

SKRIPSI

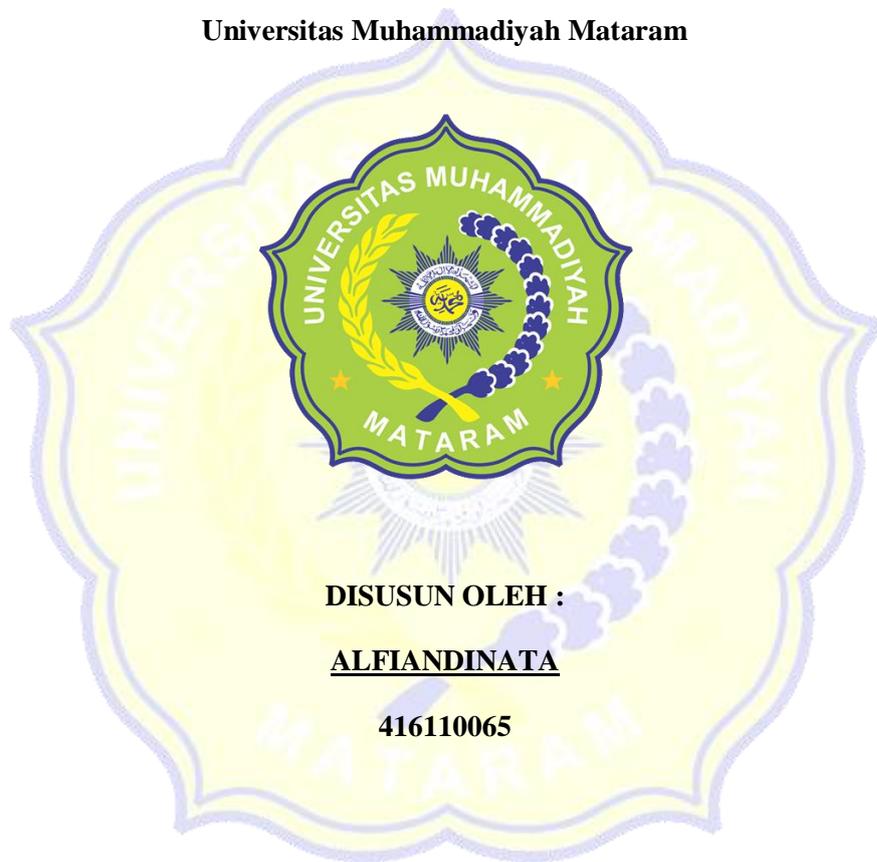
**PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN
SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON**

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi

Pada program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram



DISUSUN OLEH :

ALFIANDINATA

416110065

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

2020

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Skripsi dengan judul "*Pengaruh Penggunaan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton*" adalah benar merupakan karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat atau disebut plagiatisme.
2. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tugas akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah ditulis dalam sumbernya secara jelas dan disebut dalam daftar pustaka.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidak benaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Mataram, 19 Juni 2020

Pembuat pernyataan,



ALFIANDINATA
NIM : 416110065

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

SKRIPSI

PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN
SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON

Disusun Oleh:

ALFIANDINATA

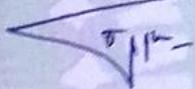
416110065

Mataram, 15 Juni 2020

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng)
NIDN. 0027107301


Titik Wahyuningsih, ST., MT
NIDN. 0819097401

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK

Dekan,



Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT
NIDN. 0824017501

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN FLY ASH SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN
SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON**

Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

NAMA : ALFIANDINATA

NIM : 416110065

Telah dipertahankan didepan Tim Penguji

Pada hari : Selasa, 30 Juni 2020

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

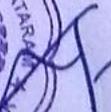
1. Penguji I : Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng)

2. Penguji II : Titik Wahyuningsih, ST., MT

3. Penguji III : Ir. Isfanari, ST., MT

Mengetahui,

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK**

Dekan,

Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT
NIDN. 0824017501



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN

Jl. K.H.A. Dahlan No. 1 Mataram Nusa Tenggara Barat
Kotak Pos 108 Telp. 0370 - 633723 Fax. 0370-641906
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : upt.perpusummat@gmail.com

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ALFIANDINATA
NIM : 416110065
Tempat/Tgl Lahir : Bima, 26 Februari 1998
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp/Email : 082329587489
Jenis Penelitian : Skripsi KTI

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

Pengaruh pengujian Fly Ash sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik beton.

