PENGARUH PENAMBAHAN ALKALI PADA CAMPURAN BETON DENGAN VARIASI *FLY ASH* DAN SUBSTITUSI 30% KERAK BOILER

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

Disusun Oleh :

FAHRUDIN

NIM : 1505903020045
Bidang : Struktur
Jurusan : Teknik Sipil

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TEUKU UMAR ALUE PEUNYARENG – MEULABOH

2022

PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN ALKALI PADA CAMPURAN BETON DENGAN VARIASI *FLY ASH* DAN SUBSTITUSI 30% KERAK BOILER

Disusun Oleh :

Nama	:	Fahrudin
Nim	:	1505903020045
Bidang Studi	:	Struktur
Jurusan	:	Teknik Sipil

Alue Peunyareng, ...

Disetujui oleh :

Pembimbing

Ir. LISSA OPIRINA, S.T., M.T

NIP. 197905102021212009

Diketahui / Disahkan Oleh :

Dekan Fakultas Teknik	Ketua Jurusan
Universitas Teuku Umar	Teknik Sipil FT-UTU
Dr. Ir. M. ISYA, M.T	**Ir. LISSA OPIRINA, S.T., M.T**

PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN ALKALI PADA CAMPURAN BETON DENGAN VARIASI *FLY ASH* DAN SUBSTITUSI 30% KERAK BOILER

Disusun Oleh :

Nama	:	Fahrudin
Nim	:	1505903020045
Bidang Studi	:	Struktur
Jurusan	:	Teknik Sipil

Alue Peunyareng, ...

Dibahas oleh :

Penguji I	**Penguji II**
Ir. ANDI YUSRA, S.T.,M.T	**Ir. DIAN FEBRIANTI, S.T., MT**
NIP. 197311232021211003	**NIP. 198402192021212003**

Diketahui / Disahkan Oleh :

Dekan Fakultas Teknik	Ketua Jurusan
Universitas Teuku Umar	Teknik Sipil FT-UTU
Dr. Ir. M. ISYA, M.T	**Ir. LISSA OPIRINA, S.T., M.T**

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 Penambahan Alkali Pada Campuran Beton Dengan Variasi Fly Ash dan Substitusi 30% Kerak Boiler". 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 Ir. Lissa Opirina, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam membimbing dan memberi arahan kepada penulis dalam menyelesaikan 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 Ir. Lissa Opirina, S.T.,M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil sekaligus selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam membimbing dan memberi arahan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Andi Yusra, S.T.,M.T selaku dosen penguji I yang telah memberikan masukan kepada penulis guna penyempurnaan penelitian dan untuk semua arahan serta saran yang telah diberikan.
4. Ibu Ir. Dian Febrianti, S.T., M.T selaku dosen penguji II sekaligus pembimbing akademik (PA) yang juga selalu sabar dalam membimbing dan memberikan arahan, motivasi, saran yang bersifat membangun bagi penulis dari awal perkuliahan sampai dengan sidang akhir ini.

5. Dosen-dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar yang telah memberikan pelajaran saat di bangku perkuliahan.
6. Pimpinan dan Staf Tata Usaha Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar yang telah membantu penulis dalam melancarkan surat-menyurat.
7. Kepada teman-teman dan Guru-guru kami diluar sana yang telah membantu memberikan motivasi dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian penelitian ini, Ust. Surianto Sudirman, Lc.,MA, Ust. Fauzi, S.P, Ibu Latifah M, S.Si, Ibu Yunandar Lisma, SP,M.Si, Ikhsan Muhtakin, Zulherda, S.T, Fajar Siddiq, S.E, Rahmad Juliandi, S.Pd, Fahrial Siddiq, Yuda Alfiyanto, S.T, Arivandi, S.T, Risky Febrianto, S.T dan kawan-kawan lainnya.
8. Keluarga tercinta, khususnya untuk Ibunda Siti Halimatun dan Ayahanda Irwan I.U 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 umumya bagi para pembaca.

Penulis, 18 November 2022

FAHRUDIN

NIM : 1505903020045

PENGARUH PENAMBAHAN ALKALI PADA CAMPURAN BETON DENGAN VARIASI *FLY ASH* DAN SUBSTITUSI 30% KERAK BOILER

Oleh :
FAHRUDIN
NIM : 1505903020045

Dosen pembimbing :
Ir. Lissa Opirina, ST.,MT

ABSTRAK

Beton merupakan material utama dalam kontruksi bangunan. *Fly ash* batubara diperoleh dari sisa pembakaran batubara Di Indonesia produksi limbah *fly ash* dari tahun ke tahun terus meningkat sebanding dengan penggunaan batubara sebagai bahan baku industri PLTU. Beton *geopolymer* merupakan material ramah lingkungan yang biasa dikembangkan sebagai alternatif pengganti beton semen di masa mendatang. Alkali aktivator adalah aktivator yang akan mengikat oksida silika pada *fly ash* dan akan bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer. Larutan alkali yang banyak digunakan dalam beton geopolimer adalah kombinasi dari Sodium Silikat (Na2SiO3) dan Sodium Hidroksida (NaOH). Tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan alkali pada campuran beton dengan variasi *fly ash* dan substitusi 30% kerak boiler terhadap campuran beton normal. Rancangan campuran beton normal diperkirakan kekuatan tekan rencana 20 MPa, benda uji silinder Ø15 x 30 cm dengan mengunakan FAS 0,68. Agregrat kasar yang digunakan adalah kerikil dengan diameter agregrat maksimum 19 mm, dan penambahan kerikil : kerak boiler adalah 70% : 30%. 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, 5,03 MPa, 4,43 Mpa, 3,27 MPa, 3,21 MPa, 2,20 MPa dan 1,21 MPa. Hasil tekan optimum rata-rata beton dengan penambahan *fly ash* batubara umur 28 hari yaitu 5,03 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. Beton dengan penambahan *fly ash* dan pengurangan semen perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, dengan adanya penambahan ikatan kimiawi bertujuan untuk mendapatkan perbandingan nilai kuat tekan beton normal.

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

DAFTAR ISI

COVER

PENGESAHAN ..... **ii**

PRAKATA ..... **iii**

ABSTRAK ..... **v**

DAFTAR ISI ..... **vi**

DAFTAR GAMBAR ..... **ix**

DAFTAR TABEL ..... **x**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xi**

BAB I PENDAHULUAN 1

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

BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN 6

2.1 Studi Literatur 6

2.2 Beton Normal 6

2.3 Geopolimer 7

2.4 Bahan Campuran Beton 7

2.5 *Fly ash* batu bara 8

2.5.1 Sifat Fisika *fly ash* 8

2.4.2 Sifat Kimia *fly ash* 9

2.6 Kerak Boiler 10

2.7 Agregat 10

2.8 Air 11

2.9 Alkali Aktivator 12

2.9.1 *Sodium Hidroksida* 13

2.9.2 *Sodium Siliat* 13
2.10 *Slump Test* 13
2.11 Kuat Tekan Beton 14
2.12 Penelitian Relevan 15

BAB III METODELOGI PENELITIAN 15
3.1 Lokasi Penelitian 18
3.2 Persiapan dan Pengadaan Bahan 19
3.3 Peralatan yang Digunakan 19
3.4 Benda Uji 20
3.4.1 Pembuatan dan pematangan benda uji 20
3.4.2 Persiapan pengujian 21
3.4.3 Cara pengujian 21
3.5 Prosedur Penelitian 22
3.5.1 Pemeriksaan sifat fisis agregrat 22
3.5.2 Perencanaan campuran (*mix design*) 22

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 25
4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregrat 25
4.1.1 Berat volume (*bulk density*) 25
4.1.2 Berat jenis dan absorbsi (*specific gravity and absorption*) 26
4.1.3 Susunan butiran agregrat (gradasi) 28
4.2 Perencanaan Campuran (*Mix Design*) 28
4.3 Hasil Pengujian *Slump* 29
4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan 30
4.5 Pembahasan 35

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 40
5.1 Kesimpulan 40
5.2 Saran 41
DAFTAR KEPUSTAKAAN 42

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Partikel *Fly Ash* 9
Gambar 3.1 Lab Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar. 18
Gambar 3.2 Benda Uji Silinder 20
Gambar 3.3 Skema Pengujian Kuat Tekan Beton (silinder)..... 21
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian *Slump*..... 30
Gambar 4.2 Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Normal (28 Hari) 34

