	6
2.2 Kerak Boiler .....	7
2.3 Beton Normal .....	7
2.4 Bahan Campuran Beton .....	8
2.4.1 Agregrat.....	8
2.4.2 Semen <i>portland</i> .....	9
2.4.3 Air .....	10
2.5 <i>Slump Test</i> .....	11
2.6 Kuat Tekan Beton.....	12
2.7 Penelitian Relavan.....	12

<b>BAB III</b>	<b>METODELOGI PENELITIAN</b> .....	16
3.1	Lokasi Penelitian.....	16
3.2	Persiapan dan Pengadaan Bahan.....	17
3.3	Peralatan yang Digunakan .....	18
3.4	Benda Uji .....	18
3.4.1	Pembuatan dan pematangan benda uji.....	19
3.4.2	Persiapan pengujian .....	20
3.4.3	Cara pengujian .....	20
3.5	Prosedur Penelitian .....	21
3.5.1	Pemeriksaan sifat fisis agregrat .....	21
3.5.2	Perencanaan campuran ( <i>mix design</i> ).....	21
3.5.3	Pengerjaan campuran beton .....	21
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	24
4.1	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregrat .....	24
4.1.1	Berat volume ( <i>bulk density</i> ).....	24
4.1.2	Berat jenis dan absorpsi ( <i>specific gravity and absorption</i> )	25
4.1.3	Susunan butiran agregrat (gradasi) .....	27
4.2	Perencanaan Campuran ( <i>Mix Design</i> ) .....	27
4.3	Hasil Pengujian <i>Slump</i> .....	28
4.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan .....	29
4.5	Pembahasan .....	33
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	37
5.1	Kesimpulan .....	37
5.2	Saran .....	38
	<b>DAFTAR KEPUSTAKAAN</b> .....	39
	<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Partikel <i>Fly Ash</i> .....	6
Gambar 3.1 Lab Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar.	16
Gambar 3.2 Benda Uji Silinder .....	19
Gambar 3.3 Skema Pengujian Kuat Tekan Beton (silinder).....	20
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian <i>Slump</i> .....	29
Gambar 4.2 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Normal (28 Hari) .....	32

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi kimia <i>fly ash</i> .....	6
Tabel 3.1	Jumlah Rancangan Benda Uji.....	22
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Perhitungan Berat Volume.....	24
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Berat Jenis Agregat.....	25
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Absorpsi Agregat.....	26
Tabel 4.4	Nilai <i>Fineness Modulus</i> (FM) Agregat.....	27
Tabel 4.5	Rancangan Campuran untuk 1 m <sup>3</sup> Beton.....	28
Tabel 4.6	Perhitungan kuat tekan beton normal Umur 28 Hari.....	30
Tabel 4.7	Persentase Penurunan Berat Rata-Rata Pada Umur 28 Hari.....	34
Tabel 4.8	Persentase Penurunan Kuat Tekan Rata-Rata Pada Umur 28 Hari	35

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A		
Lampiran A.3.1	Bagan Alir Penelitian .....	41
Lampiran A.3.2	Proses Persiapan Bahan dan Material.....	43
Lampiran A.3.3	Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat.....	46
Lampiran A.3.4	Proses Pembuatan Benda Uji Beton .....	47
Lampiran A.3.5	Pengujian Beton Segar.....	48
Lampiran A.4.1	Proses Perawatan Benda Uji Beton .....	59
Lampiran A.4.2	Pengujian Kuat Tekan Beton .....	50
Lampiran B		
Lampiran B.4.1	Perhitungan Berat Volume Agregat ( <i>Bulk Density</i> ) .....	51
Lampiran B.4.2	Perhitungan Berat Jenis Agregat ( <i>Specific Gravity</i> ).....	52
Lampiran B.4.3	Perhitungan Berat Jenis Agregat ( <i>Specific Gravity</i> ).....	53
Lampiran B.4.4	Perhitungan <i>sieve analisa</i> .....	54
Lampiran B.4.5	Perhitungan <i>Fineness Modulus</i> .....	55
Lampiran B.4.6	Tabel Kutipan American Concrete Institute .....	56
Lampiran C		
Lampiran C.4.1	Perhitungan <i>Mix Design</i> Beton Normal.....	59
Lampiran C.4.2	Perhitungan Kuat Tekan Beton.....	63

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beton sudah tidak asing lagi dan banyak dipakai sebagai bahan bangunan, bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen *portland*, air dan agregat (dan kadang-kadang dalam kondisi tertentu campuran beton dapat ditambahkan bahan tambah) pada perbandingan tertentu. Campuran tersebut yang jika dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan.

Beton juga digunakan sebagai bahan baku konstruksi seperti rumah tinggal, gedung, apartemen, jalan raya, jembatan, *fly over*, bendungan dan perapihan tepi sungai. Berdasarkan fungsi dan kegunaannya, jenis beton dapat dibedakan menjadi beberapa macam yaitu beton geopolimer, beton mutu tinggi, beton mortar, beton ringan, beton non-pasir, beton hampa, beton bertulang, beton pra-tegang, beton pra-cetak, beton massa, beton siklop, dan beton serat.

*Fly ash* adalah material yang berasal dari sisa pembakaran batubara yang tidak terpakai (Nugraha dan Antoni, 2007). Dengan memanfaatkan *fly ash* dapat berpengaruh baik terhadap lingkungan karena dapat mengurangi penumpukan limbah abu terbang yang apabila abu tersebut tidak dimanfaatkan akan berpengaruh buruk terhadap lingkungan, sehingga salah satu alternatif yang dapat dilakukan dari pemanfaatan abu *fly ash* yaitu dengan menjadikan campuran pada beton dengan teknologi *High Volume Fly Ash*.

Saat ini di Kabupaten Nagan Raya *fly ash* adalah produk sampingan sebagai limbah dari PLTU Nagan Raya yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar untuk pembangkit tenaga listrik, berupa butiran halus ringan, bundar, serta bersifat pozzolanik. Penambahan *fly ash* pada campuran beton bersifat pozzolan, sehingga bisa menjadi bahan tambah mineral yang baik untuk beton. Pozzolan adalah bahan yang mengandung silika dan alumunium yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada temperatur biasa membentuk

senyawa bersifat mengikat. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui variasi komposisi campuran beton mutu normal yang menggunakan material bahan tambahan *fly ash*.

Sedangkan menurut Muhammad R (2012) kerak boiler adalah 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 (SiO<sub>2</sub>) yang potensial untuk dimanfaatkan. Pembakaran cangkang dan serat buah menghasilkan kerak yang keras berwarna putih keabuan akibat pembakaran dengan suhu tinggi dengan kandungan silika 61%. Tingginya kandungan silika membuat abu kerak boiler ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan dalam campuran beton.

Kerak boiler juga tersebar luas di pulau Sumatera salah satunya di Kabupaten Aceh Barat. Besarnya angka produksi tersebut tentu saja limbah yang dihasilkan juga banyak baik berupa limbah padat atau limbah cair. Limbah padat itu berupa tandan buah segar dan cangkang kelapa sawit. Saat ini limbah padat berupa cangkang kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk mesin penggilingan minyak sawit. Namun proses pembakaran menyisakan abu cangkang yang dibuang di dekat pabrik dan mengakibatkan penumpukan.

Beton geopolimer merupakan material ramah lingkungan yang biasa dikembangkan sebagai alternatif pengganti beton semen di masa mendatang. Sebagai terobosan baru, kini berhasil ditemukan jenis material beton baru yang konon lebih ramah lingkungan. Karena, material ini tersusun dari sintesa bahan-bahan alam non organik melalui proses polimerisasi. Bahan dasar utama pembuatan beton geopolimer, adalah bahan yang banyak mengandung silikon dan alumunium. Unsur-unsur ini, diantaranya banyak terdapat pada material buangan hasil sampingan industri, seperti *fly ash* sisa pembakaran batubara dan kerak boiler.

Pada penelitian ini direncanakan menggunakan bahan pengikat (*fly ash* : semen) dan agregrat halus (pasir : kerak boiler). Hal ini dilakukan sebagai salah satu cara menanggulangi dampak penggunaan semen yang berlebihan. Pemakaian

*fly ash* sebagai alternatif pengganti semen menjadi solusi yang tepat untuk pengembangan beton yang ramah terhadap lingkungan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang di atas, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh perbandingan agregat halus (pasir : kerak boiler) dan perbandingan bahan pengikat (*fly ash* batubara : semen) terhadap campuran beton normal?
2. Berapa perbandingan optimum bahan pengikat yang berpengaruh terhadap kuat tekan beton normal?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka yang menjadi tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh perbandingan agregat halus (pasir : kerak boiler) dan perbandingan bahan pengikat (*fly ash* batubara : semen) terhadap beton normal;
2. Untuk mengetahui berapa perbandingan optimum bahan pengikat yang berpengaruh terhadap kuat tekan beton normal.

## **1.4 Batasan Penelitian**

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari tujuannya, maka diberi batasan masalah sebagai berikut :

1. Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, untuk pengujian kuat tekan beton;
2. Mutu beton rencana ( $f'c$ ) adalah 20 MPa;

3. Faktor Air Semen (FAS) rencana adalah 0,69;
4. Variasi *fly ash* batubara : semen adalah 60% : 40%, 65% : 35%, 70% : 30%, 75% : 25%, 80% : 20% dan 90% : 10% dengan sembilan sampel tiap benda uji;
5. Variasi pasir : kerak boiler adalah 80% : 20% dengan sembilan sampel tiap benda uji;
6. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 28 hari.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dalam penelitian ini antara lain :

1. Dapat diaplikasikan di lapangan untuk penggunaan beton geopolimer;
2. Dapat menambah wawasan bagi masyarakat luas tentang penggunaan *fly ash* yang lebih produktif.

### **1.6 Hasil Penelitian**

Penggunaan 0% *fly ash* pada beton normal umur 28 hari diperoleh berat benda uji rata-rata adalah 12,943 kg. Kemudian penggunaan 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% *fly ash* pada umur 28 hari diperoleh berat benda uji rata-rata adalah 12,193 kg, 12,078 kg, 12,010 kg, 11,860 kg, 11,860 dan 11,831 kg. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton normal tanpa penggunaan *fly ash* 0% dengan penggunaan *fly ash* 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% pada umur 28 hari masing-masing adalah 23,51 MPa, 4,21 MPa, 3,27 MPa, 2,71 MPa, 2,64 MPa, 0,57 MPa dan 0,57 MPa. Pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari belum mencapai dari yang direncanakan, nilai kuat tekan beton menunjukkan semakin banyak pemakaian *fly ash* nilai kuat tekan semakin menurun.

## BAB II

### TINJAUAN KEPUSTAKAAN

#### 2.1 *Fly Ash* Batubara

*Fly ash* batubara merupakan produk sisa dari pembakaran batubara yang dipisahkan dari saluran pembuangan gas batubara pada suatu *power plant* menggunakan *precipitator*. *Fly ash* dapat menyebabkan polusi jika dibiarkan menumpuk begitu saja. Berdasarkan hasil penelitian, ternyata *fly ash* dapat dimanfaatkan diberbagai bidang, salah satunya sebagai material penguat. *Fly ash* digolongkan menjadi dua macam menurut jenis batubara yang digunakan, yaitu tipe C dan F. Abu terbang tipe C berasal dari hasil pembakaran batubara jenis lignite atau sub-bituminous sedangkan abu terbang tipe F dihasilkan dari anthracite atau bituminous. Menurut (ASTM C618-86).

##### 2.1.1 Sifat fisika *fly ash*

Untuk mendapatkan manfaat dari *fly ash*, terlebih dahulu kita harus mengetahui karakteristik atau sifat-sifat yang terkandung di dalamnya. Karakteristik *fly ash* meliputi :

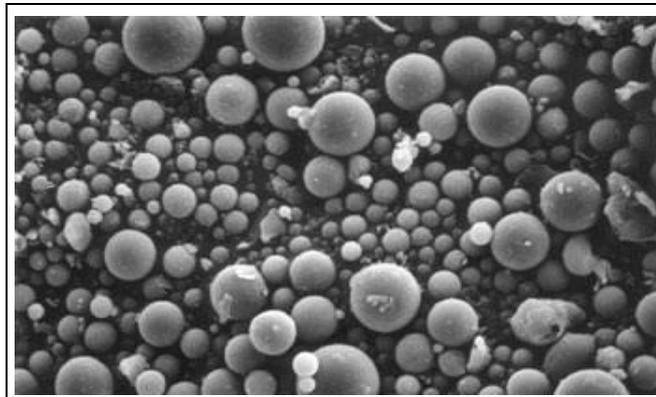
###### a. *Particle Morfology*

Bentuk partikel dan sifat permukaan berbagai macam *fly ash* diamati dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Penggambaran SEM menunjukkan bahwa partikel *fly ash* tampak lebih berat dan terang dibandingkan dengan partikel carbon yang juga banyak terdapat dalam *fly ash*. Semakin kecil partikel *fly ash* maka bentuknya semakin bulat (*spherical*) dibandingkan dengan partikel yang besar. Dapat dilihat pada Gambar 2.1

###### b. Warna

*Fly ash* tipe C berwarna lebih terang (putih) bila dibandingkan tipe F yang lebih gelap (abu-abu). Hal ini dikarenakan jumlah karbon yang tidak terbakar di dalam *fly ash* tipe C lebih banyak dari pada tipe F. Tabel 2.1

menunjukkan komponen kimia yang terkandung dalam *fly ash* dari berbagai macam batubara yang ada.