Segala tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Dibuat di : Mataram

Pada tanggal : 10 Agustus 2020

Penulis

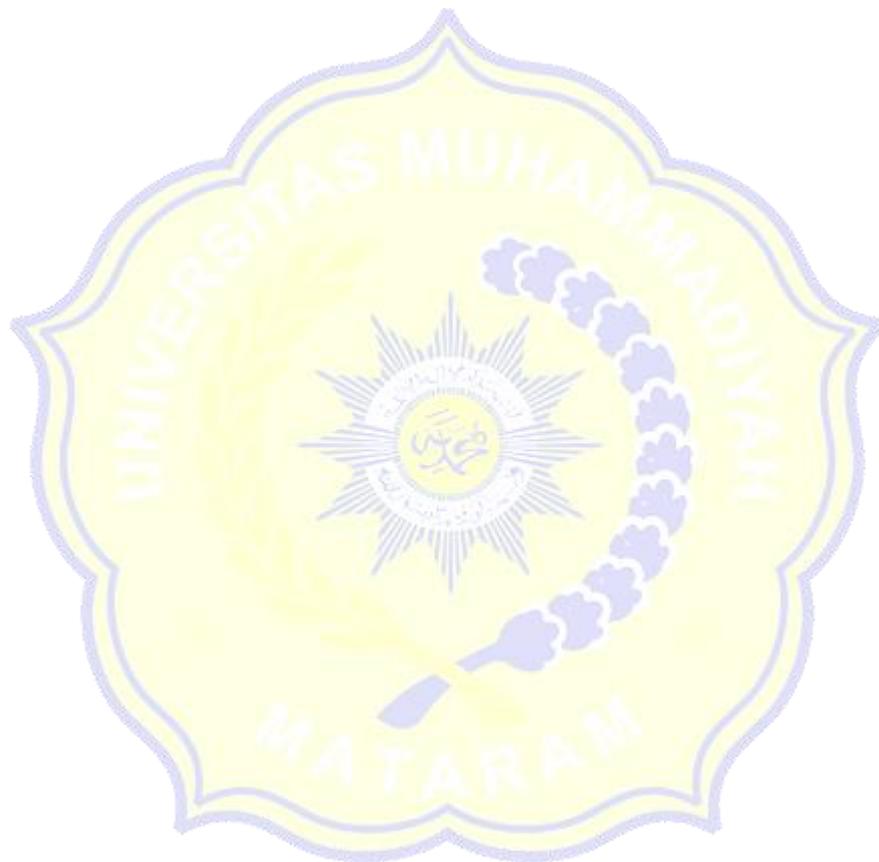


Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

Iskandar, S.Sos., M.A.
NIDN. 0802048904

MOTTO

“ Keberhasilan Bukanlah Milik Orang Yang Pintar, Keberhasilan Adalah Kepunyaan Mereka Yang Senantiasa Berusaha “



UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan dan dorongan baik moril maupun materil dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Dr. H. Arsyad Abd Gani, M.Pd selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Titik Wahyuningsih, S.T.,M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng). selaku Dosen Pembimbing Utama.
5. Titik Wahyuningsih, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Pendamping.
6. Seluruh staf dan pegawai sekertariat Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
7. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeranjang yang telah memberikan bahan tambah pada penelitian ini berupa *Fly Ash*.
8. Kedua Orang Tua dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil serta do'a restunya.
9. Sahabat dan rekan-rekan mahasiswa Teknik atas motivasi dan dukungannya, serta semua pihak yang telah membantu.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala berkat, bimbingan dan karunia-Nya, sehingga penyusun Tugas Akhir dengan judul “ Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton “ dapat terselesaikan. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis yang wajib dibuat untuk menyelesaikan program S-1 pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangannya dan masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu pendapat dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan untuk kelancaran penelitian dan penyempurnaan penulisan selanjutnya. Ucapan terima kasih yang tak terhingga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan penulisan Tugas akhir ini. Akhir kata semoga karya ini bisa bermanfaat bagi pembacanya.

Mataram, 30 Juni 2020

Penulis,

ALFIANDINATA

NIM : 416110065

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
SURAT PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
MOTTO	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.2 Tujuan Studi.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Studi.....	5
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.1.1 Beton Normal.....	7
2.1.2 Penelitian terdahulu	7

2.1.3 Perbandingan Penelitian	9
2.1.4 Sifat Mekanik Beton.....	13
2.1.4.1 Kuat Tekan Beton	13
2.1.4.2 Kuat Tarik Belah Beton	13
2.1.5 Fly ash.....	14
2.2 Landasan Teori.....	16
2.2.1 Deskripsi Beton.....	16
2.2.2 Keunggulan dan Kelemahan Beton.....	17
2.2.3 Sifat Beton	18
2.2.4 Jenis Beton.....	21
2.2.5 Bahan Penyusun Beton.....	21
2.2.6 Bahan Tambahan.....	27
2.2.7 Pengujian Sifat Mekanik Beton	28
2.2.7.1 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	28
2.2.7.2 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	29
2.2.7.3 Pengujian Kuat Geser Beton	29
2.2.8 Pengujian <i>Workability (Slump)</i>	31
1.2.9 Perawatan Beton.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1 Lokasi Penelitian	34
3.2 Bahan dan Alat Penelitian	34
2.2.1 Bahan Penelitian.....	34
3.2.2 Alat Penelitian.....	36
3.3 Kebutuhan Benda Uji	36
3.4 Bagan Alir Penelitian	38
3.5 Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	39
3.6 Langkah-langkah Pengujian	39
3.6.1 Pengujian <i>Workability (Slump)</i>	39
3.6.2 Pembuatan Benda Uji Silinder	40
3.6.3 Pembuatan Benda Uji <i>Double - L</i>	40

3.6.4	Pengujian Kuat Tekan Beton.....	41
3.6.5	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	42
3.6.6	Pengujian Kuat Geser Beton	43
3.7	Metode Analisa Data	44
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1	Hasil Pengujian Agregat Halus	45
4.1.1	Hasil Pengujian Berat Satuan Agregat Halus.....	45
4.1.2	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	46
4.1.3	Hasil Pengujian Kadar Air	47
4.1.4	Hasil Pengujian Gradasi Agregat	48
4.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	49
4.2.1	Hasil Pengujian Berat Satuan Agregat Kasar	49
4.2.2	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air	51
4.2.3	Hasil Pengujian Kadar Air	52
4.2.4	Hasil Pengujian Gradasi Agregat	53
4.3	Desain Campuran Bahan Penyusun Beton (<i>Mix Design</i>).....	54
4.4	<i>Workability</i> Beton (<i>Slump Test</i>).....	56
4.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan	57
4.6	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	60
4.7	Hubungan Antara Kuat Tarik Belah Beton Dengan Kuat Tekan Beton	63
4.8	Hasil Pengujian Kuat Geser Beton.....	66
4.9	Hubungan Kuat Geser dengan Kuat Tekan Beton	69
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
5.1	Kesimpulan	72
5.2	Saran	73
DAFTAR PUSTAKA		74
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu
- Tabel 2.2 Kandungan Kimia *Fly Ash*
- Tabel 2.3 Beton menurut kuat tekannya
- Tabel 2.4 Berat jenis beton yang digunakan untuk konstruksi bangunan
- Tabel 2.5 Susunan unsur semen Portland
- Tabel 2.6 Pengaruh sifat agregat pada sifat beton
- Tabel 2.7 Syarat Agregat Kasar Menurut B.S
- Tabel 2.8 Batas gradasi agregat halus (*British Standard*)
- Tabel 3.1 Kode dan Jumlah Perkiraan Benda Uji
- Tabel 4.1 Hasil pengujian berat satuan agregat halus
- Tabel 4.2 Hasil pengujian berat satuan agregat halus
- Tabel 4.3 Hasil pengujian berat satuan agregat halus
- Tabel 4.4 Hasil pengujian berat satuan agregat halus
- Tabel 4.5 Hasil pengujian berat satuan agregat kasar
- Tabel 4.6 Hasil pengujian berat satuan agregat kasar
- Tabel 4.7 Rekap data hasil pengujian agregat halus dan agregat kasar.
- Tabel 4.8 Kebutuhan Bahan Penyusun Beton per 1 m³
- Tabel 4.9 Selisih Nilai Kuat Tekan Beton
- Tabel 4.10 Selisih Nilai Kuat Tarik Belah Beton
- Tabel 4.11 Hasil Kuat Tarik Belah (f_{ct}) Secara Matematis
- Tabel 4.12 Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan
- Tabel 4.13 Selisih Nilai Kuat Geser Beton
- Tabel 4.14 Hasil Kuat Geser (f_{geser}) secara Matematis
- Tabel 4.15 Hubungan Kuat Geser (f_{geser}) dengan Kuat Tekan (f'_c)