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia *fly ash*..... 9
Tabel 3.1 Jumlah Rancangan Benda Uji 23
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Perhitungan Berat Volume 24
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Berat Jenis Agregat 25
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Absorbsi Agregat..... 26
Tabel 4.4 Nilai *Fineness Modulus* (FM) Agregat 28
Tabel 4.5 Rancangan Campuran untuk 1 m^3 Beton 29
Tabel 4.6 Perhitungan kuat tekan beton normal Umur 28 Hari 31
Tabel 4.7 Persentase Penurunan Berat Rata-Rata Pada Umur 28 Hari..... 36
Tabel 4.8 Persentase Penurunan Kuat Tekan Rata-Rata Pada Umur 28 Hari 37
Tabel 4.9 Hasil Perbandingan Kuat Tekan Beton Penelitian Sebelumnya 39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A

Lampiran A.3.1 Bagan Alir Penelitian 43

Lampiran A.3.2 Proses Persiapan Bahan dan Material..... 45

Lampiran A.3.4 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregrat..... 47

Lampiran A.3.5 Proses Pembuatan Benda Uji Beton 48

Lampiran A.3.6 Pengujian *Slump Test*..... 49

Lampiran A.4.1 Proses Perawatan Benda Uji Beton 50

Lampiran A.4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton..... 51

Lampiran B

Lampiran B.4.1 Perhitungan Berat Volume Agregrat (*Bulk Density*) 52

Lampiran B.4.2 Perhitungan Berat Jenis Agregrat *(Specific Gravity)*..... 53

Lampiran B.4.3 Perhitungan Berat Jenis Agregat (*Specific Gravity*) 54

Lampiran B.4.4 Perhitungan *sieve analisa* 55

Lampiran B.4.5 Perhitungan *Fineness Modulus* 56

Lampiran C

Lampiran C.4.1 Perhitungan *Mix Design* Beton Normal..... 57

Lampiran C.4.2 Perhitungan Kuat Tekan Beton..... 61

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material yang utama dalam konstruksi bangunan. Saat ini pada setiap aspek pembangunan tidak dapat terlepas dari pengunaan beton. Sebagai contoh pada suatu pekerjaan pembangunan jalan, gedung, jembatan serta pekerjaan pembangunan yang lain, hampir dari semua pekerjaan tersebut pekerjaan struktur ataupun yang lain tentunya terbuat dari beton.

Beton Geopolymer adalah beton yang dibuat yang tidak menggunakan semen portland dalam produksinya. Tetapi, digantikan dengan *fly ash. Fly ash* dimanfaatkan sebagai sumber material pengganti semen pada beton geopolimer.

Abu terbang (Fly Ash) adalah material yang berasal dari sisa pembakaran batu bara. 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 *fly ash* yaitu dengan menjadikan campuran pada beton dengan teknologi *High Volume Fly Ash*. Akan tetapi *fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, untuk itu diperlukan alkali aktivator yaitu Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dan Sodium Hidroksida (NaOH) untuk membantu proses polimerisasi.

Alkali aktivator adalah aktivator yang akan mengikat oksida silika pada *fly ash* dan akan bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer. Larutan alkali yang banyak digunakan dalam beton geopolimer adalah kombinasi dari Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dan Sodium Hidroksida (NaOH).

Sedangkan menurut Muhammad R (2012) kerak boiler adalah kerak pada proses pembakaran cangkang dan serat buah pada suhu 700-800 0C pada dapur tungku boiler. Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit merupakan

biomas dengan kandungan silika (SiO_2) 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. Dengan besarnya angka produksi tersebut tentu saja limbah yang dihasilkan juga banyak baik berupa limbah padat atau limbah cair. 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.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah adalah bagaimana pengaruh penambahan alkali aktivator terhadap kuat tekan beton geopolimer.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka yang menjadi tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh alkali aktivator yang terjadi pada kuat tekan beton geopolimer dengan komposisi perbandingan *Fly Ash* dan kerak boiler.

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 0,68.
4. Variasi penambahan *fly ash* batu bara adalah 70% : 30%, 65% : 35%, 70% : 30%, 75% : 25%, 80% : 20%, 90% : 10% dengan sembilan sample benda uji.
5. Variasi kerikil : kerak boiler adalah 70% : 30% dengan Sembilan sampel tiap benda uji.
6. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 28 hari.
7. Penambahan perbandingan *fly ash* : alkali aktivator (70:30)

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui manfaat penggunaan abu terbang sebagai limbah pembakaran batu bara pada PLTU sebagai alternatif pengganti semen pada bahan pembuatan beton.
2. Dapat diaplikasikan di lapangan untuk penggunaan beton geopolimer;
3. Dapat menambah wawasan bagi masyarakat luas tentang penggunaan kerak boiler dan *fly ash* batubara yang lebih produktif.
4. Mengetahui pengaruh alkali aktivator terhadap kuat tekan pada beton geopolimer dengan material Fly Ash, kerak boiler dan alkali aktivator .

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 11,911 kg, 11,766 kg, 11,816 kg, 11,738 kg, 11,370 kg dan 11,620 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, 5,03 MPa, 4,43 MPa, 3,27 MPa, 3,21 MPa, 2,20 MPa dan 1,21 MPa. Pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari

belum mencapai dari yang direncanakan, nilai kuat tekan beton menunjukan semakin banyak pemakaian *fly ash* nilai kuat tekan semakin menurun.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai pengaruh penambahan alkali pada campuran beton dan pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan utama dalam pembuatan beton telah banyak dilakukan, seperti penelitian sebelumnya oleh Yuda Alfiyanto, Hasil dan kesimpulan dari beberapa penelitian tersebut digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini. Yuda Alfiyanto (2020), melakukan penelitian beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan substitusi 30% kerak boiler yang menghasilkan kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari dengan variasi *fly ash* 0%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, dan 90% yaitu 23,51 MPa, 6,20 MPa, 5,03 MPa, 5,25 MPa, 1,45 MPa, 1,13 MPa dan 0,57 MPa.

2.2 Beton Normal

Berdasarkan SNI 03-2834-2002, beton normal adalah adalah beton yang mempunyai berat isi (2200 – 2500 kg/m3) 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.

2.3 *Geopolymer*

Beton *geopolymer* adalah suatu jenis beton baru yang 100% tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Beton *geopolymer* adalah beton yang dibuat tanpa semen namun digantikan dengan bahan sumber Silika (Si) dan Aluminium (Al) dengan alkali yang fungsinya sama seperti semen sebagai bahan pengikat atau binder (Turner, Louise K., 2013). Proses pembentukan beton *geopolymer* disebut dengan proses polimerisasi kondensasi, yaitu reaksi gugus fungsi banyak (molekul yang mengandung dua gugus fungsi atau lebih yang dapat bereaksi) yang menghasilkan satu molekul besar bergugus fungsi banyak pula dan diikuti oleh pelepasan molekul kecil (Davidovits, 2011). *geopolymer* dapat dikatakan sebagai binder alkali (pengikat) yang diaktifkan dengan alumino silicate (Davidovits, 2008) Van Deventer, dkk (2010) mengklasifikasikan definisi bahan alkali aktif, polimer anorganik dan *geopolymer* berdasarkan sumber bahan, alkali aktivator dan hasil akhir. Sumber bahan berasal dari abu terbang dengan kalsium rendah dan tanah liat dikalsinasi dengan alkali aktivator dari logam alkali 9 hidroksida atau silikat. Polimer anorganik merupakan bagian dari bahan alkali aktif yang mempunyai jaringan silikat tidak teratur sebagai produk akhir. Alkali yang diaktifkan menghasilkan calcium silicate-hydrate (CSHs).

2.4 Bahan Campuran Beton

Komponen-komponen pada campuran beton diantaranya yaitu agregrat, *fly ash*, kerak boiler, air dan alkali aktivator. 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*).

2.5 *Fly Ash* batu bara

Fly ash adalah abu yang dihasilkan dari transformasi, pelelehan atau gasifikasi dari material anorganik yang terkandung dalam batubara. Pada satu proses pembakaran batubara dihasilkan *fly ash* sekitar 80% dan sisanya merupakan bottom ash yaitu sekitar 20%. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup limbah *fly ash* yang dihasilkan mencapai 85 ton/hari dan limbah bottom ash mencapai 48 ton/hari (Dinas LH Kabupaten Bandung, 2008).

2.5.1 Sifat fisika *fly ash*

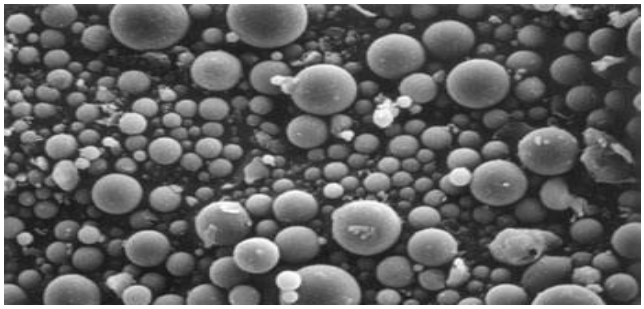
Untuk mendapatkan manfaat dari *fly ash*, terlebih dahulu kita harus mengetahui karakteristik atau sifat-sifat yang terkandung di dalamnya. Karakteristik *fly ash* meliputi : .