Gambar 2.1 Partikel *fly ash*  
Sumber : Shinkolobwe, 2009

Tabel 2.1. Komposisi kimia *fly ash*

Komponen	Bituminous	Sub-bituminous	Lignite
SiO <sub>2</sub>	20-60%	40-60%	15-45%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-35%	20-30%	10-25%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-40%	4-10%	4-15%
CaO	1-12%	5-30%	15-40%
MgO	0-5%	1-6%	3-10%
SO <sub>3</sub>	0-4%	0-2%	0-10%
Na <sub>2</sub> O	0-4%	0-2%	0-6%
K <sub>2</sub> O	0-3%	0-4%	0-4%
LOI	0-15%	0-3%	0-5%

Sumber: Ahmaruzzaman, 2010

### 2.1.2 Sifat kimia *fly ash*

Sifat kimia *fly ash* sangat dipengaruhi oleh jenis batubara yang digunakan. Menunjukkan komponen kimia yang terkandung dalam *fly ash* dari berbagai macam batubara yang ada bahwa *fly ash* yang berasal dari batubara jenis sub-bituminous dan lignite (*fly ash* tipe C) mempunyai kandungan alumina, *calcium oxidedan magnesium oxide* lebih banyak bila dibandingkan dengan *fly ash* yang berasal dari jenis bituminous (*fly ash* tipe F). Sedangkan *fly ash* tipe F memiliki kandungan silicadan iron oxide yang lebih banyak dibandingkan tipe C. Untuk

nilai LOI (Loss on ignition), *fly ash* tipe C memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan tipe F. LOI merupakan nilai besarnya jumlah karbon yang tidak terbakar di dalam *fly ash*.

## 2.2 Kerak Boiler

Menurut Epi Prianti dkk (2015) abu kerak boiler cangkang kelapa sawit memiliki unsur kimia SiO<sub>2</sub> sebanyak 29,9%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebanyak 1,9% dan CaO 26,9%. Dengan kandungan senyawa tersebut maka abu kerak boiler cangkang kelapa sawit dapat dikatakan memiliki sifat pozzolan memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengisi pada pembuatan beton normal. Sebab senyawa silika dalam pembuatan beton dapat berpengaruh dalam kekuatan beton dan mampu meningkatkan kekuatannya. Dalam penelitian ini akan mengkaji tentang pemanfaatan abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengisi pada campuran beton normal.

## 2.3 Beton Normal

Berdasarkan SNI 03-2834-2002, beton normal adalah adalah beton yang mempunyai berat isi (2200 – 2500 kg/m<sup>3</sup>) menggunakan agregat alam yang dipecah. Beton normal harus menggunakan bahan agregat normal dan tanpa bahan tambah. Kuat tekan beton normal yang disyaratkan  $f'c$  adalah kuat tekan yang ditetapkan oleh perencana struktur (berdasarkan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm), kuat tekan beton yang ditargetkan  $fcr$  adalah kuat tekan rata rata yang diharapkan dapat dicapai yang lebih besar dari  $f'c$ . Pemilihan proporsi campuran beton harus dilaksanakan sebagai berikut:

- a. Rencana campuran beton ditentukan berdasarkan hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen;
- b. Untuk beton dengan nilai  $f'c$  lebih dari 20 MPa proporsi campuran coba serta pelaksanaan produksinya harus didasarkan pada perbandingan berat bahan;
- c. Untuk beton dengan nilai  $f'c$  hingga 20 MPa pelaksanaan produksinya boleh menggunakan perbandingan volume. Perbandingan volume bahan ini harus

didasarkan pada perencanaan proporsi campuran dalam berat yang dikonversikan ke dalam volume melalui berat isi rata-rata antara gembur dan padat dari masing-masing bahan.

## **2.4 Bahan Campuran Beton**

Komponen-komponen pada campuran beton diantaranya yaitu agregat, semen *portland* dan air. Komponen ini dicampur dengan perbandingan yang bermacam-macam dan disesuaikan dengan mutu beton yang direncanakan. Mutu atau kekuatan beton ini maksudnya adalah kekuatan beton dalam menerima gaya tekan sampai beton mengalami pecah (*crash*).

### **2.4.1 Agregat**

Pada dasarnya beton tidak akan terbentuk tanpa adanya campuran agregat, disini membuktikan bahwa agregat memiliki peranan yang sangat penting dalam pembuatan beton. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi yaitu berkisar 60 – 70 % dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai bahan pengisi tetapi karena komposisinya yang cukup besar, maka peran agregat menjadi sangat penting. Hal tersebut, karena karakteristik dari agregat perlu dipelajari dengan baik, sebab agregat dapat menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan (Mulyono, 2004). Menurut Wuryati dan Candra (2001), penggunaan agregat dalam beton adalah untuk :

1. Menghemat penggunaan Semen *Portland*.
2. Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton.
3. Mengurangi susut pengerasan beton.
4. Mencapai susunan beton yang padat. Dengan gradasi yang baik, maka akan didapatkan beton yang padat.
5. Mengontrol *workability* beton. Dengan gradasi agregat yang baik (gradasi menerus) maka akan dihasilkan beton yang mudah dikerjakan.

Agregat dapat dibedakan berdasarkan besaran butirannya antara lain sebagai berikut :

1. Agregrat kasar berupa kerikil atau batu pecah yang diperoleh dari pecahan batu dan memiliki ukuran lebih dari 5 – 40 mm.
2. Agregrat halus berupa pasir yang diperoleh dari disintegrasi alami batu-batuan dan memiliki ukuran antara 0,15 – 5 mm.

Berdasarkan karakteristik agregat terhadap beton yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

- Karakteristik agregat halus yang perlu diperhatikan diantaranya (ASTM C33) :
  1. Syarat modulus halus butir (MHB) untuk beton menurut ASTM yaitu 2,20% - 3,10%.
  2. Syarat berat jenis (*specific gravity*) yaitu 1,60 - 3,2 kg/L.
  3. Syarat penyerapan (*absorbtion*) yaitu 0,2% - 2,0%.
  4. Kadar air yaitu 3% - 5%.
  5. Kadar lumpur agregat yaitu 0,2% - 6,0%..
- Karakteristik agregat kasar yang perlu diperhatikan diantaranya (ASTM C33) :
  1. Modulus halus butir atau MHB agregat kasar, dengan spesifikasi menurut ASTM yaitu 5,5% - 8,5%.
  2. Absorpsi dan berat jenis agregat kasar, spesifikasi agregat untuk beton normal menurut ASTM yaitu berat jenis 1,60 - 3,20 kg/L dan absorpsi 0,2-4,0%.
  3. Berat volume agregat kasar, spesifikasi berat volume agregat kasar menurut ASTM yaitu 1,6 - 1,9 kg/L.
  4. Kadar air agregat kasar 0,5% - 2,0%.

#### **2.4.2 Semen *portland***

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen sangat penting.

Berdasarkan SNI 2049-2016, semen *Portland* dibagi menjadi 5 (lima jenis) berdasarkan jenis dan penggunaannya, antara lain sebagai berikut ini :

1. Jenis I yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

#### **2.4.3 Air**

Kualitas air sangat mempengaruhi kekuatan beton. Kualitas air erat kaitannya dengan bahan-bahan yang terkandung dalam air tersebut. Air diusahakan agar tidak membuat rongga pada beton, tidak membuat retak pada beton dan tidak membuat korosi pada tulangan yang mengakibatkan beton menjadi rapuh. Menurut Antoni dan Nugraha (2007), banyak hal yang bisa berdampak karena pemakaian air, berikut uraiannya :

1. Air tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter karena dapat mengurangi daya lekat atau bisa juga mengembang (pada saat pengecoran karena bercampur dengan air) dan menyusut (pada saat beton mengeras karena air yang terserap lumpur menjadi berkurang).
2. Air tidak mengandung garam lebih dari 15 gram karena resiko terhadap korosi semakin besar.
3. Air tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter karena bisa menyebabkan korosi pada tulangan.
4. Air tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter karena dapat menurunkan mutu beton sehingga akan rapuh dan lemah.

5. Air tidak mengandung minyak lebih dari 2 % dari berat semen karena akan mengurangi kuat tekan beton sebesar 20 %.
6. Air tidak mengandung gula lebih dari 2 % dari berat semen karena akan mengurangi kuat tekan beton pada umur 28 hari.
7. Air tidak mengandung bahan organik seperti rumput/lumut yang terkadang terbawa air Karena akan mengakibatkan berkurangnya daya lekat dan menimbulkan rongga pada beton.

Sedangkan syarat air yang dapat digunakan dalam proses pencampuran beton menurut SNI 2847-2013 adalah sebagai berikut :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama dan hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

## **2.5 Slump Test**

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

- Homogenitas atau kerataan campuran adukan beton segar
- Kelekatan adukan pasta semen
- Kemampuan alir beton segar
- Kemampuan beton segar mempertahankan kerataan dan kelekatan jika dipindah dengan alat angkut
- Mengindikasikan apakah beton segar masih dalam kondisi plastis

Namun selain besaran nilai *slump*, yang harus diperhatikan untuk menjaga kelayakan pengerjaan beton segar adalah tampilan visual beton, jenis dan sifat keruntuhan pada saat pengujian slump dilakukan. *Slump* beton segar harus dilakukan sebelum beton dituangkan, untuk melihat apakah beton segar masih layak dipakai atau tidak. Pengukuran *slump* dilakukan dengan mengacu pada aturan SNI 1972:2008

## 2.6 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan suatu bahan adalah kemampuan bahan dalam menahan beban atau gaya tekan yang dikenakan per satuan luas. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat terhadap benda uji silinder beton sampai hancur. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi  $f'c$  pada saat regangan  $\pm 0,002$  yang dicapai benda uji umur 28 hari (Dipohusodo, 1994). Secara umum untuk perhitungan kuat tekan menggunakan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

dengan :

$f'c$  = kuat tekan (MPa)

P = besarnya gaya yang menekan (N)

A = luas penampang yang dikenai gaya (mm<sup>2</sup>)

## 2.7 Penelitian Relevan

Beberapa penelitian yang relevan dalam penelitian ini antara lain :

1. Penelitian dari Manuahe R dkk (2014) Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang (*Fly Ash*). Penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari beton geopolimer yang menggunakan bahan dasar *fly ash*, beserta trendnya untuk variasi waktu perawatannya : 4 jam, 8 jam, 12 jam dan 24 jam. Beton geopolimer dibuat tanpa menggunakan semen sebagai bahan pengikat, dan sebagai gantinya digunakan Abu Terbang (*Fly Ash*) yang kaya akan Silika dan Alumina dan dapat bereaksi dengan cairan alkalin untuk menghasilkan bahan pengikat (binder). Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton terhadap sejumlah benda uji berbentuk kubus 15x15x15 cm<sup>3</sup> dengan variasi curing time: 4 jam, 8 jam, 12 jam dan 24 jam menggunakan oven. Berdasarkan hasil penelitian dapat diperoleh grafik hubungan antara kuat tekan beton terhadap *curing time*. Trend menunjukkan bahwa semakin lama curing time maka semakin besar kuat tekan yang dihasilkan. Terlihat juga bahwa kuat tekan optimum dihasilkan pada curing time 24 jam.
2. Penelitian dari Umboh AH dkk (2014) Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) Dari Pltu II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui variasi komposisi campuran beton mutu normal yang menggunakan material bahan tambahan Abu terbang dengan konsentrasi Abu terbang yang tinggi, terhadap kuat tekan beton bila menggunakan Abu terbang yang berasal dari PLTU II Sulawesi Utara tersebut. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan beton mutu normal pada kondisi *High Volume Fly ash Concrete* akibat pengaruh penggantian sebagian semen terhadap abu terbang (*fly ash*). Berdasarkan hasil pengujian, penambahan persentase abu terbang (*fly ash*) sebesar 30%, 40%, 50%, 60%, 70% memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada presentase abu terbang (*fly ash*) 30% yaitu sebesar 24,18 MPa untuk umur beton 28 hari. Dan nilai kuat tekan terendah pada presentase abu terbang (*fly ash*) 70% yaitu sebesar 3,645 MPa untuk umur beton 7 hari.

3. Penelitian dari Rahman F dkk (2017) Pemanfaatan Hasil Pembakaran Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengganti Pasir Pada Pembuatan Beton Normal. Dari hasil penelitian mengenai pemanfaatan hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit sebagai pengganti pasir pada pembuatan beton normal dapat ditarik kesimpulan, kadar optimum abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit yang dapat digunakan sebagai pengganti pasir pada pencampuran beton adalah sebesar 15%. Perubahan nilai kuat tekan beton normal dan beton dengan campuran optimum pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 42 hari, dan 56 hari adalah semakin meningkat kuat tekannya seiring dengan semakin bertambahnya umur beton. Abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit sebesar 15% dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus (pasir) pada campuran beton dengan kuat tekan.
4. Penelitian dari Aer AA dkk (2014) Pengaruh Variasi Kadar *Superplasticizer* Terhadap Nilai *Slump* Beton Geopolimer. Analisis data dan pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan. Banyaknya pertambahan kadar *superplasticizer* yang diberikan berpengaruh terhadap sifat beton segar, yaitu *workability* dan diameter alir beton segar. Hal itu terlihat pada besarnya nilai *slump* dan *slump flow*. Untuk varian campuran beton geopolimer dengan penggunaan *superplasticizer* (0,2% sampai 2%) mencapai nilai *slump flow* dengan diameter alir sebesar  $\geq 50$  cm. Dengan demikian varian campuran beton geopolimer yang menggunakan *superplasticizer* dalam penelitian ini dapat dikategorikan sebagai *self compacting* geopolimer *concrete*. Berat volume rata-rata beton geopolimer bertambah seiring dengan pertambahan persentase *superplasticizer* sebanyak 0% - 1,5% yang berkisar antara 2033,58 kg/m<sup>3</sup> sampai 2109,63 kg/m<sup>3</sup>, akan tetapi pada persentase *superplasticizer* sebanyak 2% berat volume rata-rata beton geopolimer mengalami penurunan yaitu 2099,75 kg/m<sup>3</sup>. Pengaruh penambahan *superplasticizer* membuat nilai kuat tekan beton geopolimer menjadi tidak teratur. Penambahan *superplasticizer* 0,2%, 0,5% dan 1,5% mengalami

kenaikan kuat tekan, akan tetapi penambahan *superplasticizer* 1% dan 2% justru menyebabkan penurunan kuat tekan.