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Sketsa pengujian kuat tekan beton
- Gambar 2.2 Sketsa pengujian kuat tarik belah beton
- Gambar 2.3 Sketsa benda uji *Double-L*
- Gambar 2.4 Area geser sampel *Double-L*
- Gambar 2.5 Sketsa kerucut *abrams*
- Gambar 3.1 Benda uji Silinder dan *Double – L*
- Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian
- Gambar 3.3 Skema pemeriksaan nilai *Slump* beton segar
- Gambar 3.4 *Setting up* alat uji kuat tekan
- Gambar 3.5 *Setting up* alat uji kuat tarik belah
- Gambar 3.6 *Setting up* alat uji kuat geser
- Gambar 4.1 Grafik gradasi agregat halus
- Gambar 4.2 Grafik gradasi agregat kasar
- Gambar 4.3 Grafik hubungan nilai slump dengan *fly ash*
- Gambar 4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder
- Gambar 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder
- Gambar 4.6 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton
- Gambar 4.7 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Silinder
- Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah (F_{ct}) dengan $\sqrt{f'c}$
- Gambar 4.9 Ilustrasi Pemodelan Kuat Tarik Belah
- Gambar 4.10 Grafik Hubungan antara $F_{ct} (1+V)$ dengan $\sqrt{f'c}$
- Gambar 4.11 Pengujian Kuat Geser Beton
- Gambar 4.12 Hasil Pengujian Kuat Geser Beton
- Gambar 4.13 Ilustrasi Permodelan Kuat Geser
- Gambar 4.14 Grafik hubungan f_{geser} dengan $f'c$

DAFTAR NOTASI



A	: luas penampang (mm^2)
ACI	: <i>American Concrete Institute</i>
ASTM	: <i>American Society for Testing and Material</i>
L	: panjang benda uji silinder (mm)
D	: diameter benda uji silinder (mm)
b	: lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
h	: lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)
P	: beban yang bekerja (N)
W_c	: berat beton (kg/m^3)
f'_c	: kuat tekan beton (MPa)
E_c	: modulus elastisitas beton (MPa)
f'_c	: kuat tekan beton (MPa)
F_{ct}	: kuat tarik belah (MPa)
F_{geser}	: kuat geser (MPa)
W_1	: berat wadah (gram)
W_2	: berat wadah + benda uji (gram)
W_3	: berat benda uji (gram)
SSD	: berat jenis kering permukaan (<i>saturated surface dry</i>)
γ_{sat}	: berat satuan agregat (kg/m^3)
BN	: beton normal tanpa tambahan <i>fly ash</i> (%)
FA TK	: <i>fly ash</i> tekan (%)
FA TR	: <i>fly ash</i> tarik (%)
FA GS	: <i>fly ash</i> geser (%)

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur dan kebutuhan akan tempat tinggal memacu inovasi dalam bidang rekayasa struktur, khususnya bidang teknologi bahan konstruksi. Inovasi-inovasi yang dilakukan di antaranya bertujuan untuk menghasilkan material struktur yang memiliki sifat-sifat yang baik dengan metode dan biaya yang ekonomis. Dalam perkembangan teknologi beton sekarang ini, berbagai usaha dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat yang kurang baik pada beton. Salah satu cara yang di gunakan untuk meningkatkan kekuatan serta memperbaiki sifat-sifat yang kurang baik tersebut yaitu dengan menambahkan *Fly Ash* pada campuran beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *Fly ash* sebagai bahan tambah beton normal terhadap sifat mekanik yang ditinjau dari kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat geser.

Pada penelitian ini digunakan persentase *Fly Ash* yang bervariasi sebanyak 0%, 5%, 10%, 20% dan 30% dari berat semen. Mutu beton yang direncanakan 20 MPa yang diuji pada umur 28 hari setelah terlebih dahulu dilakukan curing. Penelitian ini menguji beton dengan benda uji selinder (15 cm x 30 cm) sebanyak 15 sampel dan terdiri dari 5 variasi untuk pengujian kuat tekan, sebanyak 15 sampel dan terdiri dari 5 variasi untuk pengujian kuat tarik belah, dan penelitian ini menguji beton dengan benda uji *double-L* (30 cm x 20 cm x 7,5 cm) sebanyak 15 sampel dan terdiri dari 5 variasi untuk pengujian kuat geser.