1. *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

2. Warna

Fly ash tipe C berwarna lebih terang (putih) bila dibadingkan 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.



mbar 2.1 Partikel *fly ash*

mber : Shinkolobwe, 2009

Tabel 2.1. Komposisi kimia *fly ash*

Komponen	tuminous	b-bituminous	gnite
O2	-60%	-60%	-45%
2O3	35%	-30%	-25%
2O3	-40%	10%	15%
O	12%	30%	-40%
gO	5%	5%	10%
)3	4%	2%	10%
2O	4%	2%	5%
2O	3%	4%	4%
)I	15%	3%	5%

Sumber: Ahmaruzzaman, 2010

2.5.2 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 memilki nilai yang lebih besar bila dibandingkan tipe F. LOI merupakan nilai besarnya jumlah karbon yang tidak terbakar di dalam *fly ash*.

2.6 Kerak Boiler

Menurut (Mulia, 2007) sisa pembakaran abu kerak boiler yang relatif banyak tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti pada batako. Hal tersebut dikarenakan kandungan yang terdapat pada abu kerak hasil pembakaran boiler dari cangkang kelapa sawit mengandung unsur kimia SiO2 31,45 %, dan CaO 15,2% dan Al2O3 sebanyak 1,6% (Jamizar, 2013). Menurut Tjokrodimuljo (1998) abu kerak boiler cangkang kelapa sawit mengandung silika yang tinggi yakni sekitar 89,9 %, Sebab senyawa silika dalam pembuatan beton dapat berpengaruh dalam kekuatan beton dan mampu meningkatkan kekuatannya.

2.7 Agregat

Pada dasarnya beton tidak akan terbentuk tanpa adanya campuran agregat, disini membuktikan bahwa agregat memilki 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.

Agregrat 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.

2.8 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 khlorida 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.

2.9 Alkali aktivator

Alkali aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Dalam penelitian ini, aktivator yang digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi yaitu sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na2siO3). Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur A1 dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat, sedangkan sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi (Hardjito et all, 2004).

2.9.1 Sodium Hidroksida

Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur A1 dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sodium hidroksida yang tersedia berupa serpihan dengan kadar 98%. Sebagai aktivator, sodium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air sesuai dengan molaritas yang diinginkan. Larutan ini dibuat dan diinginkan. Larutan ini harus dibuat dan didiamkan setidaknya selama satu malam sebelum pemakaian. (Hardjito et all, 2005).

2.9.2 Sodium Silikat

Sodium silikat terdapat dalam dua bentuk, yaitu padatan dan larutan dimana untuk campuran beton lebih banyak digunakan dengan bentuk larutan. Sodium silikat atau yang lebih dikenal dengan *water glass*, pada mulanya digunakan dalam campuran pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya, sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, campuran cat, serta beberapa keperluan industri seperti kertas, tekstil dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa sodium silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton. (Hartono & Sutanto, 2005 (dalam Andoyo, 2006)).

2.10 *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

2.11 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 ±0,002 yang dicapai benda uji umur 28 hari (Dipohusodo, 1994). Secara umum untuk perhitungan kuat tekan menggunakan rumus:

$$f\text{'c} = \frac{P}{A} \tag{2.1}$$

dengan :

f'c = kuat tekan (MPa)

P = besarnya gaya yang menekan (N)

A = luas penampang yang dikenai gaya (mm^2)

2.12 Penelitian Relevan

Beberapa penelitian yang relevan dalam penelitian ini antara lain :

1. Penelitian dari Alfiyanto Y (2021) 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 12,216 kg, 12,204 kg, 11,951 kg, 11,697 kg, 11,697 dan 11,571 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, 6,20 MPa, 5,03 MPa, 2,52 MPa, 1,45 MPa, 1,13 MPa dan 0,75 MPa. Pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari belum mencapai dari yang direncanakan, nilai kuat tekan beton menunjukan semakin banyak pemakaian *fly ash* nilai kuat tekan semakin menurun.
2. Penelitian dari Febrianto R (2021) 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 menunjukan semakin banyak pemakaian *fly ash* nilai kuat tekan semakin menurun.
3. Penelitian Penelitian dari Opirina L dkk Pemanfaatan Kerak Boiler Cangkang Sawit Sebagai Substitusi Agregrat 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.

4. Penelitian dari Rangan dan H Pada tahun 2005, Penelitian mengenai campuran beton geopolimer. Konsentrasi *sodium hidroksida (NaOH)* yang digunakan berkisar antara 8M – 16M. Perbandingan massa antara *sodium silikat dan sodium hidroksida* berkisar antara 0.4 sampai 2.5. Sedangkan perbandingan massa antara alkali aktivator dengan *fly ash* kira – kira 35%. Mereka menyimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi molaritas *sodium hidroksida* menyebabkan semakin tinggi pula kuat tekan beton geopolimer. Dan semakin tinggi perbandingan massa antara *sodium silikat* dengan *sodium hidroksida* menyebabkan semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan oleh beton geopolimer tersebut. Kuat tekan beton geopolimer pada umur tujuh hari mencapai 67 MPa setelah di *curing* selama 24 jam pada suhu 60^{o}C.
5. Penelitian dari Putri Eka (2007), melakukan penelitian beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan variasi masa larutan alkali aktivator dan variasi molaritas yang bertujuan untuk mengetahui komposisi campuran yang tepat untuk menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik beton geopolimer yang tinggi dengan mengacu pada penelitian terdahulu. Hasil dari penelitian beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan variasi masa larutan alkali aktivator dapat diuraikan sebagai berikut ini :

1. Semakin tinggi perbandingan massa larutan sodium silikat dan sodium hidroksida tidak selalu menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah yang tinggi pula. Perbandingan massa larutan sodium silikat dan sodium hidroksida = 1,5 merupakan titik puncak optimum untuk kuat tekan dan kuat tarik belah.
2. Semakin tinggi molaritas yang digunakan, maka semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan. Beton geopolimer yang menggunakan molaritas 10M menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik belah

yang lebih besar jika dibandingkan dengan beton geopolimer yang menggunakan molaritas 8M.

3. Dari hasil tes setting time, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi:
   a. Perbandingan massa larutan sodium silikat dan sodium hidroksida maka semakin lama waktu pengikatan awal berlangsung, tetapi semakin cepat waktu pengikatan berakhir.
   b. Molaritas yang digunakan dalam campuran, maka semakin cepat pengikatan awal berlangsung dan pengikatan berakhir.

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.

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 agregrat halus (pasir : kerak boiler) dan perbandingan bahan pengikat (*fly ash* batubara : semen) dilakukan di Meulaboh. 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 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, 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). 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.

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.
- Mal Silinder

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

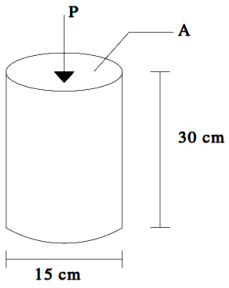
3.4 Benda Uji

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

3.4.1 Pembuatan dan pematangan benda uji

Untuk 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^{o}C disebutkan untuk pematangan *(curing)*, selama waktu yang dikehendaki. Untuk pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembetonan, pematangan *(curing)* disesuaikan dengan persyaratan.



Gambar 3.2. Benda Uji Silinder

Sumber : SNI 03-1974-1990

3.4.2 Persiapan pengujian

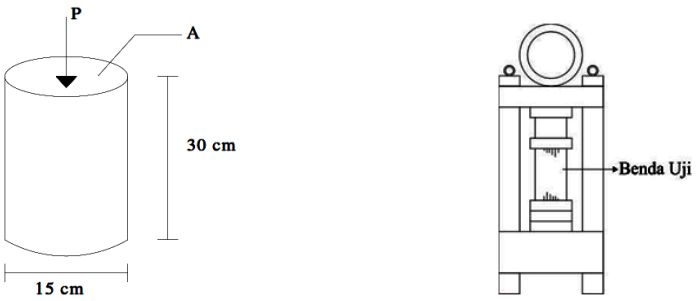
Untuk melakukan persiapan pengujian terhadap benda uji dapat mengikuti langkah sebagai berikut :

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 kg/ cm^2 per 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)
- Absorbsi (ASTM C.128-3)
- Berat volume (ASTM C.I27-88)
- 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 mengunakan faktor air semen 0,68. 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 70% : 30%.