5. Penelitian dari Putra AK dkk (2014) Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*). Penelitian ini mendapatkan nilai kuat tarik beton geopolimer berbasis abu terbang (*fly ash*) dengan variasi *curing time* 4, 8, 12 dan 24 jam dengan pengujian tarik belah (*Splitting tensile strenght test*). Berdasarkan hasil penelitian ini maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan. Berdasarkan klasifikasi berat jenis beton, hasil pemeriksaan berat volume beton termasuk beton berbobot normal. Nilai kuat tarik belah pada beton geopolimer mengalami peningkatan seiring penambahan *curing time*, dimana Nilai Maksimum kuat tarik belah beton geopolimer berada pada variasi *curing time* selama 24 jam sebesar 1,685 MPa. Nilai Kuat tarik belah beton geopolimer yang dihasilkan dalam penelitian ini 6% dari kuat tekannya.
6. Penelitian dari Opirina L dkk Pemanfaatan Kerak Boiler Cangkang Sawit Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh penggunaan kerak boiler cangkang sawit sebagai substitusi agregat halus. Substitusi kerak boiler dibuat bervariasi, yaitu 10%, 20% dan 30% terhadap volume agregat halus dalam campuran beton. Faktor Air Semen (FAS) yang digunakan adalah 0,3 dengan material campuran penyusun beton Semen Portland tipe I, batu pecah (split) ukuran maksimum 12 mm, pasir, air, bahan tambahan *superplasticizer* dengan dengan penggunaan 1,5% dari berat semen serta kerak boiler cangkang sawit ukuran maksimum 4,76 mm. Sebagai pembanding akan dibuat benda uji beton normal tanpa substitusi agregat halus (0% kerak boiler cangkang sawit). Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dimulai dengan melakukan persiapan material, persiapan peralatan, pemeriksaan sifat fisis agregat, perencanaan campuran beton (*Mix Design*), pengerjaan campuran beton, pemeriksaan adukan beton, perawatan benda uji, pengujian benda uji. Untuk bagan alir penelitian dilampirkan pada Lampiran A.3.1 Halaman 41-42.

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Pada penelitian ini menggunakan *fly ash* batubara diperoleh dari daerah Suak Puntong, Kabupaten Nagan Raya dan kerak boiler diperoleh dari daerah Padang Sikabu, Kabupaten Aceh Barat. Tahapan pengerjaan terhadap perbandingan agregat halus (pasir : kerak boiler) dan perbandingan bahan pengikat (*fly ash* batubara : semen) dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar. Pengerjaan beton yang dimulai dari Persiapan dan pengadaan bahan, pemeriksaan sifat fisis agregat, perencanaan pencampuran beton, pengerjaan campuran beton, perawatan benda uji dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar dan lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Laboratorium Teknik Sipil Fakultas  
Teknik Universitas Teuku Umar  
Sumber : Google Earth, diakses 14 April 2020

### 3.2 Persiapan dan Pengadaan Bahan

*Fly ash* diperoleh dari salah satu lahan PLTU Nagan Raya di daerah Suak Puntong, Kabupaten Nagan Raya. Kemudian *fly ash* tersebut dijemur terlebih dahulu bertujuan untuk tidak terdapat gumpalan-gumpalan pada *fly ash* tersebut. Kemudian setelah itu dilakukan analisa saringan (*sieve analysis*) dengan lolos saringan 200 (0,075 mm). Kerak boiler diperoleh dari daerah Padang Sikabu, Kabupaten Aceh Barat. Kemudian kerak boiler tersebut dilakukan analisa saringan (*sieve analysis*) dengan lolos saringan 4,75 (4,750 mm) sebagai agregat halus. Material yang akan digunakan untuk membuat beton normal ialah material semen *portland*, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil) dan air. Kemudian, sebagai beton pembanding dibuat juga beton normal 20 MPa tanpa *fly ash* batubara dan kerak boiler. Pada penelitian ini tidak dilakukan uji sifat fisis dan kimia *fly ash* batubara. Sifat fisis dan kimia *fly ash* batubara menggunakan hasil ASTM C618-86.

Semen yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu Semen *Portland type I* produksi pabrik semen yang ada di Aceh. Pemeriksaan laboratorium terhadap semen ini tidak dilakukan karena telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2049-2004. Pemeriksaan hanya dilakukan secara visual terhadap kantong yang robek dan tidak terdapat gumpalan-gumpalan yang keras pada semen.

Agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) didapat dari Krueng Meureuebo Kecamatan Meureuebo Kabupaten Aceh Barat. Pemeriksaan terhadap agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) sebagai material pembentuk beton perlu dilakukan untuk mendapatkan mutu material yang baik (SNI 2002). Pemeriksaan ini dilakukan terhadap sifat-sifat agregat yang meliputi berat jenis (*specific gravity*), penyerapan (*absorbition*), berat volume (*bulk density*), analisa saringan (*sieve analysis*) dan Modulus Kehalusan (*finenes modulus*).

Air yang digunakan untuk campuran beton dan perawatannya berasal dari air bersih yang diperoleh dari Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Teuku Umar. Air yang ada di laboratorium ini sudah memenuhi standar air bersih layak pakai untuk campuran beton.

### **3.3 Peralatan yang Digunakan**

Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan sifat fisis material agregret ialah :

- Sekop
- Gelas ukur
- Pelat kaca
- Tongkat besi untuk pemadatan
- Satu set saringan
- Wadah
- Oven
- Timbangan berbagai kapasitas dan ketelitian
- Keranjang kawat

Peralatan yang digunakan untuk pengecoran dan pemeriksaan adukan beton adalah :

- Mesin pengaduk beton (*concrete mixer*) berkapasitas 90 liter.
- Peralatan pengukuran *testslump* (kerucut Abram's).
- Pengukuran kadar udara dan berat volume (*air meter*).
- Palu karet.
- Cetakan silinder

Peralatan yang digunakan untuk pengujian kuat tarik adalah mesin pembebanan merk ton industri (*comp strength tester*) dengan kapasitas 100 ton.

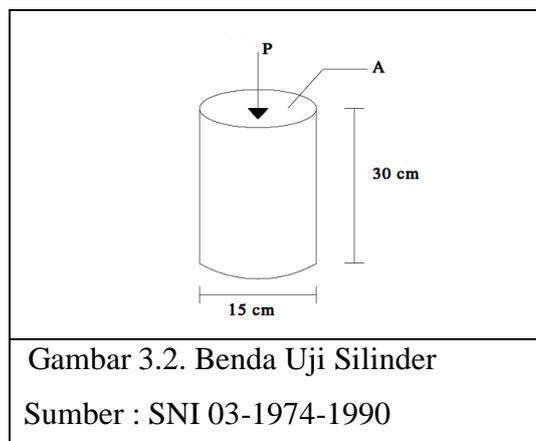
### **3.4 Benda Uji**

Mendapatkan benda uji maka perlu mengikuti beberapa tahapan yang ada dibawah ini:

### 3.4.1 Pembuatan dan pematangan benda uji

Melaksanakan pembuatan dan pematangan terhadap benda uji dapat diikuti beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Benda uji dibuat dari beton segar yang mewakili campuran beton;
2. Cetakan diisi dengan adukan beton dalam 3 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata, pada saat melakukan pemadatan lapisan pertama, tongkat pemadat tidak boleh mengenai dasar cetakan, pada saat pemadatan lapisan kedua serta ketiga tongkat pemadat boleh masuk kira-kira 25,4 mm ke dalam lapisan di bawahnya.
3. Setelah selesai melakukan pemadatan, sisi cetakan diketuk perlahan-lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup, permukaan beton diratakan dan tutup segera dengan bahan yang kedap air serta tahan karat, kemudian biarkan beton dalam cetakan selama 24 jam dan letakkan pada tempat yang bebas dari getaran.
4. Setelah 24 jam, buka cetakan dan keluarkan benda uji, untuk perencanaan campuran beton, rendam benda uji dalam bak perendam berisi air pada temperatur 25°C disebutkan untuk pematangan (*curing*), selama waktu yang dikehendaki. Pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembeconan, pematangan (*curing*) disesuaikan dengan persyaratan.



### 3.4.2 Persiapan pengujian

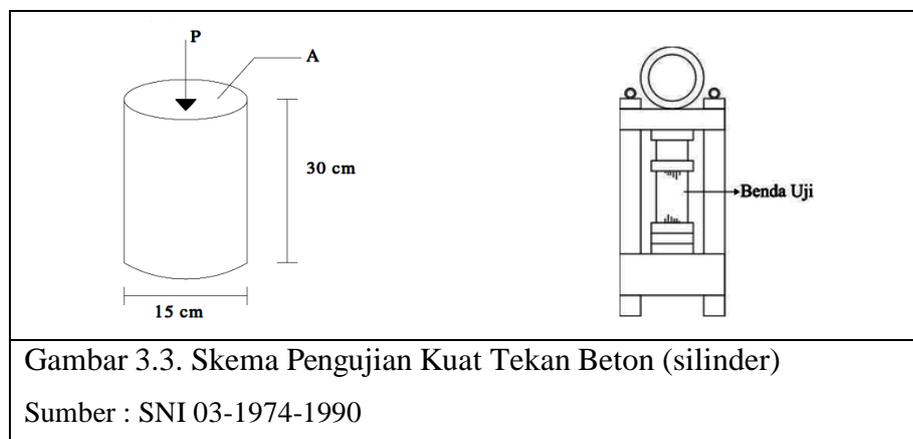
Untuk melakukan persiapan pengujian terhadap benda uji dapat mengikuti langkah sebagai berikut :

1. Benda uji diambil dari bak perendaman sesuai dengan umur rencana beton, kemudian benda uji tersebut dibersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab dan dibiarkan selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian kuat tekannya.
2. Tentukan berat dan ukuran benda uji.
3. Benda uji siap untuk diperiksa pada mesin kuat tekan.

### 3.4.3 Cara pengujian

Skema pengujian kuat tekan beton (silinder) dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan untuk melaksanakan pengujian kuat tekan beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Benda uji diletak pada mesin tekan secara centris dalam keadaan vertical dengan di beri lapis atas dan bawah menggunakan kayu reng;
2. Mesin tekan dijalankan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 MPa/ detik;
3. Pembebanan dilakukan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji;



Gambar 3.3. Skema Pengujian Kuat Tekan Beton (silinder)

Sumber : SNI 03-1974-1990

### **3.5 Prosedur Penelitian**

Tahapan-tahapan pada proses penelitian beton normal dapat dilakukan sebagai berikut :

#### **3.5.1 Pemeriksaan sifat fisis agregat**

Pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat meliputi pemeriksaan:

- Berat jenis (ASTMC.128-3)
- Absorpsi (ASTM C.128-3)
- Berat volume (ASTM C.127-88)
- Analisa saringan (ASTM C.136-93)

#### **3.5.2 Perencanaan campuran (*mix design*)**

Untuk rancangan campuran beton normal ini menggunakan metode *American Concrete Intitute* (ACI) diperkirakan kekuatan tekan rencana 20 Mpa untuk benda uji silinder 15/30 cm dengan menggunakan faktor air semen 0,69. Agregrat kasar yang digunakan adalah kerikil dengan diameter agregrat maksimum 19 mm. *Fly ash* batubara : semen 60% : 40%, 65% : 35%, 70% : 30%, 75% : 25%, 80% : 20%, 90% : 10% dan kerikil : kerak boiler 80% : 20%. Perhitungan *mix design* beton normal dapat dilihat pada Lampiran C.4.1 Halaman 59.

#### **3.5.3 Pengerjaan campuran beton**

Pengerjaan beton normal diawali dengan pencampuran bahan pembentuk beton (pasir, kerikil, semen dan air). Kemudian bahan tersebut dimasukkan kedalam mesin pengaduk beton (*concrete mixer*). Selanjutnya dilakukan pengujian beton segar meliputi pengukuran *slump*, mengukur kadar air, dan mengukur suhu beton segar. Pekerjaan selanjutnya yaitu memasukkan beton

kedalam cetakan selama 24 jam. Pengerjaan pembuatan beton normal adalah sebagai berikut: semen portland tipe 1 dicampur dengan pasir kasar, pasir halus, air. sehingga menjadi suatu adukan bahan beton.

Adapun komposisi masing-masing adukan yang dibuat disesuaikan dengan pesentase benda uji. *Fly ash* batubara : semen 60% : 40%, 65% : 35%, 70% : 30%, 75% : 25%, 80% : 20%, 90% : 10% (berat). Setelah adukan beton diaduk merata, lalu dicetak dalam cetakan. Tahapan berikutnya dilakukan pengujian beton segar meliputi pengukuran *Slump Test*, mengukur kadar air. Pekerjaan selanjutnya yaitu memasukkan beton kedalam cetakan tunggu selama 24 jam. Setiap komposisi beton masing-masing dibuat sebanyak 9 buah untuk pengujian ulangan yang dibutuhkan.