Dengan semakin tingginya proporsi penambahan *Fly Ash* maka akan semakin rendah nilai *slump* yang di hasilkan. Pada penelitian ini nilai *slump* menunjukkan bahwa campuran masih dapat dikerjakan dengan baik sampai proporsi *Fly Ash* 20%. Penambahan *Fly Ash* pada campuran beton mutu normal dapat meningkatkan kekuatan beton yang ditinjau dari kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat geser dibandingkan dengan beton tanpa *Fly Ash* dimana proporsi *Fly Ash* maksimum pada tiga pengujian dicapai pada komposisi *Fly Ash* 20% dengan nilai kuat tekan maksimum sebesar 22,364 Mpa meningkat sebesar 6,767% dari beton tanpa *Fly Ash* sebesar 20,948 MPa, komposisi *Fly Ash* 10% dengan nilai kuat tarik belah maksimum sebesar 3.848 MPa meningkat 10,135% dari beton tanpa *Fly Ash* dengan kuat tarik belah 3,491 MPa dan komposisi *Fly Ash* 5% dengan nilai kuat geser maksimum sebesar 19,753 MPa meningkat 3,896% dari beton tanpa *Fly Ash* yang kuat gesernya 19,012 MPa.

Kata kunci : beton mutu normal, *Fly Ash*, kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat geser.

ABSTRACT

Infrastructure construction and the need for shelter bring up innovation in the field of structural engineering, especially in the field of construction material technology. The innovations created were aimed to produce structural materials that have good properties with economical methods and costs. In the development of concrete technology nowadays, various attempts are made to improve the properties of concrete. One of the methods used to improve strength and the unfavorable properties is by adding Fly Ash to concrete mixes. The purpose of this study was to know the effect of adding fly ash as additional concrete material to mechanical properties in terms of compressive strength, split tensile strength, and shear strength.

In this study, the percentage of Fly Ash used was varied at 0%, 5%, 10%, 20% and 30% by weight of cement. The concrete quality planned is 20 MPa was tested at 28 days after curing. This study tested concrete with cylindrical specimens (15 cm x 30 cm) of 15 samples and consisted of 5 variations for compressive strength testing, 15 samples consisted of 5 variations for testing tensile strength, and this study tested concrete with specimens double-L (30 cm x 20 cm x 7.5 cm) of 15 samples and consisted of 5 variations for shear strength testing.

The higher proportion of the addition of Fly Ash the lower the value of the slump produced. In this study, the value of slump showed that the mixture could be done properly until the proportion of Fly Ash is 20%. The addition of Fly Ash in normal quality concrete mix can increase the strength of concrete compressive strength, split tensile strength, and shear strength compared to concrete without Fly Ash. The maximum Fly Ash proportion in three tests was achieved at 20% Fly Ash composition with maximum compressive strength values 22,364 MPa increased by 6,767% of concrete without Fly Ash of 20,948 MPa. The composition of Fly Ash 10% with a maximum tensile strength value of 3,848 MPa increased by 10.135% of concrete without Fly Ash with a tensile strength of 3,491 MPa and composition of Fly Ash 5 % with maximum shear strength 19.753 MPa increased 3.896% from concrete without Fly Ash with a shear strength of 19.012 MPa.

Keywords: normal quality concrete, Fly Ash, compressive strength, tensile strength, and shear strength.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur dan kebutuhan akan tempat tinggal memacu inovasi dalam bidang rekayasa struktur, khususnya bidang teknologi bahan konstruksi. Inovasi-inovasi yang dilakukan di antaranya bertujuan untuk menghasilkan material struktur yang memiliki sifat-sifat yang baik dengan dengan metode dan biaya yang ekonomis.

Salah satu bahan konstruksi yang banyak digunakan adalah beton, beton merupakan salah satu bahan konstruksi pekerjaan sipil yang sangat berperan penting dalam pembangunan. Keistimewaan dari beton adalah mudah dibentuk sesuai dengan keinginan, memiliki nilai kuat tekan yang tinggi, memiliki ketahanan dalam jangka panjang dengan perawatan yang sederhana dan relatif murah karena menggunakan bahan dasar dari bahan lokal (Tjokrodimuljo, 1992). Beton merupakan salah satu material konstruksi yang terdiri dari campuran agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) sebagai bahan pengisi, serta semen dan air sebagai bahan pengikat.

Hal lain yang mendasari pemilihan serta penggunaan beton sebagai bahan konstruksi adalah faktor efektifitas dan tingkat efisiensinya. Secara umum bahan pengisi (*filler*) beton terbuat dari bahan-bahan yang mudah didapat, mudah diolah (*workability*), dan memiliki keawetan (*durability*) serta kekuatan (*strength*) yang sangat diperlukan dalam pembangunan suatu kontruksi.

Beton yang bermutu baik mempunyai beberapa kelebihan diantaranya mempunyai kuat tekan yang tinggi, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, dan tahan terhadap cuaca (panas, dingin, sinar matahari, hujan). Beton juga mempunyai beberapa kelemahan, yaitu lemah terhadap kuat tarik, mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu, sulit kedap air secara sempurna, dan bersifat getas (Tjokrodimuljo, 1996).

Dalam perkembangan teknologi beton sekarang ini, berbagai usaha dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat yang kurang baik pada beton. Menurut Cain (1994: 500-508) menyatakan bahwa salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan penyusun beton adalah bahan tambah mineral (*additive*). Pada saat ini, bahan tambah mineral lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja beton khususnya pada kuat tekan beton, sehingga bahan tambah mineral ini cenderung bersifat penyemenan. Beberapa bahan tambah mineral ini yaitu adalah *pozzollan*, *fly ash*, *slag*, dan *silica fume*.

Menurut Dipohusodo (1994), salah satu upaya pengembangan beton ialah dengan cara memperbaiki sifat mekanik beton itu sendiri, dimana beton dianggap tidak mampu dengan baik menahan beban tarik, dimana kuat tarik beton berkisar antara 9%-15% dari kuat desaknya sendiri.