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 Teknik Sipil 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 (Ø15 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 70 : 30%) (*Fly ash* batubara : semen 0 : 100%)	Ø15 x 30 cm	9
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 70 : 30%) (*Fly ash* batubara : semen 60 : 40%)	Ø15 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 70 : 30%) (*Fly ash* batubara : semen 65 : 35%)	Ø15 x 30 cm	9
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 70 : 30%) (*Fly ash* batubara : semen 70 : 30%)	Ø15 x 30 cm	9
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 70 : 30%) (*Fly ash* batubara : semen 75 : 25%)	Ø15 x 30 cm	9
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 70 : 30%) (*Fly ash* batubara : semen 80 : 20%)	Ø15 x 30 cm	9
Silinder (Pasir : Kerak Boiler 70 : 30%) (*Fly ash* batubara : semen 90 : 10%)	Ø15 x 30 cm	9
Total Keseluruhan		**63**

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 C.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 Agregrat**	**Berat Volume (Kg/l)**	**Referensi**
			Orchard (1979)
1	*Coarse Agreggate* (8-12 mm)	1,784	>1,445
2	*Fine Sand* (0-2 mm)	1,855	

Agregrat yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai material pembentuk beton dengan berat volume agregrat kasar (*coarse agreggate*) yaitu 1,784 Kg/l. Sedangkan berat volume terhadap pasir (*fine sand*) yaitu 1,855Kg/l. Kesimpulan pada hasil pemeriksaan berat volume terhadap agregrat kasar dan halus ini memenuhi ketentuan sebagaimana yang disarankan oleh Orchard (1979), menurutnya berat volume agregrat 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 absorbsi *(specific gravity and absorption)*

Proses pemeriksaan nilai berat jenis dan absorbsi dilakukan dengan cara pengambilan sampel terhadap agregrat kasar (*coarse agreggate*), dan pasir (*fine sand*). Ketiga jenis agregat tersebut direndam didalam air dan didiamkan selama 24 jam. Setelah itu dilakukannya penimbangan terhadap ketiga jenis agregrat tersebut menggunakan basket/keranjang untuk mendapatkan nilai berat jenis kering air permukaaan (*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 absorbsi agregrat dapat dilihat pada Lampiran C.4.2 Halaman 51 - 55. Hasil perhitungan berat jenis dan absorbsi terhadap agregrat dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan 4.3 berikut.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Berat Jenis Agregrat

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

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai berat jenis agregrat kasar (*coarse agrggate)* kering air permukaan (*saturate surface dry*/SSD) yaitu 2,66 Kg/l. Sedangkan berat jenis agregrat kasar (*coarse agrggate)* 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 agrggate*), 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 Absorbsi Agregrat

No	Jenis Agregate	Absorbsi (%)	Referensi
			ASTM
1	*Coarse Agreggate* (8-12 mm)	2,35	0,2 - 4,0
2	*Fine Sand* (0-2 mm)	3,19	0,2 - 2,0

Selanjutnya pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai absorbsi terhadap agregat kasar (*coarse aggreggate*) yang diperoleh ialah 2,35 %. Sedangkan untuk nilai absorbsi terhadap pasir (*fine sand*) yaitu sebesar 3,19%. Kesimpulan pada pemeriksaan nilai absorbsi terhadap agregat kasar (*coarse aggreggate*) yang sesuai dengan ketentuan ASTM 0,2 - 4,0 % yaitu agregat kasar yang berukuran 8 - 12 mm dengan nilai absorbsi 2,35 %. Pada pasir (*fine sand*) nilai absorbsinya juga belum sesuai dengan kententuan ASTM sebesar 0,2 - 2,0% dengan nilai absorbsinya sebesar 3,19 %. Dominannya nilai absorbsi 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 absorbsi 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 C.4.3 halaman 67 – 68 dan Lampiran C.4.4 halaman 69 – 70. 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	*Coarse Agreggate* (8-12 mm)	5,983	5,5 - 8,5
2	*Fine Sand* (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 mutu normal dapat dilihat pada Lampiran C.4.5 halaman 56 - 59. Proporsi campuran untuk 1m^3 beton dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rancangan Campuran untuk 1 m^3 Beton (1/2)

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

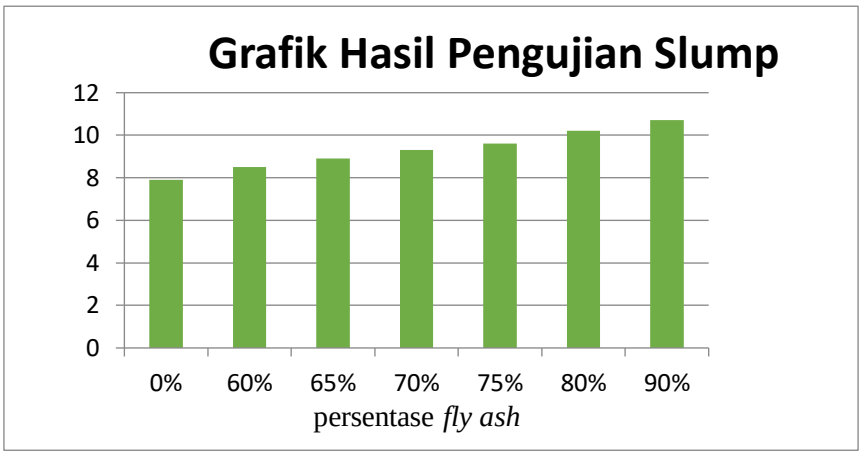
Tabel 4.5 Rancangan Campuran untuk 1 m^3 Beton (2/2)

No	Material	Jumlah Material Yang Digunakan			Total
		Persentase (%)			
		75%	80%	90%	
1	Semen	74.275	59.420	29.710	727.899
2	*Fly Ash* Batubara	222.826	237.681	267.391	1054.710
3	Air	164.814	164.814	164.814	1029.072
4	Agregat Halus	568.303	568.303	568.303	3535.413
5	Kerak Boiler	138.780	138.780	138.780	693.899
6	Agregat 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 kekentalan 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.4.1 Halaman 48 dan Gambar 4.1.

Dari grafik di bawah menunjukan 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.4.2 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.

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 Mutu Tinggi Umur 28 Hari (1/3)

Persentase *Fly Ash*	**Nama Benda Uji**	**Berat Sampel**	**Volume Silinder**	**Berat Isi Beton**	**Beban (P)**	**Kuat Tekan (Mpa)**	
						f'c	***f'c (rata-rata)***

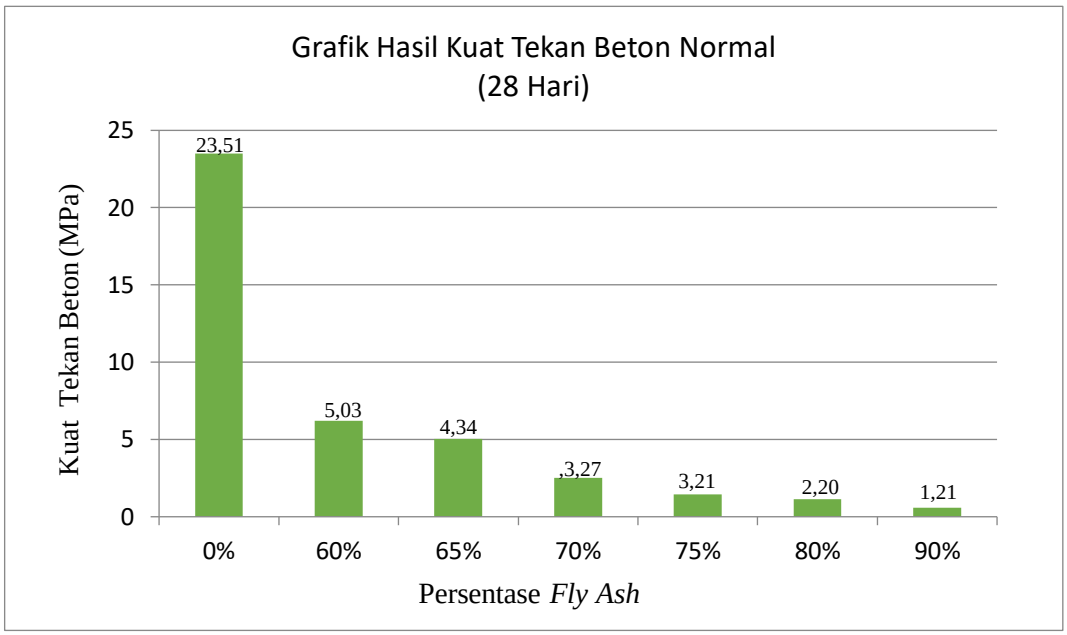
		kg	(kg/m^3)	(kg/m^3)	kN		
0%	BU.1	12,635	0.0053	2383.96	440	24.91	23.51
	BU.2	12,955	0.0053	2444.34	420	23.78	
	BU.3	13,025	0.0053	2457.55	364	20.61	
	BU.4	12,805	0.0053	2416.04	385	21.80	
	BU.5	13,115	0.0053	2474.53	386	21.85	
	BU.6	13,125	0.0053	2476.42	420	23.78	
	BU.7	13,030	0.0053	2458.49	420	23.78	
	BU.8	12,895	0.0053	2433.02	482	27.29	
	BU.9	12,900	0.0053	2433.96	420	23.78	
Persentase *Fly Ash*	**Nama Benda Uji**	**Berat Sampel**	**Volume Silinder**	**Berat Isi Beton**	**Beban (P)**	**Kuat Tekan (Mpa)**	
		kg	**(kg/m^3)**	**(kg/m^3)**	**kN**	***f'c***	***f'c (rata-rata)***
60%	BU.1	11,960	0,0053	2256,60	90	5,10	5,03
	BU.2	11,900	0,0053	2245,28	90	5,10	
	BU.3	11,898	0,0053	2244,91	80	4,53	
	BU.4	11,915	0,0053	2248,11	90	5,10	
	BU.5	11,915	0,0053	2248,11	90	5,10	
	BU.6	11,850	0,0053	2235,85	60	5,10	
	BU.7	11,920	0,0053	2249,06	90	5,10	
	BU.8	11,940	0,0053	2252,83	90	5,10	
	BU.9	11,900	0,0053	2245,28	90	5,10	