Pada saat proses pengerjaan beton selesai, selanjutnya dilakukan perendaman untuk perawatan beton sesuai umur rencana dengan cara dimasukkan kedalam kolam yang ada di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar. Pengujian kuat tekan silinder dilakukan setelah beton mencapai umur rencana yaitu pada umur 28 hari. Beton diberikan beban arah vertikal atau sejajar dengan silinder secara perlahan hingga benda uji hancur. Total jumlah benda uji yaitu 63 buah berbentuk silinder ( $\varnothing 15$  cm, T= 30 cm) dengan berbagai variasi persentase, dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Jumlah Rancangan Benda Uji (1/2)

Jenis Benda Uji	Dimensi Silinder	Jumlah Benda Uji
		Kuat Tekan
		Umur 28 hari
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 80 : 20%) ( <i>Fly ash</i> batubara : semen 0 : 100%)	$\varnothing 15$ x 30 cm	9
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 80 : 20%) ( <i>Fly ash</i> batubara : semen 60 : 40%)	$\varnothing 15$ x 30 cm	9

Tabel 3.1 Jumlah Rancangan Benda Uji (2/2)

Jenis Benda Uji	Dimensi Silinder	Jumlah Benda Uji
		Kuat Tekan
		Umur 28 hari
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 80 : 20%) ( <i>Fly ash</i> batubara : semen 65 : 35%)	Ø15 x 30 cm	9
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 80 : 20%) ( <i>Fly ash</i> batubara : semen 70 : 30%)	Ø15 x 30 cm	9
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 80 : 20%) ( <i>Fly ash</i> batubara : semen 75 : 25%)	Ø15 x 30 cm	9
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 80 : 20%) ( <i>Fly ash</i> batubara : semen 80 : 20%)	Ø15 x 30 cm	9
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 80 : 20%) ( <i>Fly ash</i> batubara : semen 90 : 10%)	Ø15 x 30 cm	9
<b>Total Keseluruhan</b>		<b>63</b>

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Pada penelitian ini diperoleh data pendukung dari hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat. Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memenuhi syarat sebagai material pembentuk beton.

#### 4.1.1 Berat volume (*bulk density*)

Pemeriksaan nilai berat volume (*bulk density*) dilakukan dengan cara material agregat kasar di keringkan dengan oven terlebih dahulu selama 24 jam yang diletakkan di dalam baskom aluminium. Setelah dikeluarkan dari oven dilakukannya proses penusukan terhadap agregat kasar sebanyak 25 kali. Penusukan tersebut dilakukan di dalam silinder sebanyak 3 tahapan yaitu pada saat 1/3, 2/3 dan 3/3 dari tinggi silinder. Setelah proses tersebut dilakukannya penimbangan terhadap silinder yang berisikan agregat untuk didapatkan nilai beratnya. Pada pemeriksaan di atas dapat dilihat hasil perhitungan berat volume agregat pada Lampiran B.4.1 Halaman 51. Hasil perhitungan berat volume rata-rata yang diperoleh untuk setiap jenis agregat diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Perhitungan Berat Volume.

No	Jenis Agregat	Berat Volume (Kg/l)	Referensi
			Orchard (1979)
1	<i>Coarse Agreggate</i> (8-12 mm)	1,784	>1,445
2	<i>Fine Sand</i> (0-2 mm)	1,855	

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai material pembentuk beton dengan berat volume agregat kasar (*coarse aggregate*) yaitu 1,784 Kg/l. Sedangkan berat volume terhadap pasir (*fine sand*) yaitu 1,855Kg/l. Kesimpulan pada hasil pemeriksaan berat volume terhadap agregat kasar dan halus ini memenuhi ketentuan sebagaimana yang disarankan oleh Orchard (1979), menurutnya berat volume agregat yang baik lebih besar dari 1,445 Kg/l. Hasil berat volume ini dapat digunakan pada perhitungan perencanaan campuran (*mix design*) apabila menggunakan perhitungan berdasarkan berat volume.

#### 4.1.2. Berat jenis dan absorpsi (*specific gravity and absorption*)

Proses pemeriksaan nilai berat jenis dan absorpsi dilakukan dengan cara pengambilan sampel terhadap agregat kasar (*coarse aggregate*) dan pasir (*fine sand*). Ketiga jenis agregat tersebut direndam didalam air dan didiamkan selama 24 jam. Setelah itu dilakukannya penimbangan terhadap ketiga jenis agregat tersebut menggunakan basket/keranjang untuk mendapatkan nilai berat jenis kering air permukaan (*saturate surface dry/SSD*). Setelah proses tersebut dilakukannya pengovenan selama 24 jam terhadap ketiga jenis agregat tersebut. Setelah 24 jam dilakukannya penimbangan terhadap ketiga jenis agregat untuk mendapatkan nilai berat jenis kering oven (*oven dry/OD*). Hasil perhitungan berat jenis dan absorpsi agregat dapat dilihat pada Lampiran B.4.2 Halaman 52. Hasil perhitungan berat jenis dan absorpsi terhadap agregat dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan 4.3 berikut.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Berat Jenis Agregat

No	Jenis Agregate	Berat Jenis (Kg/l)		Referensi
		SG (SSD)	SG (OD)	ASTM
1	<i>Coarse Aggregate</i> (8-12 mm)	2,66	2,60	1,60 - 3,20
2	<i>Fine Sand</i> (0-2 mm)	2,43	2,35	

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai berat jenis agregat kasar (*coarse aggregate*) kering air permukaan (*saturate surface dry/SSD*) yaitu 2,66 Kg/l. Sedangkan berat jenis agregat kasar (*coarse aggregate*) kering oven (*oven dry/OD*) yaitu 2,60. Berat jenis pasir (*fine sand*) kering air permukaan (SSD) ialah 2,43 Kg/l dan pasir (*fine sand*) kering oven (OD) 2.35 Kg/l. Kesimpulan pada hasil pemeriksaan nilai berat jenis terhadap agregat kasar (*coarse aggregate*), pasir (*fine sand*) kering air permukaan (*saturate surface dry/SSD*) dan kering oven (*oven dry/OD*) yaitu telah memenuhi ketentuan yang di isyaratkan oleh ASTM terhadap berat jenis yaitu berkisar diantara 1,6 Kg/l -3,20 Kg/l. Nilai berat jenis digunakan pada penelitian ini untuk dilakukan perhitungan *mix design* beton normal dengan menggunakan metode *American Concrete Institute (ACI)* berdasarkan perbandingan berat.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Absorpsi Agregat

No	Jenis Agregate	Absorpsi (%)	Referensi
			ASTM
1	<i>Coarse Agreggate</i> (8-12 mm)	2,35	0,2 - 4,0
2	<i>Fine Sand</i> (0-2 mm)	3,19	0,2 - 2,0

Selanjutnya pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai absorpsi terhadap agregat kasar (*coarse aggregate*) yang diperoleh ialah 2,35 %. Sedangkan untuk nilai absorpsi terhadap pasir (*fine sand*) yaitu sebesar 3,19%. Kesimpulan pada pemeriksaan nilai absorpsi terhadap agregat kasar (*coarse aggregate*) yang sesuai dengan ketentuan ASTM 0,2 - 4,0 % yaitu agregat kasar yang berukuran 8 - 12 mm dengan nilai absorpsi 2,35 %. Pada pasir (*fine sand*) nilai absorpsinya juga belum sesuai dengan ketentuan ASTM sebesar 0,2 - 2,0% dengan nilai absorpsinya sebesar 3,19 %. Dominannya nilai absorpsi agregat yang tinggi berpengaruh pada campuran beton sehingga membuat campuran beton lebih cepat menyerap air. Hal ini dapat diatasi dengan cara penambahan air sesuai dengan perhitungan berdasarkan nilai absorpsi yang tinggi.

#### 4.1.3. Susunan butiran agregat (gradasi)

Pada penelitian ini untuk mendapatkan nilai gradasi terhadap agregat didapatkan dari data analisa saringan (*sieve analysis*) yang dilakukan dengan cara menyaring agregat tersebut menggunakan saringan/ayakan satu set. Data yang diperoleh dari analisa saringan (*sieve analysis*) digunakan untuk melihat susunan butiran agregat yang digunakan dalam campuran beton. Hasil perhitungan analisa saringan (*sieve analysis*) dan *Fineness Modulus* dapat dilihat pada Lampiran B.4.4 Halaman 54 dan Lampiran B.4.5 Halaman 55. Nilai *Fineness Modulus* yang diperoleh dari analisa saringan (*sieve analysis*) dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai *Fineness Modulus* (FM) Agregat

No	Jenis Agregate	Modulus Kehalusan	Referensi
		FM (%)	ASTM
1	<i>Coarse Agreggate</i> (8-12 mm)	5,983	5,5 - 8,5
2	<i>Fine Sand</i> (0-2 mm)	3,1	2,2 - 3,1

Dari Tabel 4.4 diperoleh hasil perhitungan nilai *Fineness Modulus* terhadap agregat kasar (*coarse aggreggate*) yaitu sebesar 5,983%. Nilai *Fineness Modulus* terhadap agregat kasar (*coarse aggreggate*) sudah memenuhi ketentuan ASTM yaitu berkisar diantara 5,5 - 8,5%. Sedangkan hasil perhitungan nilai *Fineness Modulus* terhadap pasir (*fine sand*) yaitu 3,1% sudah memenuhi ketentuan ASTM yaitu berkisar diantara 2,2 - 3,1%.

#### 4.2 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Pada penelitian ini hasil pemeriksaan sifat fisis agregat dapat digunakan untuk perencanaan campuran (*mix design*). Hasil perencanaan campuran (*mix design*) beton normal dapat dilihat pada Lampiran C.4.1 Halaman 59. Proporsi campuran untuk 1m<sup>3</sup> beton dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rancangan Campuran untuk 1 m<sup>3</sup> Beton (1/2)

No	Material	Jumlah Material Yang Digunakan			
		Persentase (%)			
		0%	60%	65%	70%
		(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	Semen	297.101	118.841	89.130	89.130
2	<i>Fly Ash</i> Batubara	0.000	178.261	207.971	207.971
3	Air	205.000	164.814	164.814	164.814
4	Agregrat Halus	693.899	568.303	568.303	568.303
5	Kerak Boiler	0.000	138.780	138.780	138.780
6	Agregrat Kasar	1149.000	1175.427	1175.427	1175.427
Total		2345.000	2345.000	2344.426	2344.426

Tabel 4.5 Rancangan Campuran untuk 1 m<sup>3</sup> Beton (2/2)

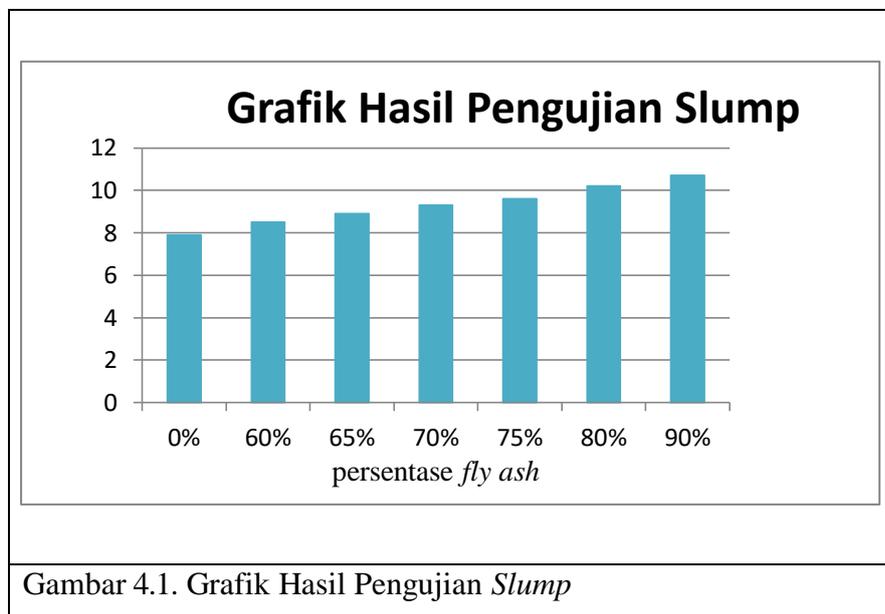
No	Material	Jumlah Material Yang Digunakan			Total
		Persentase (%)			
		75%	80%	90%	
		(Kg)	(Kg)	(Kg)	
1	Semen	74.275	59.420	29.710	727.899
2	<i>Fly Ash</i> Batubara	222.826	237.681	267.391	1054.710
3	Air	164.814	164.814	164.814	1029.072
4	Agregrat Halus	568.303	568.303	568.303	3535.413
5	Kerak Boiler	138.780	138.780	138.780	693.899
6	Agregrat Kasar	1175.427	1175.427	1175.427	7026.135
Total		2344.426	2344.426	2344.426	2344.426

### 4.3 Hasil Pengujian *Slump*

Pada beton normal dilakukan pengujian *slump* yang bertujuan untuk mengetahui kekentanlan campuran beton. Faktor ini disebabkan oleh penambahan *fly ash* pada campuran beton. Proses Pengujian *slump* dan hasil pengujian *slump* pada setiap pengecoran dapat dilihat pada Lampiran A.3.5 Halaman 48 dan Gambar 4.1 Halaman 29.

Dari grafik di bawah menunjukkan bahwa bentuk *slump* memiliki perbedaan. Pada penelitian ini diperoleh nilai *slump* semakin membesar dengan

bertambahnya persentase penggunaan *fly ash* pada campuran beton. Hal ini diperkirakan semakin banyak menggunakan *fly ash* maka mengakibatkan terjadinya penyerapan air oleh *fly ash* dan makin mengentalkan mortar beton. Nilai *slump* pada persentase 0% *fly ash* diperoleh nilai 7,9 cm, persentase 60% *fly ash* diperoleh nilai 8,5 cm dan persentase 65% penggunaan *fly ash* diperoleh nilai sebesar 8,9 cm. Pada penggunaan *fly ash* dengan persentase 70% sebesar 9,3 cm, persentase *fly ash* 75% sebesar 9,6 cm, persentase *fly ash* 80% sebesar 10,2 cm, dan persentase *fly ash* 90% sebesar 10,7 cm.