Dalam penelitian ini, penulis akan menggunakan abu sisa pembakaran batubara berupa *Fly ash* sebagai bahan tambahan yang termasuk dalam jenis limbah. Abu terbang (*Fly ash*) dapat diperoleh di wilayah Indonesia seperti pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Pada pembakaran batubara dalam PLTU, terdapat suatu limbah padat yaitu abu terbang (*Fly ash*). Partikel abu yang terbawa oleh gas buang disebut *Fly ash*. Di Indonesia, produksi limbah abu terbang dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku pada industri PLTU. Pada masa lampau, *Fly ash* diperoleh dari produksi pembakaran batubara secara sederhana, dengan corong gas dan menyebar ke atmosfer. Hal ini yang menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan, karena limbah padat hasil dari tempat pembakaran batubara dibuang sebagai timbunan.

Fly ash dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan mencemari lingkungan. Yang dimaksud dengan bahan berbahaya dan beracun atau kerap disingkat (B3) adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya beracun yang karena sifat atau konsentrasinya dan jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan atau merusakkan

suatu lingkungan hidup, dan dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. *Fly ash* ini terdapat dalam jumlah yang cukup besar, sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, atau perairan, dan penurunan kualitas ekosistem.

Dengan pertimbangan diatas, maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh abu terbang sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton. Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi permasalahan yang ditimbulkan oleh *Fly ash* juga dapat memperbaiki sifat-sifat mekanik beton, yang terdiri dari kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan kuat geser beton, serta menekan biaya pembuatan beton sehingga menjadi lebih ekonomis. Persentase penggunaan *Fly ash* pada campuran beton dibuat bervariasi untuk menjaga mutu beton. Maka berdasarkan ulasan diatas, melatar belakangi penulis untuk melakukan penelitian yang berjudul “PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan *Fly ash* sebagai bahan tambah beton normal terhadap sifat fisik beton segar (*slump*)?
2. Bagaimanakah pengaruh penambahan *Fly ash* sebagai bahan tambah beton normal terhadap sifat mekanik yang ditinjau dari kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat geser?
3. Berapakah proporsi optimum dari penggunaan *Fly ash* sebagai bahan tambah beton normal.?

1.3 Tujuan Studi

Pada penelitian ini penambahan *Fly ash* pada campuran beton bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan *Fly ash* sebagai bahan tambah beton normal terhadap sifat fisik beton segar (*slump*).
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan *Fly ash* sebagai bahan tambah beton normal terhadap sifat mekanik yang ditinjau dari kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat geser.
3. Untuk mengetahui proporsi optimum dari penggunaan *Fly ash* sebagai bahan tambah beton normal.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini ada batasan-batasan permasalahan agar tidak menyimpang dari rumusan masalah di atas untuk membatasi ruang lingkup penelitian. Batasan-batasan tersebut adalah:

1. Perencanaan campuran beton berdasarkan SNI 7656-2012 (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal).
2. Kuat tekan beton rencana (f'_c) 20 Mpa
3. Benda uji yang digunakan yaitu:
 - a. Berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jumlah benda uji sebanyak 30 sampel, yang terdiri dari 3 sampel untuk tiap persentase.
 - b. Berbentuk *double-L* dengan panjang 20 cm, lebar 7,5 cm, dan tinggi 30 cm. Jumlah benda sebanyak 15 sampel, yang terdiri dari 3 sampel untuk tiap persentase.
4. Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tarik belah beton, uji kuat tekan beton, dan uji kuat geser beton. Untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton dilakukan pada umur 28 hari. Sedangkan untuk pengujian kuat geser beton dilakukan pada umur 28 hari.
5. Bahan campuran yang digunakan:
 - a. Semen yang digunakan adalah semen PCC (*Portland Cement Composit*) merk Tiga Roda

- b. Air yang digunakan adalah air yang berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
 - c. Agregat kasar berupa batu pecah dengan butir maksimum 19 mm..
 - d. Agregat halus berupa pasir alam yang berasal dari desa Sedau Lombok Barat.
 - e. *Fly ash* yang digunakan berasal dari sisa pembakaran batubara Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeranjang, kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat.
6. Persentase *Fly ash* yang digunakan adalah 0% (sebagai acuan), 5%, 10%, 20%, dan 30% dari berat semen dalam campuran beton.
 7. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan di Laboatorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.

1.5 Manfaat Studi

Dengan adanya penelitian mengenai pengaruh penggunaan *Fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik beton diharapkan bermanfaat bagi:

1. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat mengurangi limbah *Fly ash*.
2. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang teknologi beton dengan bahan tambahan *Fly ash*.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beton banyak digunakan secara luas sebagai bahan bangunan. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen *portland*, air, dan agregat (dan sekali-kali bahan tambah yang sangat bervariasi berupa bahan tambah kimia, serat, mineral sampai bahan buangan non-kimia) pada perbandingan tertentu. Beton adalah campuran antara semen *portland*, agregat, air, dan terkadang ditambahi dengan menggunakan bahan tambah yang bervariasi mulai dari bahan tambah kimia, serta non kimia dengan bahan bangunan non-kimia pada perbandingan tertentu (Tjokrodimuljo, 2007).

Bahan tambah adalah bahan selain unsur utama beton (air, semen, dan agregat), yang ditambahkan pada adukan campuran beton, sebelum, segera atau selama pengadukan campuran beton. Tujuannya ialah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kekuatan tekan, menambah daktilitas, mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya (Tjokrodimuljo, 2007).

Admixture atau biasa disebut bahan tambah didefinisikan dalam standard *Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-1995:61) dan dalam *Cement and Concrete Terminology* (ACI SP-19) sebagai bahan material selain air, agregat serta semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi suatu sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi (Mulyono, 2004).

Bahan campuran tambahan (*admixture*) ialah bahan yang bukan air, agregat ataupun semen yang ditambahkan kedalam campuran sesaat atau selama pencampuran. Fungsi dari bahan ini ialah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi tepat untuk pekerjaan tertentu, ekonomis atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi (Nawy, 1990).