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

Persentase *Fly Ash*	Nama Benda Uji	Berat Sampel kg	Volume Silinder (kg/m^3)	Berat Isi Beton (kg/m^3)	Beban (P) kN	Kuat Tekan (Mpa) *f'c*	Kuat Tekan (Mpa) *f'c (rata-rata)*
65%	BU.1	11,885	0,0053	2242,45	80	4,53	4,34
	BU.2	11,885	0,0053	2242,45	90	5,10	
	BU.3	11,950	0,0053	2254,72	90	5,10	
	BU.4	11,980	0,0053	2260,38	80	4,53	
	BU.5	11,250	0,0053	2122,64	60	3,40	
	BU.6	11,960	0,0053	2226,42	80	4,53	
	BU.7	11,980	0,0053	2222,64	70	3,96	
	BU.8	11,940	0,0053	2184,91	80	4,53	
	BU.9	11,880	0,0053	2222,64	60	3,40	
Persentase *Fly Ash*	**Nama Benda Uji**	**Berat Sampel kg**	**Volume Silinder (kg/m^3)**	**Berat Isi Beton (kg/m^3)**	**Beban (P) kN**	**Kuat Tekan (Mpa) *f'c***	**Kuat Tekan (Mpa) *f'c (rata-rata)***
70%	BU.1	11,980	0,0053	2260,38	50	2,83	3,27
	BU.2	11,820	0,0053	2230,19	60	3,40	
	BU.3	11,980	0,0053	2183,02	60	3,40	
	BU.4	11,960	0,0053	2241,51	60	3,40	
	BU.5	11,940	0,0053	2249,06	60	3,40	
	BU.6	11,790	0,0053	2224,53	60	3,40	
	BU.7	11,980	0,0053	2185,85	60	3,40	
	BU.8	11,950	0,0053	2258,49	60	3,40	
	BU.9	11,825	0,0053	2231,13	50	2,83	
Persentase *Fly Ash*	**Nama Benda Uji**	**Berat Sampel kg**	**Volume Silinder (kg/m^3)**	**Berat Isi Beton (kg/m^3)**	**Beban (P) kN**	**Kuat Tekan (Mpa) *f'c***	**Kuat Tekan (Mpa) *f'c (rata-rata)***
75%	BU.1	11,825	0,0053	2231,13	50	2,83	3,21
	BU.2	11,965	0,0053	2257,55	60	3,40	
	BU.3	11,930	0,0053	2250,94	60	3,40	
	BU.4	11,845	0,0053	2234,91	60	3,40	
	BU.5	11,685	0,0053	2204,72	50	2,83	
	BU.6	11,950	0,0053	2254,72	60	3,40	
	BU.7	11,795	0,0053	2225,47	50	2,83	
	BU.8	11,935	0,0053	2251,89	60	3,40	
	BU.9	11,810	0,0053	2228,30	60	3,40	

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

Persentase *Fly Ash*	Nama Benda Uji	Berat Sampel kg	Volume Silinder (kg/m^3)	Berat Isi Beton (kg/m^3)	Beban (P) kN	Kuat Tekan (Mpa)	
						f'c	*f'c (rata-rata)*
80%	BU.1	11,870	0,0053	2239,62	40	2,26	2,20
	BU.2	11,785	0,0053	2223,58	40	2,26	
	BU.3	11,645	0,0053	2197,17	20	1,13	
	BU.4	11,986	0,0053	2261,51	40	2,26	
	BU.5	11,798	0,0053	2226,04	35	1,98	
	BU.6	11,965	0,0053	2257,55	45	2,55	
	BU.7	11,958	0,0053	2256,23	50	2,83	
	BU.8	11,976	0,0053	2259,62	45	2,55	
	BU.9	11,834	0,0053	2232,83	35	1,98	
Persentase *Fly Ash*	**Nama Benda Uji**	**Berat Sampel kg**	**Volume Silinder (kg/m^3)**	**Berat Isi Beton (kg/m^3)**	**Beban (P) kN**	**Kuat Tekan (Mpa)**	
						f'c	***f'c (rata-rata)***
90%	BU.1	11,810	0,0053	2228,30	20	1,13	1,21
	BU.2	11,710	0,0053	2209,43	20	1,13	
	BU.3	11,798	0,0053	2226,04	20	1,13	
	BU.4	11,965	0,0053	2257,55	24	1,36	
	BU.5	11,958	0,0053	2256,23	24	1,36	
	BU.6	11,976	0,0053	2259,62	24	1,36	
	BU.7	11,834	0,0053	2232,83	20	1,13	
	BU.8	11,785	0,0053	2223,58	20	1,13	
	BU.9	11,645	0,0053	2197,17	20	1,13	



Gambar 4.2. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi (28 Hari)

Dari Tabel 4.6 dan Gambar 4.2 menunjukan 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* di persentase 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% dengan penambahan 30% kerak boiler adalah 5,03 MPa, 4,43 Mpa, 3,27 MPa, 3,21 MPa, 2,20 MPa dan 1,21 MPa. Kuat tekan optimum benda uji pada penggunaan *fly ash* yaitu pada persentase 60% (5,03 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 yang hampir sama yaitu berat benda uji beton (0% *fly ash*) sebesar 12,943 kg dan berat isinya 2442,03 kg/m^3. Sedangkan benda uji yang menggunakan 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% diperoleh berat benda uji 11,911 kg, 11,766 kg, 11,816 kg, 11,738 kg, 11,370 kg dan 11,620 kg, serta memiliki berat isi masing-masing yaitu, 2242,03 kg/m^3, 2247,34 kg/m^3, 2219,92 kg/m^3, 2229,35 kg/m^3, 2237,74 kg/m^3, 2237,74 kg/m^3 dan 2232,31 kg/m^3

4.5 Pembahasan

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

Setelah dilakukan pemeriksaan sifat fisis agregat, selanjutnya dilakukan penimbangan terhadap bahan dan material yang digunakan sesuai dengan perencanaan *mix design* beton mutu tinggi. Kemudian bahan dan material tersebut dimasukkan kedalam mesin pengaduk beton (*concrete mixer*) dan diaduk secara merata, selanjutnya dilakukan pengujian *slump test*. Hasil pengujian *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 7,3 cm.

Hasil pengujian *slump test* menunjukan 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.

Selesai melakukan pengujian *slump test* maka material yang telah diaduk siap dimasukkan kedalam cetakan dengan melakukan pemadatan sebanyak 25 kali tumbukan menggunakan stik besi. Cetakan didiamkan selama 24 jam, kemudian dibuka dan direndam dalam bak perendaman sampai umur pengujian beton 28

hari. Setelah mencapai umur pengujian, benda uji diangkat dan diangin-anginkan selama 24 jam dan siap untuk diuji.

Tabel 4.7 Presentase Penurunan Berat Benda Uji Umur 28 Hari

Umur	**Berat Benda Uji**						
	0%	**60%**	**65%**	**70%**	**75%**	**80%**	**90%**
28 Hari (Kg)	12,943	11,911	11,766	11,738	11,860	11,370	11,620
Presentase Penurunan	0	7,97	9,09	12,09	8,36	12,15	10,22

Dari tabel di atas dapat di simpulkan bahwa berat rata-rata benda uji selama 28 hari mengalami penurunan berat dari variasi penggunaan *fly ash* dan kerak boliler, Dari tabel berikut kita dapat menyimpulkan bahwa semakin banyak presentase penggunaan *fly ash* maka akan menghasilkan beton yang lebih ringan. Hal ini disebabkan karena berat jenis *fly ash* batubara sebesar 1,9-2,55 kg/m3 dan berat jenis kerak boiler cangkang kelapa sawit sebesar 2,27 kg/m3. Berat jenis fly ash dan kerak boiler lebih ringan dari berat jenis semen dan kerikil.