Gambar 4.1. Grafik Hasil Pengujian *Slump*

#### 4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Pengujian dapat dilakukan setelah benda uji dikeluarkan terlebih dahulu dari bak perendaman setelah proses perawatan dapat dilihat pada Lampiran A.4.1 Halaman 49. Kemudian benda uji tersebut didiamkan selama 24 jam sampai benda uji berada pada keadaan kering permukaan. Setelah proses tersebut benda uji ditimbang untuk mendapatkan berat per benda uji. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji menggunakan alat kuat tekan

(*compression testing machine*). Pengujian dan hasil kuat tekan beton normal dapat dilihat pada Lampiran A.4.2 Halaman 50 dan Gambar.4.2 Halaman 32.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan sesuai dengan umur rencana yaitu pada umur beton 28 hari. Data hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan grafik kuat tekannya dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini :

Tabel 4.6 Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal Umur 28 Hari (1/3)

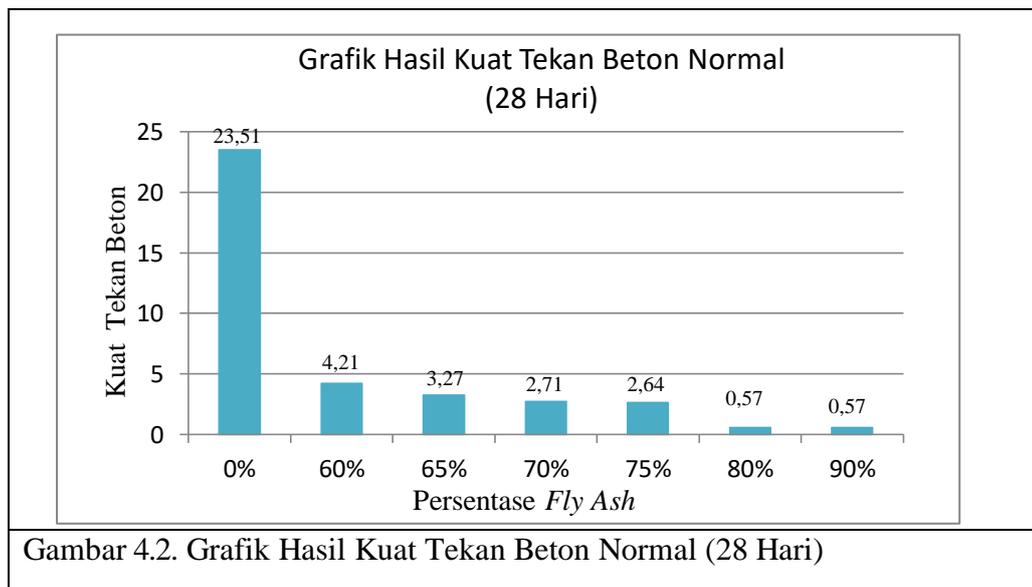
Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm <sup>3</sup>	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
0%	BU.1	12.635	0.0053	2383.96	440	24.91	23.51
	BU.2	12.955	0.0053	2444.34	420	23.78	
	BU.3	13.025	0.0053	2457.55	364	20.61	
	BU.4	12.805	0.0053	2416.04	385	21.80	
	BU.5	13.115	0.0053	2474.53	386	21.85	
	BU.6	13.125	0.0053	2476.42	420	23.78	
	BU.7	13.030	0.0053	2458.49	420	23.78	
	BU.8	12.895	0.0053	2433.02	482	27.29	
	BU.9	12.900	0.0053	2433.96	420	23.78	
Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm <sup>3</sup>	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
60%	BU.1	11.955	0.0053	2255.66	70	3.96	4.21
	BU.2	12.310	0.0053	2322.64	80	4.53	
	BU.3	11.535	0.0053	2176.42	80	4.53	
	BU.4	12.000	0.0053	2264.15	70	3.96	
	BU.5	12.245	0.0053	2310.38	50	2.83	
	BU.6	12.045	0.0053	2272.64	80	4.53	
	BU.7	12.650	0.0053	2386.79	80	4.53	
	BU.8	12.120	0.0053	2286.79	90	5.10	
	BU.9	11.845	0.0053	2234.91	70	3.96	

Tabel 4.6 Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal Umur 28 Hari (2/3)

Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm <sup>3</sup>	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
65%	BU.1	12.230	0.0053	2307.55	80	4.53	3.27
	BU.2	12.005	0.0053	2265.09	60	3.40	
	BU.3	12.215	0.0053	2304.72	50	2.83	
	BU.4	12.050	0.0053	2273.58	50	2.83	
	BU.5	12.170	0.0053	2296.23	70	3.96	
	BU.6	12.325	0.0053	2325.47	50	2.83	
	BU.7	12.180	0.0053	2298.11	60	3.40	
	BU.8	12.285	0.0053	2317.92	50	2.83	
	BU.9	12.275	0.0053	2316.04	50	2.83	
Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm <sup>3</sup>	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
70%	BU.1	11.940	0.0053	2252.83	40	2.26	2.71
	BU.2	11.965	0.0053	2257.55	50	2.83	
	BU.3	12.040	0.0053	2271.70	50	2.83	
	BU.4	12.040	0.0053	2271.70	50	2.83	
	BU.5	12.060	0.0053	2275.47	50	2.83	
	BU.6	11.990	0.0053	2262.26	50	2.83	
	BU.7	12.160	0.0053	2294.34	50	2.83	
	BU.8	12.070	0.0053	2277.36	50	2.83	
	BU.9	11.825	0.0053	2231.13	40	2.26	
Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm <sup>3</sup>	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
75%	BU.1	11.825	0.0053	2231.13	40	2.26	2.64
	BU.2	11.965	0.0053	2257.55	50	2.83	
	BU.3	11.930	0.0053	2250.94	50	2.83	
	BU.4	11.845	0.0053	2234.91	50	2.83	
	BU.5	11.685	0.0053	2204.72	40	2.26	
	BU.6	11.950	0.0053	2254.72	50	2.83	
	BU.7	11.795	0.0053	2225.47	40	2.26	
	BU.8	11.935	0.0053	2251.89	50	2.83	
	BU.9	11.810	0.0053	2228.30	50	2.83	

Tabel 4.6 Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal Umur 28 Hari (3/3)

Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm <sup>3</sup>	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
80%	BU.1	11.870	0.0053	2239.62	10	0.57	0.57
	BU.2	11.785	0.0053	2223.58	10	0.57	
	BU.3	11.645	0.0053	2197.17	10	0.57	
	BU.4	11.986	0.0053	2261.51	10	0.57	
	BU.5	11.798	0.0053	2226.04	10	0.57	
	BU.6	11.965	0.0053	2257.55	10	0.57	
	BU.7	11.958	0.0053	2256.23	10	0.57	
	BU.8	11.976	0.0053	2259.62	10	0.57	
	BU.9	11.834	0.0053	2232.83	10	0.57	
Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm <sup>3</sup>	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
90%	BU.1	11.810	0.0053	2228.30	10	0.57	0.57
	BU.2	11.710	0.0053	2209.43	10	0.57	
	BU.3	11.798	0.0053	2226.04	10	0.57	
	BU.4	11.965	0.0053	2257.55	10	0.57	
	BU.5	11.958	0.0053	2256.23	10	0.57	
	BU.6	11.976	0.0053	2259.62	10	0.57	
	BU.7	11.834	0.0053	2232.83	10	0.57	
	BU.8	11.785	0.0053	2223.58	10	0.57	
	BU.9	11.645	0.0053	2197.17	10	0.57	



Dari Tabel 4.6 dan Gambar 4.2 menunjukkan nilai kuat tekan beton normal pada umur 28 hari memiliki kuat tekan rata-rata tanpa penggunaan *fly ash* (0% *fly ash*) adalah 23,51 MPa. Nilai kuat tekan benda uji dengan penggunaan *fly ash* 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% dengan penambahan 20% kerak boiler adalah 4,21 MPa, 3,27 MPa, 2,71 MPa, 2,64 MPa, 0,57 MPa dan 0,57 MPa. Kuat tekan optimum benda uji pada penggunaan *fly ash* yaitu pada persentase 60% (4,21 MPa). Hasil pengujian kuat tekan beton *fly ash* umur 28 hari tidak sesuai dengan kuat tekan rencana yaitu  $f'c = 20$  MPa. Hal ini disebabkan oleh pengaruh penambahan *fly ash* sehingga kuat tekan beton *fly ash* mengalami penurunan terhadap beton tanpa penggunaan *fly ash* (0% *fly ash*).

Pengujian beton pada umur rencana 28 hari dengan persentase *fly ash* yang berbeda-beda diperoleh berat benda uji beton (0% *fly ash*) sebesar 12,943 kg dan berat isinya 2442,03 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan benda uji yang menggunakan 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% diperoleh berat benda uji 12,193 kg, 12,078 kg, 12,010 kg, 11,869 kg, 11,860 kg dan 11,831 kg, serta memiliki berat isi masing-masing yaitu 2442,03 kg/m<sup>3</sup>, 2278,93 kg/m<sup>3</sup>, 2300,52 kg/m<sup>3</sup>, 2266,04 kg/m<sup>3</sup>, 2237,74 kg/m<sup>3</sup>, 2237,74 kg/m<sup>3</sup> dan 2232,31 kg/m<sup>3</sup>. Semakin tinggi penggunaan persentase *fly ash* berat benda uji beton mengalami penurunan.

#### **4.5 Pembahasan**

Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat yang dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar menunjukkan bahwa agregat yang digunakan telah memenuhi persyaratan sebagai material pembentuk beton berdasarkan ASTM C33 dan Orchard (1979). Walaupun pada pemeriksaan penyerapan/absorpsi (*absorption*) terhadap agregat belum memenuhi spesifikasi ASTM C33 pada (Halaman 26). Dominannya nilai absorpsi agregat yang tinggi berpengaruh pada campuran beton lebih cepat menyerap air. Hal ini dapat diatasi dengan cara penambahan air sesuai dengan perhitungan berdasarkan nilai absorpsi yang tinggi.

Material yang telah diaduk secara merata maka dilakukan pengujian *slump test* dengan hasil *slump test* pada persentase 0% *fly ash* diperoleh nilai 7,9 cm, persentase 60% *fly ash* diperoleh nilai 8,5 cm dan persentase 65% penggunaan *fly ash* diperoleh nilai sebesar 8,9 cm. Pada penggunaan *fly ash* dengan persentase 70% sebesar 9,3 cm, persentase *fly ash* 75% sebesar 9,6 cm, persentase *fly ash* 80% sebesar 10,2 cm dan persentase *fly ash* 90% sebesar 10,7 cm. Hasil pengujian *slump test* menunjukkan bahwa nilai *slump* semakin membesar dengan bertambahnya persentase penggunaan *fly ash* pada campuran beton. Hal ini diperkirakan semakin banyak menggunakan *fly ash* maka mengakibatkan terjadinya penyerapan air oleh *fly ash* dan semakin mengentalkan mortar beton. Untuk mengurangi kekentalan mortar beton maka adanya penambahan air dari perencanaan *mix design* yang dibutuhkan sebesar 25%.

Sesudah mencapai umur pengujian, benda uji diangkat dan diangin-anginkan selama 24 jam dan siap untuk diuji. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mengetahui berat dari benda uji. Berat benda uji rata-rata 0% *fly ash* adalah 12,943 kg. Kemudian penggunaan 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% *fly ash* pada umur 28 hari diperoleh berat benda uji rata-rata adalah 12,193 kg, 12,078 kg, 12,010 kg, 11,860 kg, 11,860 dan 11,831 kg. Semakin banyak penggunaan persentase *fly ash* berat benda uji semakin ringan dari persentase *fly ash* 0%.

Tabel 4.7 Persentase Penurunan Berat Rata-Rata Pada Umur 28 Hari

Umur	Berat Benda Uji						
	0%	60%	65%	70%	75%	80%	90%
28 Hari	12,943	12,193	12,078	12,010	11,860	11,860	11,831
Persentase Penurunan (%)	0	5,79	6,68	7,20	8,36	8,36	8,59

Dari Tabel 4.7 diatas dapat dilihat bahwa persentase penurunan berat penggunaan *fly ash* terhadap berat beton normal penurunan persentase sebesar 5,79%, 6,68%, 7,20%, 8,36%, 8,36% dan 8,59% semakin banyak penggunaan *fly ash* berat beton mengalami penurunan. Berat benda uji yang paling ringan

diperoleh pada persentase *fly ash* 90% yaitu dengan memiliki berat sebesar 11,831 kg dengan persentase penurunan terhadap benda uji normal sebesar 8,59%. Hal ini disebabkan karena berat jenis *fly ash* batubara sebesar 1,9-2,55 dan berat jenis kerak boiler cangkang kelapa sawit sebesar 2,27 yang lebih ringan dibandingkan pasir dan semen.

Hasil pengujian kuat tekan benda uji umur 28 hari dengan penambahan *fly ash* pada variasi 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% mengalami penurunan nilai kuat tekan beton dibandingkan dengan nilai kuat tekan benda uji tanpa penambahan *fly ash*. Kuat tekan rata-rata benda uji beton tanpa penambahan *fly ash* 0% umur 28 hari adalah 23,51 MPa. Penambahan *fly ash* 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% menyebabkan penurunan kuat tekan yaitu sebesar 3,27 MPa, 2,71 MPa, 2,64 MPa, 0,57 MPa dan 0,57. Kuat tekan terbesar yang diperoleh pada campuran beton menggunakan *fly ash* 60% dibandingkan persentase *fly ash* 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% diperkirakan terjadi karena semakin banyak melakukan penambahan *fly ash* dapat menyebabkan nilai kuat tekan beton menurun.