2.1.1 Beton Normal

Dalam Buku Teknologi Beton, Tjokrodinuljo (2007), beton pada dasarnya ialah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta sewaktu-waktu ditambahkan *additive*.

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200 kg/m³ sampai dengan 2500 kg/m³ dan dibuat dengan menggunakan campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan, membentuk masaa yang padat, kuat, dan stabil (SNI 7656-2012).

Menurut Mulyono (2004), mengungkapkan bahwa beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah.

2.1.2 Penelitian Terdahulu

Fly ash merupakan limbah batubara padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Ada tiga tipe jenis pembakaran batubara pada industri pembangkit tenaga listrik yaitu *dry bottom boilers*, *wet-bottom boilers* dan *cyclon furnace* Apabila batubara dibakar dengan type *dry bottom boiler*, maka kurang lebih 80% dari abu melampaui pembakaran sebagai *Fly ash* dan masuk dalam corong gas. Pada *cyclon furnace*, 70- 80 % dari abu yang tertahan sebagai *boiler slag* dan hanya 20-30% melampaui pembakaran sebagai *dry ash* pada corong gas. (Hudhiyantoro, 2012).

Sumajouw, Windah (2015) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan abu terbang (*Fly ash*) terhadap kuat tarik belah beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh dari penggantian sebagian semen dengan abu terbang (*Fly ash*) terhadap kuat tarik belah beton mutu normal pada kondisi High Volume Fly Ash Concrete. Untuk tipe abu terbang yang digunakan yaitu abu terbang kelas C. Komposisi variasi penambahan abu terbang (*Fly ash*) sebanyak 0% (untuk acuan), 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% dari berat semen. Benda uji yang digunakan ialah berbentuk silinder dan balok yang diuji pada umur 7, 14 dan 28 hari. Penelitian ini menguji beton dengan benda uji silinder (diameter 100 mm dan tinggi 200 mm) dan balok (panjang 400mm, lebar 100mm dan tinggi 100mm) sebanyak 120 sampel dan terdiri dari 6 variasi konsentrasi abu terbang pada pengujian 7, 14, 28 hari dan masing-masing variasi sebanyak 20 sampel. Dari hasil pengujian, penambahan persentase abu terbang (*Fly ash*) sebesar 30%, 40%, 50%, 60%, 70% memiliki nilai kuat tarik belah tertinggi pada persentase abu terbang (*Fly ash*) 30% yaitu sebesar 3,21 MPa untuk umur beton 28 hari. Dan nilai kuat tarik belah terendah pada presentase abu terbang (*Fly ash*) 70% yaitu sebesar 0,82 MPa untuk umur beton 7 hari.

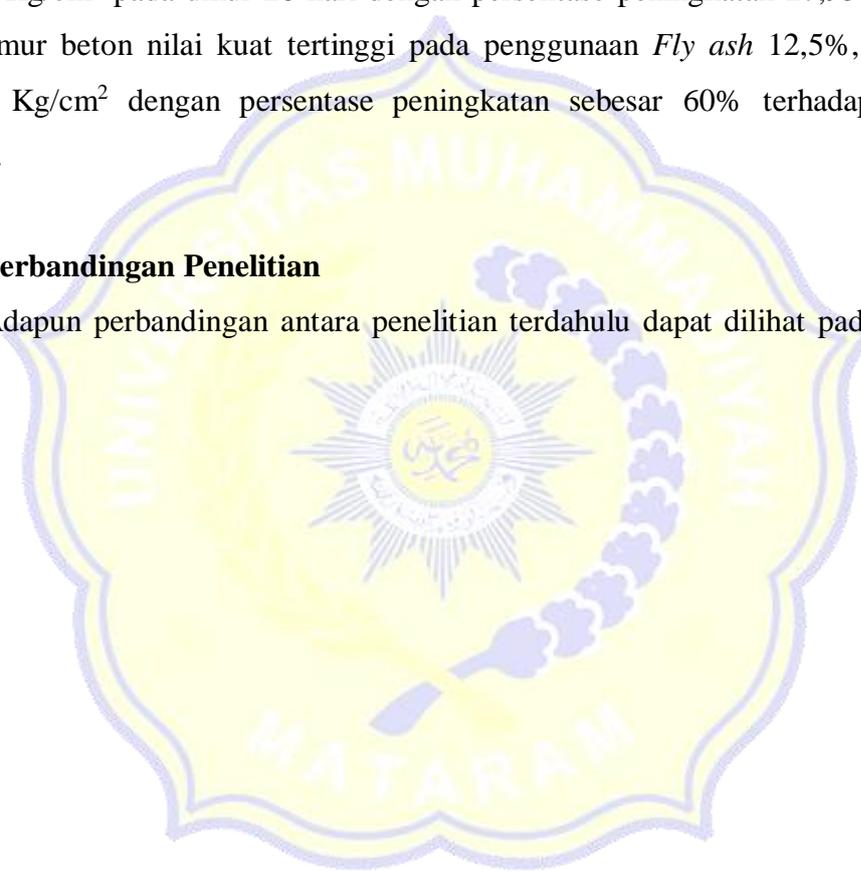
Adibroto, Suhelmidawati, Zade (2018) telah melakukan penelitian mengenai beton eksperimen beton mutu tinggi berbahan *Fly ash* sebagai pengganti sebagian semen. Penelitian tersebut menggunakan campuran beton mutu tinggi dengan komposisi variasi penambahan abu terbang sebanyak 0%, 10%, 12,5%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen. Mutu beton yang direncanakan 40 MPa yang diuji pada umur 7 hari dan 28 hari. Penelitian ini menguji beton dengan benda uji selinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) sebanyak 30 sampel dan terdiri dari 6 variasi. Dari penelitian ini didapatkan kuat tekan optimum pada variasi 10% yaitu sebesar 30,770 MPa. Kuat tekan yang terendah terdapat pada variasi 25% yaitu sebesar 20,046 MPa. Kuat tekan tertinggi yang didapat dari penelitian yaitu 30,770 Mpa.