Hasil dari penurunan berat benda uji selama 28 hari berat benda uji beton (0% *fly ash*) sebesar 12,943 kg sedangkan benda uji yang menggunakan 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% diperoleh berat benda uji 11,911 kg, 11,766 kg, 11,816 kg, 11,738 kg, 11,370 kg dan 11,620 kg. Berat optimum beton terjadi pada presentase 60% memiliki berat 11,911 kg dan berat minimum beton pada presentase 80% dengan berat 11,11,370 kg.

Hasil pengujian kuat tekan benda uji umur 28 hari dengan penambahan *fly ash* pada variasi 60%, sampai dengan 90% mengalami penurunan pada masing-masing variasi, 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 dan mengalami penurunan pada penambahan *fly ash* pada variasi 60%, 65%, 70%, 75%, 80% dan 90% pada umur 28 hari adalah 5,03 MPa, 4,34 MPa, 3,27 MPa, 3,21 MPa, 2,20

Mpa dan 1,21 MPa, untuk mengetahui hasil penurunan presentase kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 4.8 .

Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mengetahui berat dari benda uji. 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 11,911 kg, 11,766 kg, 11,816 kg, 11,738 kg, 11,370 dan 11,620 kg

Tabel 4.8 Hasil Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Umur 28 Hari

Umur	**Kuat Tekan (MPa)**						
	0%	**60%**	**65%**	**70%**	**75%**	**80%**	**90%**
28 Hari	23,51	5,03	4,34	3,27	3,21	2,20	1,21
Persentase SSSSSSSS(%)	0	78,60	81,54	86,09	86,34	90,64	94,85

Dari tabel 4.8 dapat kita lihat bahwa kuat tekan optimum beton dengan penggunaan *fly ash* terjadi pada persentase 60% sebesar 5,03 Mpa dan kuat tekan minimum terjadi pada 90% sebesar 1,21 Mpa. Pada tabel berikut dapat terlihat bahwa benda uji tanpa menggunakan *fly ash* dan benda uji dengan presentase *fly ash* terbesar mempunyai perbedaan kuat tekan yang cukup jauh. Hal ini di sebabkan karena walaupun kadar silika (Si) dari *fly ash* mendekati semen, akan tetapi kadar kalsiumnya (Ca) sangat rendah apabila di bandinkan dengan semen. *Fly ash* hanya memiliki kandungan kalsium sebesar 14,55% sedangkan kandungan di semen mencapai 60-67%. Untuk itulah *fly ash* tidak bisa mengikat dengan sempurna.

Subtitusi kerak boiler sangat berperan penting dalam campuran beton, karena sifat kimia yang terkandung dalam kerak boiler lebih unggul di bandingkan pasir, karena Ca0 dalam kerak boiler berfungsi membantu semen sebagai bahan pengikat.

Faktor penambahan air sebanyak 25% dari *mix design* yang sudah di rencanakan pada saat pengerjaan pencampuran pengadukan bahan, penambahan tersebut dilakukan karena *fly ash* sangat mudah menyerap air dan mengakibatkan

terlalu kental nya mortar beton. Hal ini menyebabkan grafik kuat tekan cenderung menurun.

Tabel 4.7 Presentase Penurunan Berat Benda Uji Umur 28 Hari

Tabel 4.8 Hasil Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Umur 28 Hari

Umur	**Kuat Tekan (MPa)**						
	0%	**60%**	**65%**	**70%**	**75%**	**80%**	**90%**
28 Hari	23,51	5,03	4,34	3,27	3,21	2,20	1,21

Umur	**Berat Benda Uji**						
	0%	**60%**	**65%**	**70%**	**75%**	**80%**	**90%**
28 Hari (Kg)	12,943	11,911	11,766	11,738	11,860	11,370	11,620
Presentase Penurunan	0	7,97	9,09	12,09	8,36	12,15	10,22
Persentase SSSSSSSS(%)	0	78,60	81,54	86,09	86,34	90,64	94,85

Tabel 4.9 Hasil Perbandingan Kuat Tekan Beton Penelitian sebelumnya

Umur	**Kuat Tekan (MPa)**						
	0%	**60%**	**65%**	**70%**	**75%**	**80%**	**90%**
28 Hari	23,51	6,20	5,03	2,52	1,45	1,13	0,75
Persentase SSSSSSSS(%)	0	73,37	78,39	89,29	93,82	95,20	96,80

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh penambahan alkali pada campuran beton dengan variasi perbandingan *fly ash* batubara : semen terhadap kuat beton normal telah memberikan penulis banyak ilmu dan pemahaman. 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. Berdasarkan pengujian kuat tekan, *fly ash* sebagai pengganti semen pada beton. Kuat tekan rata-rata benda uji beton tanpa penggunaan *fly ash* pada umur 28 hari variasi 0% adalah 23,51 Mpa. Kuat tekan rata-rata tertinggi ada pada variasi *fly ash* 60% dengan nilai kuat tekan rata-rata 5,03 Mpa. Sedangkan kuat tekan terendah ada pada variasi *fly ash* 90% dengan nilai kuat tekan 1,21 Mpa.
3. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari menunjukan bahwa kuat tekan beton optimum benda uji pada penambahan *fly ash* yaitu pada persentase 60% sebesar 5,03 Mpa.
4. Hasil nilai kuat tekan menunjukan semakin banyak penggunaan *fly ash* maka nilai kuat tekan mengalami penurunan.
5. Alkali yang digunakan berfungsi sebagai perekat pada campuran beton.

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 :

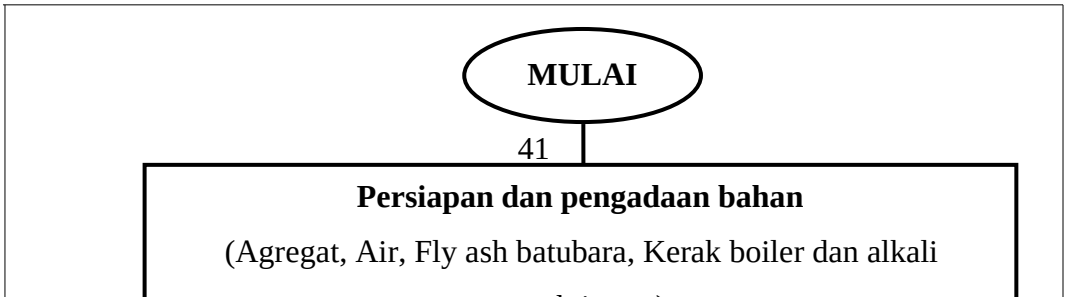
1. Beton dengan penambahan *fly ash* pengurangan semen perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan adanya penambahan ikatan kimiawi bertujuan untuk mendapatkan perbandingan nilai kuat tekan beton normal.
2. Absorsi yang terlalu besar perlu dikurangi
3. Kerak boiler yang digunakan tidak terlalu halus.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

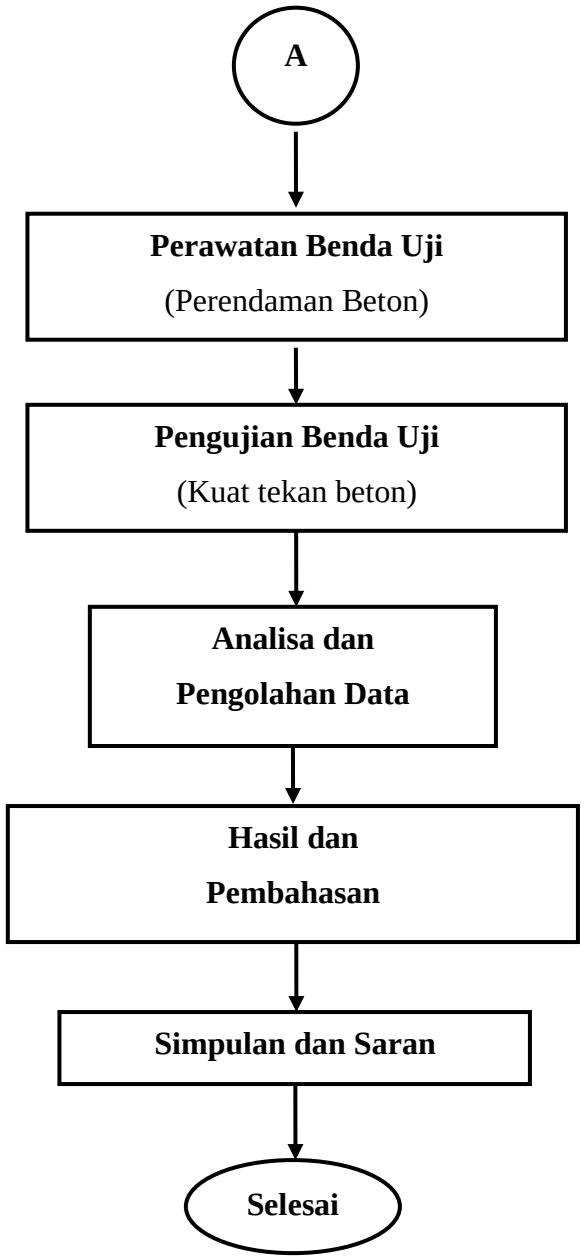
1. ACI 211.1-91, Standard Practice for selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
2. ACI COMMITE 304. 1997."Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications", (ACI 304.1R-92) (Reapproved 1997). Detroit, Michigan, USA: American Concrete Institute.
3. Aer AA dkk, 2014 Pengaruh Variasi Kadar Superplasticizer Terhadap Nilai Slump Beton Geopolymer
4. ASTM C 494/C 494M-04, 2004. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. United States: Association of Standard Testing Materials.
5. Badan Standarisasi Nasional. 1990. SNI 03-1974-1190. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton**,** Jakarta.
6. Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI 03-2834-2002 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal
7. Badan Standardisasi Nasional. 2004. SNI 15-2049-2004. Semen Portland
8. Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI-2847-2013. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
9. Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 2847-2013. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
10. Badan Standarisasi Nasional. 2014 ASTM C618-86 Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton
11. Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI 2049-2016. Semen Portland Pozolan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
12. Harijono D, 2006, dalam Irwanto, 2010 batubara sebagai bahan baku pada industri PLTU