Tabel 4.8 Persentase Penurunan Kuat Tekan Rata-Rata Pada Umur 28 Hari

Umur	Kuat Tekan (MPa)						
	0%	60%	65%	70%	75%	80%	90%
28 Hari	23,51	4,21	3,27	2,71	2,64	0,57	0,57
Persentase Penurunan (%)	0	82,09	86,09	88,47	88,77	97,57	97,57

Dari Tabel 4.8 diatas dapat dilihat bahwa kuat tekan beton normal pada umur 28 hari memiliki kuat tekan rata-rata tanpa penggunaan *fly ash* 0% adalah 23,51 MPa. Persentase penurunan terhadap kuat tekan beton normal dengan persentase *fly ash* 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% dengan yaitu sebesar 82,09%, 86,09%, 88,47%, 88,77%, 97,57% dan 97,57%. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kuat beton normal pada umur 28 hari mengalami penurunan. Akibat dari penurunan tersebut ada beberapa faktor yang menyebabkan penurunan yang terjadi pada kuat beton tersebut yaitu berat jenis *fly ash* berbeda dengan berat jenis semen dan secara

visual pada saat pengadukan bahan tidak dapat tercampur dengan sempurna karena *fly ash* terlalu mudah menyerap air dan mengakibatkan gumpalan-gumpalan pada mortar beton. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan optimum benda uji pada persentase *fly ash* 60% pada umur 28 hari yaitu dengan kuat tekan rata-ratanya adalah 4,21 MPa.

Berdasarkan hasil analisa tersebut maka beton dengan campuran *fly ash* mengalami penurunan kuat tekan dengan hal ini menunjukkan bahwa pada penambahan *fly ash* disebabkan oleh beberapa faktor seperti penyerapan air pada *fly ash* terlalu besar. Karena penyerapan air tersebut adanya penambahan air sebesar 25%, fungsi *fly ash* belum sepenuhnya maksimum untuk menggantikan semen, kerak boiler yang digunakan terlalu halus, pada saat pengadukan penuangan beton kedalam silinder kita tidak mengetahui dalam satu silinder terdapat lebih banyak agregat halus atau agregat kasar dibandingkan beton segar yang ada didalam silinder lainnya. Hasil dari pengamatan tersebut kuat tekan beton mengalami penurunan dengan bertambahnya kadar campuran *fly ash*, akan tetapi semakin banyak penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti dalam penggunaan pengurangan semen maka akan semakin menurun kuat tekannya dikarenakan penggunaan semen akan lebih sedikit, karena *fly ash* belum bisa sepenuhnya seperti semen yang fungsinya mengikat.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh perbandingan *fly ash* batubara : semen terhadap kuat beton normal telah memberikan penulis banyak ilmu dan pemahaman mengenai pengaruh perbandingan *fly ash* batubara : semen terhadap beton. Pada bab ini akan diambil beberapa kesimpulan dan saran mengenai penelitian yang telah dilakukan.

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai hasil akhir dari penelitian ini :

1. Penyerapan yang terjadi pada campuran beton menggunakan *fly ash* menyebabkan peningkatan nilai *slump* hal ini dikarenakan akibat semakin tinggi persentase *fly ash* maka semakin tinggi pula penyerapan air.
2. Kuat tekan benda uji pada umur 28 hari dengan menggunakan *fly ash* pada variasi 60%, 65%,70%, 75%, 80% dan 90% mengalami penurunan kuat tekan dibandingkan dengan tekan benda uji beton tanpa penambahan *fly ash*. Kuat tekan rata-rata benda uji beton tanpa penambahan *fly ash* pada umur 28 hari variasi 0% adalah 23,51 Mpa. Nilai kuat tekan rata-rata benda uji dengan penambahan *fly ash* pada variasi 60%, 65%,70%, 75%, 80% dan 90% umur 28 hari adalah 4,21 MPa, 3,27 MPa, 2,71 MPa, 2,64 MPa, 0,57 MPa dan 0,57 Mpa.
3. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa kuat tekan beton optimum benda uji pada penambahan *fly ash* yaitu pada persentase 60% sebesar 4,21 Mpa.
4. Hasil nilai kuat tekan menunjukkan semakin banyak penggunaan *fly ash* maka nilai kuat tekan mengalami penurunan.

## 5.2 Saran

Hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna secara umum dalam bidang ilmu bahan bangunan dan juga dapat dijadikan sebagai salah satu pedoman dalam perencanaan beton dengan penambahan *fly ash*. Perihal maksud tersebut disarankan beberapa hal sebagai berikut :

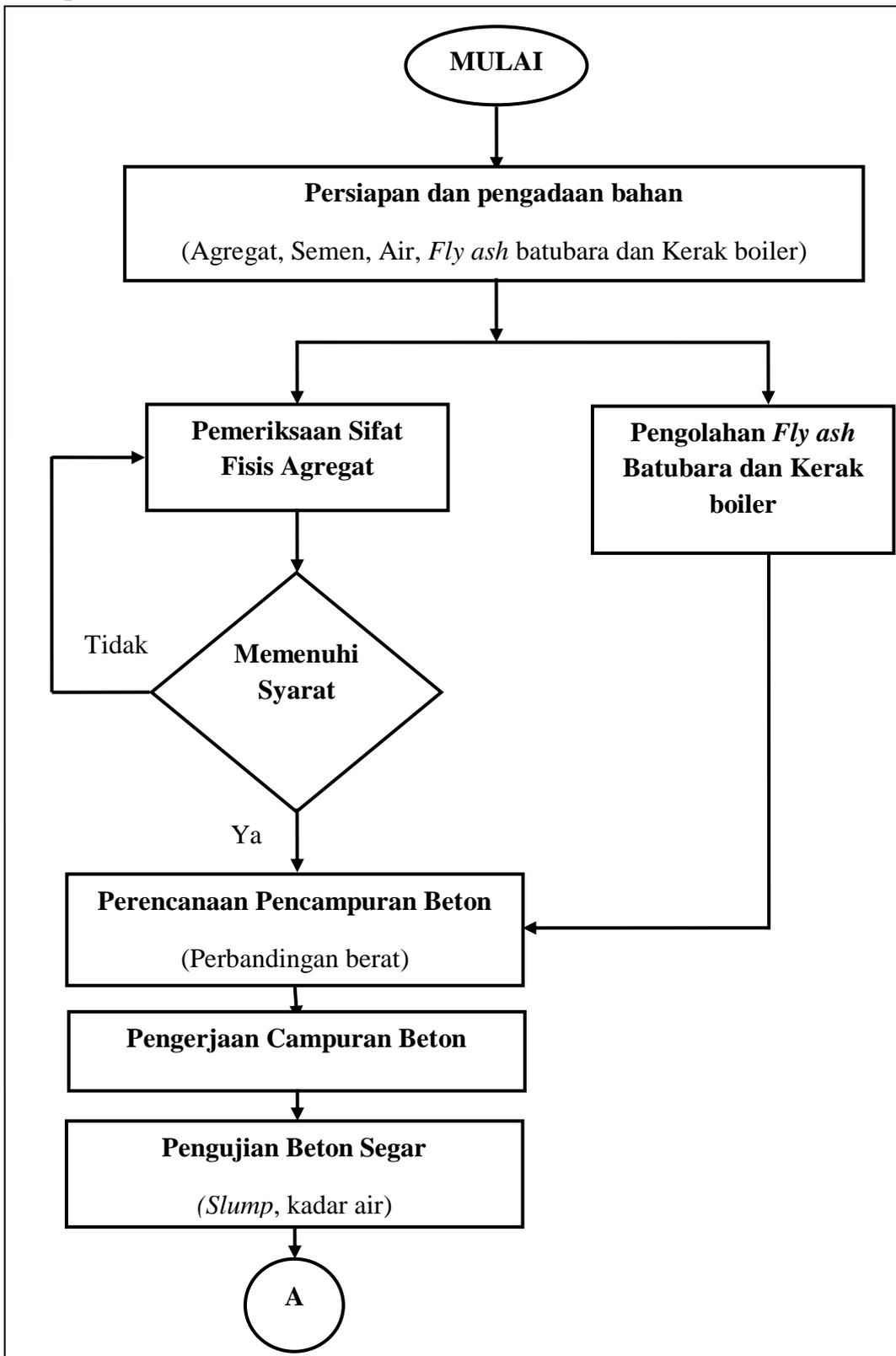
1. Beton dengan penambahan *fly ash* pengurangan semen perlu dilakukan penelitan lebih lanjut dengan adanya penambahan ikatan kimiawi bertujuan untuk mendapatkan perbandingan nilai kuat tekan beton normal.
2. Absorsi yang terlalu besar perlu dikurangi.
3. Kerak boiler yang digunakan tidak terlalu halus.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. ACI 211.1-91, Standard Practice for selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
2. ACI COMMITTEE 304. 1997. "Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications", (ACI 304.1R-92) (Reapproved 1997). Detroit, Michigan, USA: American Concrete Institute.
3. Aer AA dkk, 2014 Pengaruh Variasi Kadar Superplasticizer Terhadap Nilai Slump Beton Geopolimer
4. Ahmaruzzaman, 2010 Komposisi kimia fly ash dalam jangkauan normal dari berbagai tipe batubara
5. Antoni dan Nugraha. 2007. Teknologi Beton.Yogyakarta: C.V Andi Offset.
6. ASTM C33, Specification for concrete aggregates.
7. ASTM C 494/C 494M-04, 2004. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. United States: Association of Standard Testing Materials.
8. Badan Standarisasi Nasional. SNI 1972:2008 Cara Uji Slump Beton
9. Badan Standarisasi Nasional. 1990. SNI 03-1974-1190. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton, Jakarta.
10. Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI 03-2834-2002 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal
11. Badan Standardisasi Nasional. 2004. SNI 15-2049-2004. Semen Portland
12. Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI-2847-2013. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
13. Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 2847-2013. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
14. Badan Standarisasi Nasional. 2014 ASTM C618-86 Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton

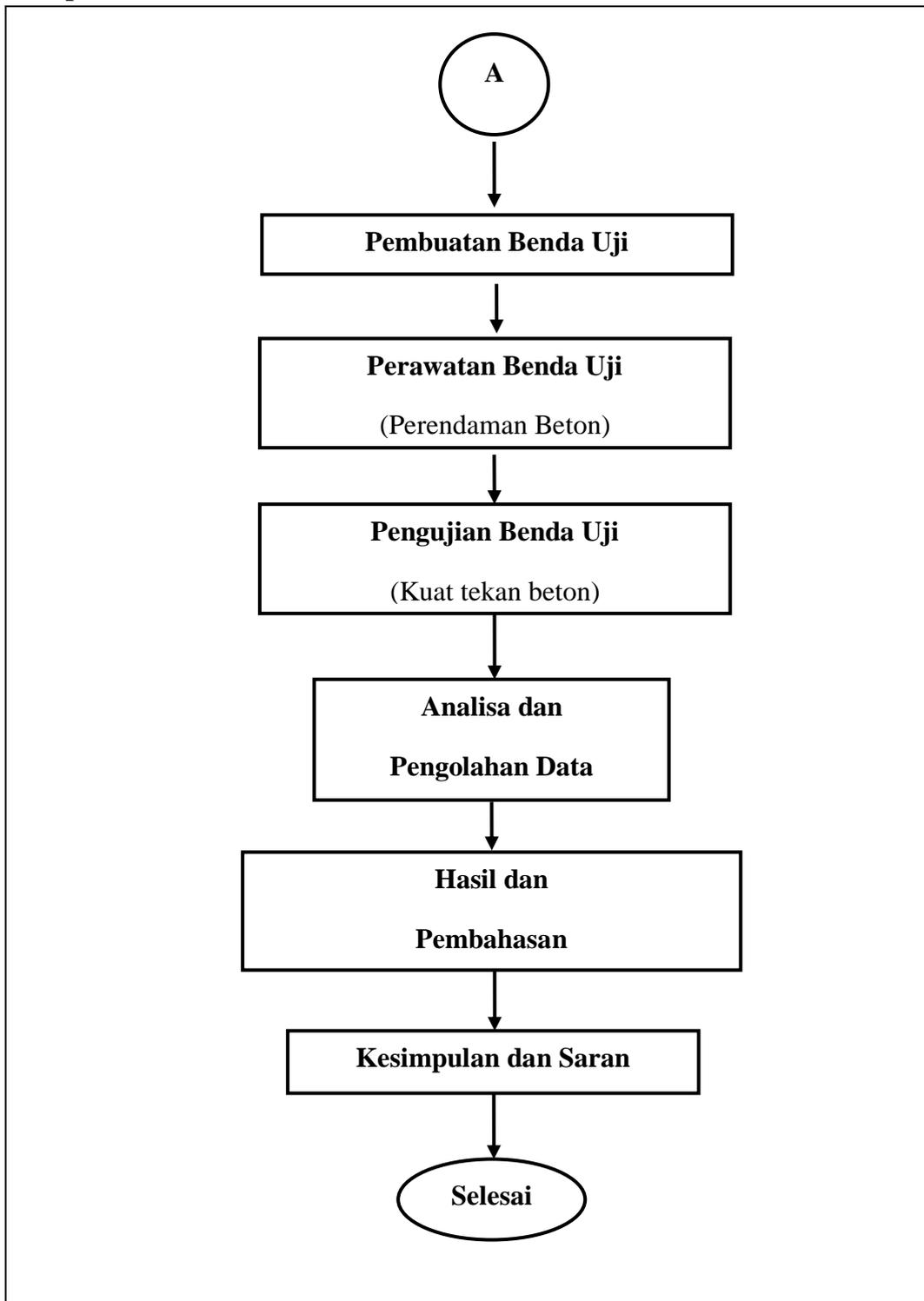
15. Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 2049-2016. Semen Portland Pozolan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
16. Manuahe R dkk, 2014 Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)
17. Mulyono, T. Teknologi Beton. Yogyakarta. 2004.
18. Opirina L dkk Pemanfaatan Kerak Boiler Cangkang Sawit Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton
19. Orchard, D.F. (1979) Concrete Technology, Propertieess of Material. 4th Edition, Volume 1. Applied Science Publishers Ltd., London, 139-150.
20. Prianti, Epi. et al. 2015. Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir Pada Pembuatan Beton. POSITRON. Volume V, No. 1.
21. Putra AK dkk, 2014 Kuat Tarik Belah Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash)
22. Rahman F dkk, 2017 Pemanfaatan Hasil Pembakaran Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengganti Pasir Pada Pembuatan Beton Normal
23. Reza Muhammad 2012. Pengaruh limbah abu boiler dan fly ash sebagai bahan pengganti semen dalam campuran beton. Skripsi program sarjana Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara
24. Shinkolobwe, 2009 Photomicrograph made with a Scanning Electron Microscope (SEM)
25. Tjokrodimuljo, K. 2007. Teknologi Beton. Yogyakarta: Biro Penerbit Jurusan Teknik.
26. Umboh AH dkk, 2014 Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Dari Pltu II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton

Lampiran A



Lampiran A.3.1. Gambar Bagan Alir Penelitian (1/2)

**Lampiran A**



Lampiran A.3.1. Gambar Bagan Alir Penelitian (2/2)

## Lampiran A



Gambar Proses Pengambilan *Fly Ash* batubara  
Sumber : Lapangan



Gambar Proses Pengambilan Kerak Boiler  
Sumber : Lapangan

### Lampiran A.3.2 Persiapan Bahan dan Material (1/3)

## Lampiran A



Gambar Proses Pengambilan Agregat  
Sumber : Lapangan



Gambar Proses Pengambilan Agregat  
Sumber : Lapangan

Lampiran A.3.2 Persiapan Bahan dan Material (2/3)

## Lampiran A



Gambar Proses Saringan *Fly Ash* Batubara  
Sumber : Lapangan



Gambar Proses Pencucian dan Pengeringan Kerak Boiler  
Sumber : Lapangan

### Lampiran A.3.2 Persiapan Bahan dan Material (3/3)

## Lampiran A



Gambar Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat  
Sumber : Lapangan



Gambar Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat  
Sumber : Lapangan

### Lampiran A.3.3 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

## Lampiran A



Gambar Penuangan Bahan dan Material kedalam Campuran Beton  
Sumber : Lapangan



Gambar Penuangan Bahan dan Material kedalam Campuran Beton  
Sumber : Lapangan

### Lampiran A.3.4 Proses Pembuatan Benda Uji Beton

## Lampiran A



Gambar Proses Pengujian *Slump Test* Beton Segar  
Sumber : Lapangan



Gambar Proses Penuangan Campuran Beton kedalam Cetakan Silinder  
Sumber : Lapangan

### Lampiran A.3.5 Proses Pengujian Beton Segar

## Lampiran A



Gambar Proses Perawatan Benda Uji Beton  
Sumber : Lapangan



Lampiran A.4.1 Proses Perawatan Benda Uji Beton

## Lampiran A



Gambar Benda Uji Setelah Proses Pengecoran  
Sumber : Lapangan



Gambar Pengujian Kuat Tekan Beton  
Sumber : Lapangan

### Lampiran A.4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

**Lampiran B.4.1 Perhitungan Berat Volume Agregat (*Bulk Density*)**

Tabel Perhitungan Berat Volume Kerikil (*Coarse Agregate*)

No.	Sampling No.	Weight			Volume Of Container (L)	Bulk Density (Kg/L)
		Container (Kg)	Container + Aggregate (Kg)	Aggregate (Kg)		
-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
1	A	5,03	10,19	5,17	2,90	1,780
2	B	5,03	10,18	5,15	2,90	1,776
3	C	5,03	10,24	5,21	2,90	1,796
AVERAGE						1,784

Sumber : Reskuna (2018)

Tabel Perhitungan Berat Volume Pasir (*Fine Sand*)

No.	Sampling No.	Weight			Volume Of Container (L)	Bulk Density (Kg/L)
		Container (Kg)	Container + Aggregate (Kg)	Aggregate (Kg)		
-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
1	A	5,03	10,15	5,12	2,90	1,764
2	B	5,03	10,52	5,49	2,90	1,893
3	C	5,03	10,56	5,53	2,90	1,906
AVERAGE						1,855

Sumber : Reskuna (2018)

### Lampiran B.4.2 Perhitungan Berat Jenis Agregat (*Specific Gravity*)

Tabel Perhitungan Berat Jenis Kerikil (*Coarse Agregate*)

No.	WEIGHT	NOTATION	SAMPLE		
			A (gram)	B (gram)	C (gram)
1	2	3	4	5	6
1	Basket	$W_c$	615	615	615
2	Basket Under Water	$W_{cw}$	560	560	560
3	Basket + Agregat, SSD	$W_{cs}$	5695	5685	5765
4	Basket + Agregat Under Water	$W_{csw}$	3708	3758	3768
5	Aggregate saturated surface dry	$W_s = W_{cs} - W_c$	5080	5070	5150
6	Aggregate Under Water	$W_w = W_{csw} - W_{cw}$	3148	3198	3208
7	Volume of Aggregate, SSD	$W_v = W_s - W_w$	1932	1872	1942
8	Specific Gravity, SSD	$SG_{SSD} = W_s / W_v$	2,63	2,71	2,65
	Average Specific Gravity, SSD		2,66		
9	Basket	$W_{c'}$	633	633	633
10	Basket + Agregat , OD	$W_{cd}$	5627	5608	5613
11	Aggregate Oven Dry	$W_d = W_{cd} - W_{c'}$	4994	4975	4980
12	Specific Gravity, OD	$SG_{OD} = W_d / W_v$	2,58	2,66	2,56
	Average Specific Gravity, OD		2,60		
13	Water Absorption (%)	$100 ( W_s - W_d ) / W_d$	1,72	1,91	3,41
	Average Absorption (%)		2,35		

Sumber : Reskuna (2018)

### Lampiran B.4.3 Perhitungan Berat Jenis Agregat (*Specific Gravity*)

Tabel Perhitungan Berat Jenis Pasir (*Fine Sand*)

No.	WEIGHT	NOTATION	SAMPLE		
			A (gram)	B (gram)	C (gram)
1	2	3	4	5	6
1	Container	$W_c$	510,6	510,6	510,1
2	Container + Aggregate SSD	$W_{cs}$	1542,5	1539,5	1529,3
3	Aggregate saturated surface dry	$W_s = W_{cs} - W_c$	1031,9	1028,9	1019,2
4	Container + Aggregate + Water	$W_{csw'}$	2100,4	2097,1	2099,9
5	Container + Water	$W_{cw''}$	1490,7	1495,1	1499,1
6	Volume of Aggregate. SSD	$W_v = W_s - W_{csw'} + W_{cw''}$	422,2	426,9	418,5
7	Specific Gravity, SSD	$SG_{SSD} = W_s / W_v$	2,44	2,41	2,44
	Average Specific Gravity, SSD		2,43		
8	Container		510,57	510,58	510,1
9	Container + Aggregate OD	$W'_{csw}$	1505	1507	1504
10	Aggregate Oven Dry	$W_d = W'_{csw} - W'_c$	994	996	994
11	Specific Gravity, OD	$SG_{OD} = W_d / W_v$	2,36	2,33	2,38
	Average Specific Gravity, OD		2,35		
12	Water Absorption (%)	$100 ( W_s - W_d ) / W_d$	3,77	3,26	2,55
	Average Water Absorption (%)		3,19		

Sumber : Reskuna (2018)

### Lampiran B.4.4 Perhitungan *sieve analisa*

Tabel Perhitungan *Sieve Analisa Agregat Kasar*

No.	RETAINED ON SIEVE							AVERAGE PERCENTAGE RETAINED ON
	SIEVE	A		B		C		
	SIZE (mm)	WEIGHT (gram)	PERCENT (%)	WEIGHT (gram)	PERCENT (%)	WEIGHT (gram)	PERCENT (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	
1	31,5	0	0	0	0	0	0	0
2	19,1	0	0	0	0	0	0	0
3	9,52	36,02	18,01	69,24	34,62	72,81	36,41	29,68
4	4,76	83,36	41,68	79,23	39,62	77,16	38,58	39,96
5	2,38	80,03	40,02	50,82	25,41	49,12	24,56	30,00
6	1,2	0,23	0,12	0,27	0,14	0,20	0,10	0,12
7	0,6	0,14	0,07	0,04	0,02	0,07	0,04	0,04
8	0,3	0,02	0,01	0,18	0,09	0,20	0,10	0,07
9	0,15	0,15	0,08	0,07	0,04	0,44	0,22	0,11
10	SISA	0,05	0,03	0,15	0,08	0,07	0,04	0,05
<b>TOTAL</b>		200	100	200	100	200	100	100

Sumber : Reskuna (2018)

Tabel Perhitungan *Sieve Analisa Agregat Halus*

No.	RETAINED ON SIEVE							AVERAGE PERCENTAGE RETAINED ON
	SIEVE	A		B		C		
	SIZE (mm)	WEIGHT (gram)	PERCENT (%)	WEIGHT (gram)	PERCENT (%)	WEIGHT (gram)	PERCENT (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	
1	31,50	0		0		0	0	0
2	19,10	0		0		0	0	0
3	9,52	0		0		0	0	0
4	4,76	0		0		0	0	0
5	2,38	90,43	18,09	86,05	17,21	76,80	15,36	16,89
6	1,20	134,71	26,94	144,61	28,92	145,49	29,10	28,32
7	0,60	113,84	22,77	111,74	22,35	102,88	20,58	21,90
8	0,30	95,50	19,10	92,86	18,57	84,59	16,92	18,20
9	0,15	56,12	11,22	55,71	11,14	80,24	16,05	12,80
10	SISA	9,40	1,88	9,03	1,81	9,85	1,97	1,89
<b>TOTAL</b>		500	100	500	100	500	100	100

Sumber : Reskuna (2018)

### Lampiran B.4.5 Perhitungan *Fineness Modulus*

Tabel Perhitungan *Fineness Modulus* Agregat Kasar

No.	Sieve Size	Individual	Commulative	
		Retained On	Passing Of	Retained On
	(mm)	(%)	(%)	(%)
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	31,5	0	100	0
2	19,1	0	100	0
3	9,52	29,68	70,32	30
4	4,76	39,96	30,36	70
5	2,38	30,00	0,37	99,63
6	1,19	0,12	0,25	99,75
7	0,6	0,04	0,21	99,79
8	0,3	0,07	0,14	99,86
9	0,15	0,11	0,03	99,97
10	sisa	0,05	0	100
Total		100		598,31
F . M				5,983

Sumber : Reskuna (2018)

Tabel Perhitungan *Fineness Modulus* Agregat Halus

No.	Sieve Size	Individual	Commulative	
		Retained On	PassingOf	Retained On
	(mm)	(%)	(%)	(%)
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	31,5	0	100	0
2	19,1	0	100	0
3	9,52	0	100	0
4	4,76	0	100	0
5	2,38	16,89	83,11	16,89
6	1,19	28,32	54,79	45,21
7	0,6	21,90	32,90	67,10
8	0,3	18,20	14,70	85,30
9	0,15	12,80	1,90	98,10
10	sisa	1,89	0,01	100
Total		99,99		312,60
F . M				3,1

Sumber : Reskuna (2018)

**Lampiran B.4.6 Tabel Kutipan American Concrete Institute (ACI 211.1-91)  
(1/3)**

Tabel B.1 Nilai slump yang direkomendasikan untuk berbagai tipe konstruksi

Jenis konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding penahan dan pondasi beton bertulang	75	25
Pondasi sederhana, sumuran, dan dinding sub str	75	25
Balok dan dinding beton bertulang	100	25
Kolom Struktural	100	25
Perkerasan dan slab	75	25
Beton massal	75	25

Tabel B.2 Perkiraan Air Pencampur dan Kandungan Udara yang Dibutuhkan untuk Slump dan Ukuran Maksimum Nominal Agregat yang Berbeda

Slump (mm)	Air (kg/m <sup>3</sup> beton) untuk Ukuran Maksimum Agregat							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	70	150
	<b>Beton Tanpa Bahan Pemasuk Udara</b>							
25 sampai 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 sampai 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 sampai 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Perkiraan Jumlah Udara yang Terperangkap di	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	<b>Beton dengan Bahan Pemasuk Udara</b>							
25 sampai 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 sampai 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 sampai 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Kandungan udara total rata-rata yang								
diekspose sedikit	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
diekspose sedang	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
sangat diekspose	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

**Lampiran B.4.7 Tabel Kutipan American Concrete Institute (ACI 211.1-91)  
(2/3)**

Tabel B.3 Hubungan antara Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Beton

Faktor Air Semen	Kuat Tekan Beton pada Umur 28 hari (MPa)					
	40	35	30	25	20	15
Beton tanpa Bahan Pemasuk Udara	0,42	0,47	0,54	0,61	0,69	0,79
Beton dengan Bahan Pemasuk Udara	-	0,39	0,45	0,52	0,6	0,7

Tabel B.4 Standar untuk kontrol beton ( $f'_c < 34,5$  Mpa)