Setiawati (2018) telah melakukan penelitian mengenai *Fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada beton. Persentase *Fly ash* yang digunakan bervariasi, mulai dari 5% sampai 12,5% dengan interval penggunaan *Fly ash* sebesar 2,5%. Beton akan diuji pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari setelah terlebih dahulu dilakukan *curing*. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus sebanyak 96 benda uji dimana untuk setiap variasi sebanyak 12 benda uji. Dari penelitian ini diperoleh bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada penggunaan 12,5% *Fly ash*, yaitu 404,03 Kg/cm² pada umur 28 hari dengan persentase peningkatan 27,95%. Pada awal umur beton nilai kuat tertinggi pada penggunaan *Fly ash* 12,5%, sebesar 231,04 Kg/cm² dengan persentase peningkatan sebesar 60% terhadap beton normal.

2.1.3 Perbandingan Penelitian

Adapun perbandingan antara penelitian terdahulu dapat dilihat pada **Tabel**

2.1.



Tabel 2.1 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu.

Penelitian Sebelumnya			
Peneliti	Sumajouw, Windah (2015)	Adibroto, Suhelmidawati, Zade (2018)	Setiawati (2018)
Judul Penelitian	pengaruh penambahan abu terbang (<i>Fly ash</i>) terhadap kuat tarik belah beton.	eksperimen beton mutu tinggi berbahan <i>Fly ash</i> sebagai pengganti sebagian semen.	<i>Fly ash</i> sebagai bahan pengganti semen pada beton.
Tujuan Penelitian	Untuk meningkatkan kuat tarik belah beton.	Untuk meningkatkan kuat tekan beton.	Untuk meningkatkan kuat tekan beton.
Parameter yang diuji	Kuat tarik belah beton.	Kuat tekan beton.	Kuat tekan beton.

(Lanjutan) **Tabel 2.1** Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu.

Peneliti	Sumajouw, Windah (2015)	Adibroto, Suhelmidawati, Zade (2018)	Setiawati (2018)
Varian Penelitian	variasi <i>Fly ash</i> yang diuji sebesar 0%, 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% terhadap berat semen	variasi <i>Fly ash</i> yang diuji sebesar 0%, 10%, 12,5%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen	variasi <i>Fly ash</i> yang diuji sebesar 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dari berat semen dalam campuran beton.
Metode Penelitian	Perhitungan (<i>Mix Design</i>) menggunakan SNI 03-2834-2000, dengan umur rencana 7, 14 dan 28 hari, setelah itu dilakukan pengujian uji tarik belah beton. Kemudian analisis data dan kesimpulan.	Perhitungan (<i>Mix Design</i>) menggunakan <i>American Concrete Institute (ACI)</i> , dengan umur rencana 7 dan 28 hari, setelah itu melakukan pengujian uji kuat tekan beton. Kemudian analisis data dan kesimpulan.	Perhitungan (<i>Mix Design</i>) menggunakan <i>American Concrete Institute (ACI)</i> , dengan umur rencana 3, 7, 14 dan 28 hari, setelah itu melakukan pengujian uji kuat tekan beton. Kemudian analisis data dan kesimpulan.

(Lanjutan) **Tabel 2.1** Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu.

Peneliti	Sumajouw, Windah (2015)	Adibroto, Suhelmidawati, Zade (2018)	Setiawati (2018)
Hasil Penelitian	Dari hasil pengujian, penambahan persentase abu terbang (<i>Fly ash</i>) sebesar 30%, 40%, 50%, 60%, 70% memiliki nilai kuat tarik belah tertinggi pada persentase abu terbang (<i>Fly ash</i>) 30% yaitu sebesar 3,21 MPa untuk umur beton 28 hari. Dan nilai kuat tarik belah terendah pada presentase abu terbang (<i>Fly ash</i>) 70% yaitu sebesar 0,82 MPa untuk umur beton 7 hari.	Dari penelitian ini didapatkan kuat tekan optimum pada variasi 10% yaitu sebesar 30,770 MPa. Kuat tekan yang terendah terdapat pada variasi 25% yaitu sebesar 20,046 MPa. Kuat tekan tertinggi yang didapat dari penelitian yaitu 30,770 Mpa.	Dari penelitian ini diperoleh bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada penggunaan 12,5% <i>Fly ash</i> , yaitu 404,03 Kg/cm ² pada umur 28 hari dengan persentase peningkatan 27,95%. Pada awal umur beton nilai kuat tertinggi pada penggunaan <i>Fly ash</i> 12,5%, sebesar 231,04 Kg/cm ² dengan persentase peningkatan sebesar 60% terhadap beton normal.

2.1.4 Sifat Mekanik Beton

2.1.4.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang diinginkan, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kuat tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan ialah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kekuatan tekan beton dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 atau kubus dengan prosedur BS-1881 hal 116 pada umur 28 hari.

Kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas dan dinyatakan dengan Mpa. Kuat tekan beton (f'_c) dilakukan dengan melakukan uji silinder beton dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pada umur 28 hari dengan tingkat pembebanan tertentu. Selama periode 28 hari silinder beton ini biasanya ditempatkan dalam sebuah ruangan dengan temperatur tetap dan kelembapan 100%.

Menurut (Departemen Pekerjaan Umum, 1990/ SNI 03-1974-1990) yang dimaksudkan dengan kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan.

2.1.4.2 Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik beton bervariasi antara 9% sampai 15% dari kuat tekannya. Alasan utama dari kuat tarik yang kecil ini ialah kenyataan bahwa beton dipenuhi oleh retak-retak halus. Retak-retak ini tidak berpengaruh besar bila beton menerima beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekanan. Jelas ini tidak terjadi bila balok menerima beban tarik. Meskipun biasanya diabaikan dalam perhitungan desain, kuat tarik tetap merupakan sifat penting yang mempengaruhi ukuran beton dan seberapa besar retak yang terjadi. Selain itu, kuat tarik dari batang beton diketahui

selalu akan mengurangi jumlah lendutan. Karena kuat tarik beton tidak besar, hanya sedikit usaha yang dilakukan untuk menghitung modulus elastisitas tarik dari beton.