13. Prianti E dkk 2015, Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir pada Pembuatan Beton.
14. Mulyono, T. Teknologi Beton.Yogyakarta. 2004.
15. Opirina L dkk Pemanfaatan Kerak Boiler Cangkang Sawit Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton
16. Alfiyanto Y, 2020. Pengaruh Substitusi 30% Kerak Boiler Sebagai Agregrat Halus Dengan Variasi *Fly Ash* Terhadap Beton Normal
17. 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.
18. Putra AK dkk, 2014 Kuat Tarik Belah Beton Geopolymer Berbasis Abu Terbang (Fly Ash)
19. Rahman F dkk, 2017 Pemanfaatan Hasil Pembakaran Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengganti Pasir Pada Pembuatan Beton Normal
20. 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
21. *Subakti*, A, *1995*, Teknologi Beton dalam Praktek, Jurusan Teknik Sipil FTSP.
22. Tjokrodimuljo, K. 2007. Teknologi Beton.Yogyakarta: Biro Penerbit Jurusan Teknik.
23. Penelitian dari Setiawati M . Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton.
24. *Wardani*, *2008*. Pemanfaatan Limbah Batubara (*Fly Ash*)

Lampiran A



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



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

Lampiran A

Gambar Proses Pengambilan *Fly Ash* batubara

Sumber : Lapangan

Gambar Proses Pengambilan Semen

Sumber : Lapangan

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

Lampiran A

Gambar Proses Pengambilan Agregat

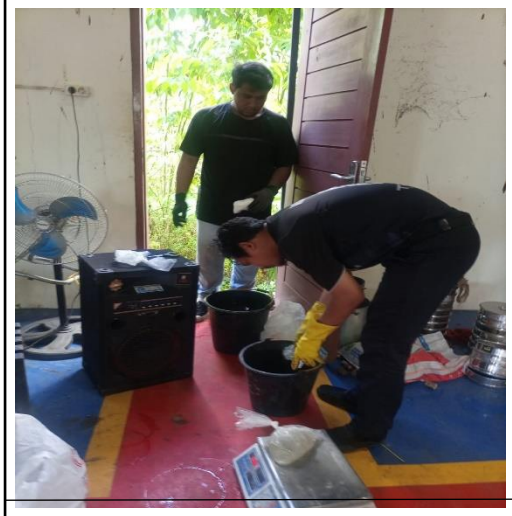
Sumber : Lapangan

Gambar Proses Saringan Kerak Boiler

Sumber : Lapangan

Lampiran A.3.3 Persiapan Bahan dan Material (2/3)

Lampiran A



Gambar Pencampuran alkali

Sumber : Lapangan

Gambar Pemeriksaan Sifat Fisis Agregrat

Sumber : Lapangan

Lampiran A.3.4 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregrat (3/3)

Lampiran A

Gambar Penuangan Bahan dan Material kedalam Campuran Beton

Sumber : Lapangan

Gambar Proses Penuangan Campuran Beton kedalam Cetakan Silinder

Sumber : Lapangan

Lampiran A.3.5 Proses Pembuatan Benda Uji Beton

Lampiran A

Sumber : Lapangan

Lampiran A.3.6 Proses Slump Test

Gambar Proses Perawatan Benda Uji Beton

Sumber : Lapangan

Gambar Pengukuran dan Penimbangan Benda Uji Beton

Sumber : Lapangan

Lampiran A.4.1 Perawatan Benda Uji Beton

Lampiran A

Gambar Pengukuran dan Penimbangan Benda Uji Beton

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 B.4.9 Perhitungan Berat Volume Kerikil (*Coarse Agregate*)

No.	Sampling No.	Weight			Volume Of Container	Bulk Density
		Container (Kg)	Container + Aggregate (Kg)	Aggregate (Kg)	(L)	(Kg/L)
-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 B.4.10 Perhitungan Berat Volume Pasir (*Fine Sand*)

No.	Sampling No.	Weight			Volume Of Container	Bulk Density
		Container (Kg)	Container + Aggregate (Kg)	Aggregate (Kg)	(L)	(Kg/L)
-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 B. 4.11 Perhitungan Berat Jenis Kerikil (*Coarse Agregate*)

No.	WEIGHT	NOTATION	SAMPLE		
			A (gram)	B (gram)	C (gram)
1	2	3	4	5	6
1	Basket	Wc	615	615	615
2	Basket Under Water	Wcw	560	560	560
3	Basket + Aggregat, SSD	Wcs	5695	5685	5765
4	Basket + AggregatUnder Water	Wcsw	3708	3758	3768
5	Aggregate saturated surface dry	Ws = Wcs - Wc	5080	5070	5150
6	Aggregate Under Water	Ww = Wcsw - Wcw	3148	3198	3208
7	Volume of Aggregate, SSD	Wv = Ws - Ww	1932	1872	1942
8	Specific Gravity, SSD	SG,SSD = Ws / Wv	2,63	2,71	2,65
	Average Specific Gravity, SSD		2,66		
9	Basket	Wc'	633	633	633
10	Basket + Aggregate , OD	Wcd	5627	5608	5613
11	Aggregate Oven Dry	Wd = Wcd - Wc'	4994	4975	4980
12	Specific Gravity, OD	SG, OD = Wd / Wv	2,58	2,66	2,56
	Average Specific Gravity, OD		2,60		
13	Water Absorption (%)	100 (Ws - Wd) / Wd	1,72	1,91	3,41
	Average Absorption (%)		2,35		

Sumber : Reskuna (2018)

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

Tabel B.4.12 Perhitungan Berat Jenis Pasir (*Fine Sand*)

No.	WEIGHT	NOTATION	SAMPLE		
			A (gram)	B (gram)	C (gram)
1	2	3	4	5	6
1	Container	Wc	510,6	510,6	510,1
2	Container + Aggregate SSD	Wcs	1542,5	1539,5	1529,3
3	Aggregate saturated surface dry	Ws = Wcs–Wc	1031,9	1028,9	1019,2
4	Container + Aggregate + Water	Wcsw'	2100,4	2097,1	2099,9
5	Container + Water	Wcw"	1490,7	1495,1	1499,1
6	Volume of Aggregate. SSD	Wv = Ws - Wcsw' + Wcw"	422,2	426,9	418,5
7	Specific Gravity,SSD	SG,SSD = Ws / Wv	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	Wd = W'Csw - W'c	994	996	994
11	Specific Gravity, OD	SG, OD = Wd / Wv	2,36	2,33	2,38
	Average Specific Gravity, OD		2,35		
12	Water Absorption (%)	100 (Ws - Wd) / Wd	3,77	3,26	2,55
	Average Water Absorption (%)		3,19		

Sumber : Reskuna (2018)

Lampiran B.4.4 Perhitungan *sieve analisa*

Tabel B.4.13 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	8
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
TOTAL		200	100	200	100	200	100	100

Sumber : Reskuna (2018)

Tabel B.4.14 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	8
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
TOTAL		500	100	500	100	500	100	100

Sumber : Reskuna (2018)

Lampiran B.4.5 Perhitungan *Fineness Modulus*

Tabel B.4.15 Perhitungan *Fineness Modulus* Agregat Kasar

No.	Sieve Size	Individual	Commulative	
		Retained On	Passing Of	Retained On
	(mm)	(%)	(%)	(%)
	1	*2*	*3*	*4*
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 B.4.16 Perhitungan *Fineness Modulus* Agregat Halus

No.	Sieve Size	Individual	Commulative	
		Retained On	PassingOf	Retained On
	(mm)	(%)	(%)	(%)
	1	*2*	*3*	*4*
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 C

Perencanaan *mix design* beton normal

Kokoh beton yang direncanakan ialah: 241 kg/cm^2 atau 20 MPa (silinder) dengan tinggi slump 75-100 mm. Agregat Kasar mempunyai diameter maksimum 19 mm dengan berat volume 1.980 kg/cm^3. 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. Aggregat 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 . S

f'c = 20 MPa + 1,64 (4)

= 26,56 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^3.