Mutu Pekerjaan	Variasi secara keseluruhan				
	Simpangan baku dari standar kontrol yang berbeda				
	Luar Biasa	Sangat Baik	Baik	Sedang	Kurang Baik
Pengujian Konstruksi Umum	< 2,8	2,8-3,4	3,4-4,1	4,1-4,8	>4,8
Percobaan di Laboratorium	< 1,4	1,4-1,7	1,7-2,1	2,1-2,4	> 2,4

Tabel B.5 Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Volume dari Agregat Kasar Kering Oven per Satuan Volume Beton untuk Derajat Kehalusan Pasir yang			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0,60
25	0.71	0.69	0.67	0,65
37,5	0.75	0.73	0.71	0,69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

**Lampiran B.4.8 Tabel Kutipan American Concrete Institute (ACI 211.1-91)  
(3/3)**

Tabel B.6 Volume Perkiraan Awal Berat Beton Segar

<b>Ukuran Maksimum Agregat (mm)</b>	<b>Perkiraan Awal Berat Beton, kg/m<sup>3</sup></b>	
	<b>Beton tanpa Bahan Pemasuk Udara</b>	<b>Beton dengan Bahan Pemasuk Udara</b>
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37.5	2410	2350
50	2445	2345
70	2490	2405
150	2530	2435

## Lampiran C

### Perencanaan *mix design* beton normal

Kokoh beton yang direncanakan ialah: 241 kg/cm<sup>2</sup> atau 20 MPa (silinder) dengan tinggi slump 75-100 mm. Agregat Kasar mempunyai diameter maksimum 19 mm dengan berat volume 1.980 kg/cm<sup>3</sup>. Bahan-bahan yang digunakan ialah semen portland Tipe 1 dengan berat jenis 3,15. Agregat Kasar dengan berat jenis 2,66 dengan *absorbtion* 2,35 % serta modulus kehalusan 5,983. Agregat halus dengan berat jenis 2,35 dan *absorbtion* 3,19% serta modulus kehalusan 3,1

Langkah 1 : Menghitung kuat tekan rata-rata ( $f'_{cr}$ )

$$f'_{cr} = f'_c + Z \cdot S$$

$$f'_c = 20 \text{ MPa} + 1,64 (4)$$

$$= 26,56 \text{ MPa}$$

Langkah 2 : Diameter maksimum aggregate yang direncanakan adalah 19 mm.

Langkah 3 : Jenis beton adalah *Non Air- Entrained Concrete* (konstruksi tidak dipengaruhi oleh perbedaan temperatur akibat membeku dan mencair es; (*freezing and thawing*)). Dari tabel B.2, jumlah air yang dibutuhkan untuk mendapatkan slump 75-100 mm, untuk *Non Air- Entrained Concrete* dengan diameter maksimum agregat 19 mm diperkirakan jumlah air yang diperlukan adalah 205 kg/m<sup>3</sup>.

Langkah 4 : Faktor air semen (*water cement ratio*) untuk *Non Air-Entrained Concrete* dengan tegangan 26,56 dari tabel B.3 adalah 0,69

Langkah 5 : Dari hasil langkah (3) dan langkah (4) jumlah semen yang dibutuhkan dapat dihitung :

$$= \frac{\text{Jumlah Air yang Diperlukan}}{\text{Faktor Air Semen}} = \frac{205}{0,69} = 297,10 \text{ kg/m}^3$$

Lampiran C.4.1 Perhitungan perencanaan *mix design* beton normal (1/4)

## Lampiran C

Langkah 6 : Jumlah Agregat Kasar yang dibutuhkan diperkirakan dengan menggunakan tabel B.5 Agregat halus dengan FM (*fineness modulus*) : 3 dan dengan diameter maksimum mm, jumlah Agregat Kasar yang dibutuhkan adalah  $0,60 \text{ m}^3$  (*on dry rodded basis*) dalam setiap  $\text{m}^3$  beton.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Agregat Kasar (kering)} &= 0,60 \text{ m}^3 \times 1915,0 \text{ kg/ m}^3 \\ &= 1149,0 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Langkah 7 : Dengan diketahui jumlah air, semen dan Agregat Kasar  $1 \text{ m}^3$  beton maka sisanya adalah bagian dari Agregat halus dan udara. Kebutuhan jumlah Agregat halus yang dibutuhkan dapat ditentukan atas salah satu cara yaitu : cara berat dan volume absolut.

### 7.1 Dasar berat

Dari tabel B.6 , berat  $1 \text{ m}^3$  *Non Air – Entrained Concrete* dibuat dengan agregat berdiameter maksimum 19 mm diperkirakan adalah 2345,0 kg (untuk percobaan adukan, penyesuaian kembali dari perbedaan-perbedaan slump, semen, *specific gravity* dari agregat adalah tidak menentukan).

Berat masing-masing bahan yang telah dihitung adalah :

Air ( <i>netto</i> )	: 205 kg/m <sup>3</sup>
Semen	: 297,10 kg/ m <sup>3</sup>
Agregat kasar	: <u>1149,0 kg/ m<sup>3</sup></u> +
Jumlah	: 1651,1 kg/ m <sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat halus} &= 2345,0 \text{ kg} - 1651,1 \text{ kg} \\ &= 694,5 \text{ kg/ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Langkah 8 : Volume silinder} &= 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t \\ &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 0,30 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \text{ (ditambah 20\%)} = 0,0073 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Lampiran C.4.1 Perhitungan perencanaan *mix design* beton normal (2/4)

## Lampiran C

Tabel Rancangan Campuran untuk 1 m<sup>3</sup> Beton

No	Material	Berat 1 m <sup>3</sup>	Silinder m <sup>3</sup>	Berat 1 Silinder	Untuk 9 Benda Uji
1	Semen	297.10	0.0073	2.17	19.516
2	Air	164.81	0.0073	1.20	10.826
3	Agregrat Halus	707.08	0.0073	5.16	46.447
4	Agregrat Kasar	1175.43	0.0073	8.58	77.212
Total		2344.43	0.0073	17.11	154.002

Tabel Rancangan Campuran untuk 1 m<sup>3</sup> Beton (1/2)

No	Material	Jumlah Material Yang Digunakan			
		Persentase (%)			
		0%	60%	65%	70%
		(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	Semen	297.101	118.841	89.130	89.130
2	<i>Fly Ash</i> Batubara	0.000	178.261	207.971	207.971
3	Air	205.000	164.814	164.814	164.814
4	Agregrat Halus	693.899	568.303	568.303	568.303
5	Kerak Boiler	0.000	138.780	138.780	138.780
6	Agregrat Kasar	1149.000	1175.427	1175.427	1175.427
Total		2345.000	2345.000	2344.426	2344.426

Tabel Rancangan Campuran untuk 1 m<sup>3</sup> Beton (2/2)

No	Material	Jumlah Material Yang Digunakan			Total
		Persentase (%)			
		75%	80%	90%	
		(Kg)	(Kg)	(Kg)	
1	Semen	74.275	59.420	29.710	727.899
2	<i>Fly Ash</i> Batubara	222.826	237.681	267.391	1054.710
3	Air	164.814	164.814	164.814	1029.072
4	Agregrat Halus	568.303	568.303	568.303	3535.413
5	Kerak Boiler	138.780	138.780	138.780	693.899
6	Agregrat Kasar	1175.427	1175.427	1175.427	7026.135
Total		2344.426	2344.426	2344.426	2344.426

Lampiran C.4.1 Perhitungan perencanaan *mix design* beton normal (3/4)

### Lampiran C

Tabel Rancangan Campuran untuk 63 Benda Uji (1/2)

No	Material	63 Benda Uji			
		Persentase (%)			
		0%	60%	65%	70%
		(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	Semen	19.516	7.806	6.831	5.855
2	<i>Fly Ash</i> Batubara	0.000	11.710	12.686	13.661
3	Air	13.466	10.826	10.826	10.826
4	Agregrat Halus	45.581	37.331	37.331	37.331
5	Kerak Boiler	0.000	9.116	9.116	9.116
6	Agregrat Kasar	75.476	77.212	77.212	77.212
Total		154.040	154.002	154.002	154.002

Tabel Rancangan Campuran untuk 63 Benda Uji (2/2)

No	Material	Jumlah Material Yang Digunakan			Total
		Persentase (%)			
		75%	80%	90%	
		(Kg)	(Kg)	(Kg)	
1	Semen	74.275	59.420	29.710	133.696
2	<i>Fly Ash</i> Batubara	222.826	237.681	267.391	460.507
3	Air	164.814	164.814	164.814	329.629
4	Agregrat Halus	568.303	568.303	568.303	1136.606
5	Kerak Boiler	138.780	138.780	138.780	277.559
6	Agregrat Kasar	1175.427	1175.427	1175.427	2350.854
Total		2344.426	2344.426	2344.426	4688.851

Lampiran C.4.1 Perhitungan perencanaan *mix design* beton normal (4/4)

**Lampiran C**

Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
0%	BU.1	12.635	0.0053	2383.96	440	24.91	23.51
	BU.2	12.955	0.0053	2444.34	420	23.78	
	BU.3	13.025	0.0053	2457.55	364	20.61	
	BU.4	12.805	0.0053	2416.04	385	21.80	
	BU.5	13.115	0.0053	2474.53	386	21.85	
	BU.6	13.125	0.0053	2476.42	420	23.78	
	BU.7	13.030	0.0053	2458.49	420	23.78	
	BU.8	12.895	0.0053	2433.02	482	27.29	
	BU.9	12.900	0.0053	2433.96	420	23.78	
Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
60%	BU.1	11.955	0.0053	2255.66	70	3.96	4,21
	BU.2	12.310	0.0053	2322.64	80	4.53	
	BU.3	11.535	0.0053	2176.42	80	4.53	
	BU.4	12.000	0.0053	2264.15	70	3.96	
	BU.5	12.245	0.0053	2310.38	50	2.83	
	BU.6	12.045	0.0053	2272.64	80	4.53	
	BU.7	12.650	0.0053	2386.79	80	4.53	
	BU.8	12.120	0.0053	2286.79	90	5.10	
	BU.9	11.845	0.0053	2234.91	70	3.96	

Lampiran C.4.2 Tabel Hasil Pengujian (1/4)

Lampiran C

Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
65%	BU.1	12.230	0.0053	2307.55	80	4.53	3,27
	BU.2	12.005	0.0053	2265.09	60	3.40	
	BU.3	12.215	0.0053	2304.72	50	2.83	
	BU.4	12.050	0.0053	2273.58	50	2.83	
	BU.5	12.170	0.0053	2296.23	70	3.96	
	BU.6	12.325	0.0053	2325.47	50	2.83	
	BU.7	12.180	0.0053	2298.11	60	3.40	
	BU.8	12.285	0.0053	2317.92	50	2.83	
	BU.9	12.275	0.0053	2316.04	50	2.83	
Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
70%	BU.1	11.940	0.0053	2252.83	40	2.26	2.71
	BU.2	11.965	0.0053	2257.55	50	2.83	
	BU.3	12.040	0.0053	2271.70	50	2.83	
	BU.4	12.040	0.0053	2271.70	50	2.83	
	BU.5	12.060	0.0053	2275.47	50	2.83	
	BU.6	11.990	0.0053	2262.26	50	2.83	
	BU.7	12.160	0.0053	2294.34	50	2.83	
	BU.8	12.070	0.0053	2277.36	50	2.83	
	BU.9	11.825	0.0053	2231.13	40	2.26	

Lampiran C.4.2 Tabel Hasil Pengujian (2/4)

Lampiran C

Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
75%	BU.1	11.825	0.0053	2231.13	40	2.26	2.64
	BU.2	11.965	0.0053	2257.55	50	2.83	
	BU.3	11.930	0.0053	2250.94	50	2.83	
	BU.4	11.845	0.0053	2234.91	50	2.83	
	BU.5	11.685	0.0053	2204.72	40	2.26	
	BU.6	11.950	0.0053	2254.72	50	2.83	
	BU.7	11.795	0.0053	2225.47	40	2.26	
	BU.8	11.935	0.0053	2251.89	50	2.83	
	BU.9	11.810	0.0053	2228.30	50	2.83	
Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
80%	BU.1	11.870	0.0053	2239.62	10	0.57	0.57
	BU.2	11.785	0.0053	2223.58	10	0.57	
	BU.3	11.645	0.0053	2197.17	10	0.57	
	BU.4	11.986	0.0053	2261.51	10	0.57	
	BU.5	11.798	0.0053	2226.04	10	0.57	
	BU.6	11.965	0.0053	2257.55	10	0.57	
	BU.7	11.958	0.0053	2256.23	10	0.57	
	BU.8	11.976	0.0053	2259.62	10	0.57	
	BU.9	11.834	0.0053	2232.83	10	0.57	

Lampiran C.4.2 Tabel Hasil Pengujian (3/4)

### Lampiran C

Persentase <i>Fly Ash</i>	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
		(kg)	cm	(kg/cm <sup>3</sup> )	kN	<i>f'c</i>	<i>f'c</i> (rata- rata)
90%	BU.1	11.810	0.0053	2228.30	10	0.57	0.57
	BU.2	11.710	0.0053	2209.43	10	0.57	
	BU.3	11.798	0.0053	2226.04	10	0.57	
	BU.4	11.965	0.0053	2257.55	10	0.57	
	BU.5	11.958	0.0053	2256.23	10	0.57	
	BU.6	11.976	0.0053	2259.62	10	0.57	
	BU.7	11.834	0.0053	2232.83	10	0.57	
	BU.8	11.785	0.0053	2223.58	10	0.57	
	BU.9	11.645	0.0053	2197.17	10	0.57	

Lampiran C.4.2 Tabel Hasil Pengujian (4/4)