Langkah 4 : Faktor air semen (*water cement ratio*) untuk *Non Air-Entrained Concrete* dengan tegangan 26,56 dari tabel B.3 adalah 0,68

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

$$= \frac{JumlahAiryangDiperlukan}{FaktorAirSemen} = \frac{205}{0{,}69} = 301{,}47 \text{ kg/m3}$$

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 m^3 (*on dry rodded basis*) dalam setiap m^3 beton.

Kebutuhan Agregat Kasar (kering) adalah = 0,60 m^3 x 1915,0 kg/ m^3 = 1149,0 kg.

Langkah 7 : Dengan diketahui jumlah air, semen dan Agregat Kasar 1 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 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 (*netto*) : 205 kg/m^3

Semen : 301,47 kg/ m^3

Agregat kasar : 1149,0 kg/ m^3 +

Jumlah : 1655,4 kg/ m^3

Berat agregat halus = 2345,0 kg – 1655,4 kg

= 689,6 kg/ m^3

Langkah 8 : Volume silinder $= 1/4 . \pi . d^2 . t$

$= 1/4 . 3{,}14 . 0{,}15^2 . 0{,}30$

$= 0{,}0053\ m^3$ (ditambah 20%) = 0,0073 m^3

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

Tabel Rancangan Campuran untuk 1 m^3 Beton

No	Material	Berat 1 m^3	Silinder m^3	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^3 Beton (1/2)

No	Material	Jumlah Material Yang Digunakan			
		Persentase (%)			
		0%	60%	65%	70%
1	Semen	297.101	118.841	89.130	89.130
2	*Fly Ash* Batubara	0.000	178.261	207.971	207.971
3	Air	164.81	164.814	164.814	164.814
4	Agregrat Halus	707.08	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		2344.43	2345.000	2344.426	2344.426

Tabel Rancangan Campuran untuk 1 m^3 Beton (2/2)

No	Material	Jumlah Material Yang Digunakan			Total
		Persentase (%)			
		75%	80%	90%	
1	Semen	74.275	59.420	29.710	727.899
2	*Fly Ash* 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)

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

No	Material	63 Benda Uji			
		Persentase (%)			
		0%	60%	65%	70%
1	Semen	19.516	7.806	6.831	5.855
2	*Fly Ash* 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%	
1	Semen	74.275	59.420	29.710	133.696
2	*Fly Ash* 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 D

Persentase *Fly Ash*	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
						f'c	*f'c (rata-rata)*
		kg	(kg/m^3)	(kg/m^3)	kN		
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 *Fly Ash*	Nama Benda Uji	Berat Sampel	Volume Silinder	Berat Isi Beton	Beban (P)	Kuat Tekan (Mpa)	
						f'c	*f'c (rata-rata)*
		kg	(kg/m^3)	(kg/m^3)	kN		
60%	BU.1	11,960	0,0053	2256,60	90	5,10	5,03
	BU.2	11,900	0,0053	2245,28	90	5,10	
	BU.3	11,898	0,0053	2244,91	80	4,53	
	BU.4	11,915	0,0053	2248,11	90	5,10	
	BU.5	11,915	0,0053	2248,11	90	5,10	
	BU.6	11,850	0,0053	2235,85	60	5,10	
	BU.7	11,920	0,0053	2249,06	90	5,10	
	BU.8	11,940	0,0053	2252,83	90	5,10	
	BU.9	11,900	0,0053	2245,28	90	5,10	

Lampiran D

Persentase *Fly Ash*	Nama Benda Uji	Berat Sampel kg	Volume Silinder (kg/m^3)	Berat Isi Beton (kg/m^3)	Beban (P) kN	Kuat Tekan (Mpa) *f'c*	Kuat Tekan (Mpa) *f'c (rata-rata)*
65%	BU.1	11,885	0,0053	2242,45	80	4,53	4,34
	BU.2	11,885	0,0053	2242,45	90	5,10	
	BU.3	11,950	0,0053	2254,72	90	5,10	
	BU.4	11,980	0,0053	2260,38	80	4,53	
	BU.5	11,250	0,0053	2122,64	60	3,40	
	BU.6	11,960	0,0053	2226,42	80	4,53	
	BU.7	11,980	0,0053	2222,64	70	3,96	
	BU.8	11,940	0,0053	2184,91	80	4,53	
	BU.9	11,880	0,0053	2222,64	60	3,40	
Persentase *Fly Ash*	**Nama Benda Uji**	**Berat Sampel kg**	**Volume Silinder (kg/m^3)**	**Berat Isi Beton (kg/m^3)**	**Beban (P) kN**	**Kuat Tekan (Mpa) *f'c***	**Kuat Tekan (Mpa) *f'c (rata-rata)***
70%	BU.1	11,980	0,0053	2260,38	50	2,83	3,27
	BU.2	11,820	0,0053	2230,19	60	3,40	
	BU.3	11,980	0,0053	2183,02	60	3,40	
	BU.4	11,960	0,0053	2241,51	60	3,40	
	BU.5	11,940	0,0053	2249,06	60	3,40	
	BU.6	11,790	0,0053	2224,53	60	3,40	
	BU.7	11,980	0,0053	2185,85	60	3,40	
	BU.8	11,950	0,0053	2258,49	60	3,40	
	BU.9	11,825	0,0053	2231,13	50	2,83	
Persentase *Fly Ash*	**Nama Benda Uji**	**Berat Sampel kg**	**Volume Silinder (kg/m^3)**	**Berat Isi Beton (kg/m^3)**	**Beban (P) kN**	**Kuat Tekan (Mpa) *f'c***	**Kuat Tekan (Mpa) *f'c (rata-rata)***
75%	BU.1	11,825	0,0053	2231,13	50	2,83	3,21
	BU.2	11,965	0,0053	2257,55	60	3,40	
	BU.3	11,930	0,0053	2250,94	60	3,40	
	BU.4	11,845	0,0053	2234,91	60	3,40	
	BU.5	11,685	0,0053	2204,72	50	2,83	
	BU.6	11,950	0,0053	2254,72	60	3,40	

	BU.7	11,795	0,0053	2225,47	50	2,83	
	BU.8	11,935	0,0053	2251,89	60	3,40	
	BU.9	11,810	0,0053	2228,30	60	3,40	

Lampiran D

Persentase *Fly Ash*	**Nama Benda Uji**	**Berat Sampel kg**	**Volume Silinder (kg/m^3)**	**Berat Isi Beton (kg/m^3)**	**Beban (P) kN**	**Kuat Tekan (Mpa)**	
						f'c	***f'c (rata-rata)***
80%	BU.1	11,870	0,0053	2239,62	40	2,26	2,20
	BU.2	11,785	0,0053	2223,58	40	2,26	
	BU.3	11,645	0,0053	2197,17	20	1,13	
	BU.4	11,986	0,0053	2261,51	40	2,26	
	BU.5	11,798	0,0053	2226,04	35	1,98	
	BU.6	11,965	0,0053	2257,55	45	2,55	
	BU.7	11,958	0,0053	2256,23	50	2,83	
	BU.8	11,976	0,0053	2259,62	45	2,55	
	BU.9	11,834	0,0053	2232,83	35	1,98	
Persentase *Fly Ash*	**Nama Benda Uji**	**Berat Sampel kg**	**Volume Silinder (kg/m^3)**	**Berat Isi Beton (kg/m^3)**	**Beban (P) kN**	**Kuat Tekan (Mpa)**	
						f'c	***f'c (rata-rata)***
90%	BU.1	11,810	0,0053	2228,30	20	1,13	1,21
	BU.2	11,710	0,0053	2209,43	20	1,13	
	BU.3	11,798	0,0053	2226,04	20	1,13	
	BU.4	11,965	0,0053	2257,55	24	1,36	
	BU.5	11,958	0,0053	2256,23	24	1,36	
	BU.6	11,976	0,0053	2259,62	24	1,36	
	BU.7	11,834	0,0053	2232,83	20	1,13	
	BU.8	11,785	0,0053	2223,58	20	1,13	
	BU.9	11,645	0,0053	2197,17	20	1,13	