Sifat kuat tarik dipengaruhi oleh mutu betonnya. Setiap usaha perbaikan mutu beton untuk kekuatan tekan hanya disertai oleh peningkatan yang kecil dari kuat tariknya. Dalam SI ditentukan hubungan antara kuat tarik dengan kuat tekannya (f_c) adalah $0,5 \sqrt{f_c} - 0,6 \sqrt{f_c}$. Menurut perkiraan kasar, nilai kuat tarik berkisar antara 9 % sampai dengan 15 % dari kuat tekannya. Nilai pastinya sulit diukur (Mulyono,2004).

2.1.5 Fly Ash

Menurut Mulyono (2005), abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. *Fly ash* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu abu terbang yang normal dihasilkan dari pembakaran batu bara antrasit atau batu bara *bitomius* dan abu terbang kelas C yang dihasilkan dari batu bara jenis lignite atau *subbitumius*. Abu terbang kelas C kemungkinan mengandung kapur (*lime*) lebih dari 10% beratnya. Kandungan kimia yang dibutuhkan dalam *fly ash* tercantum dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Kandungan Kimia *Fly Ash* (Mulyono, 2005)

Senyawa kimia	Jenis F	Jenis C
Oksida silika (SiO ₂) + oksida alumina (Al ₂ O ₃) + Oksida besi (Fe ₂ O ₃), minimum %	70.0	50.0
Trioksida sulfur (SO ₃), maksimum %	5.0	5.0
Kadar air, maksimum %	3.0	3.0
Kehilangan panas, maksimum %	6.0 ^A	6.0

^A Penggunaan sampai dengan 12% masih diizinkan jika ada perbaikan kinerja atau hasil test laboratorium menunjukkan demikian.

Sumber : Mulyono, 2005

Menurut Lincolen (2017), Abu batubara merupakan limbah dari proses pembakaran batubara pada pembangkit tenaga uap. Abu batubara bersifat

pozzolan, yakni bahan yang mengandung senyawa silika dan alumunium. Pada dasarnya, abu batubara tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun karena ukurannya yang halus dan adanya air, oksida silika yang terkandung dalam abu batubara akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen, sehingga akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

Saat ini penggunaan batu bara di kalangan industri semakin meningkat volumenya, karena harga yang relatif murah dibandingkan harga bahan bakar minyak untuk industri. Penggunaan batu bara sebagai sumber energy pengganti BBM, di satu sisi sangat menguntungkan, namun di sisi lain dapat menimbulkan masalah. Masalah utama dari penggunaan batu bara adalah abu batubara yang merupakan hasil sampingan pembakaran batubara. Sejumlah penggunaan batubara akan menghasilkan abu batubara sekitar 2-10 %. Pada saat ini, pengendalian limbah abu batu bara hanya terbatas pada penimbunan di areal pabrik (*ash disposal*). (Setiawati, 2018).

Abu batubara merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus amorf. Abu tersebut merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral (*mineral matter*) karena proses pembakaran. Proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan membentuk dua jenis abu, yaitu abu terbang (*Fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Komposisi abu batu bara terdiri dari 10-20 % abu dasar dan 80-90% berupa abu terbang. (Setiawati, 2018).

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meninjau pengaruh bahan tambah terhadap peningkatan mutu beton. Damayanti dan Rochman (2006) dalam jurnal penelitian setiawati (2018) melakukan penelitian dengan menambahkan *microsilica* dan *Fly ash* dalam campuran beton. Penelitian ini menghasilkan kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari sebesar 69,736 MPa dengan perbandingan kadar *microsilica* 10% dan *Fly ash* 0%, dengan menggunakan fas 0,3. Pujiyanto (2010) dengan menggunakan bahan tambah *superplasticizer* dan *Fly ash* menghasilkan kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari sebesar 57,11 MPa dengan kadar *superplasticizer* yang digunakan sebesar 2% dan *Fly ash* 12%.

Sebayang (2006) dalam jurnal penelitian setiawati (2018) dengan menggunakan bahan tambah *Fly ash* sebagai substitusi sejumlah semen tipe V, kuat tekan maksimum didapatkan pada saat beton berumur 56 hari dengan kuat tekan maksimum 55,275 MPa dengan kadar *Fly ash* 20%. Kemudian Sebayang (2011) kembali meneliti penggunaan *silica fume* sebagai bahan tambah pada beton alir mutu tinggi. Hasil penelitiannya diperoleh kuat tekan maksimum sebesar 51,35 MPa pada umur 56 hari dengan kadar *silica fume* sebesar 9%. Nugraheni (2011) pada beton mutu tinggi dengan serat baja dan *filler* nanomaterial berupa pasir kuarsa menghasilkan kuat tekan maksimum pada umur 28 hari sebesar 71,06 MPa dengan kadar *filler* nano material 10%. Hasil penelitian tersebut menunjukkan peningkatan kuat tekan beton dengan hasil yang berbeda-beda untuk masing- masing penelitian.

Danasi dan Lisantono (2015) dalam jurnal penelitian setiawati (2018) dalam penelitian “pengaruh penambahan *Fly ash* pada beton mutu tinggi dengan *silica fume* dan *filler* pasir kwarsa” mendapatkan bahwa penggunaan *Fly ash* 5%, *silicafume* 10% dan *superplasticizer* 2% dari berat semen pada beton mutu tinggi memberikan hasil yang maksimum pada 75,06 Mpa.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Deskripsi Beton

Menurut SNI 2847:2013, beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik oleh karena itu beton banyak dipakai atau dipergunakan untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur bangunan, jembatan dan jalan.

Beton ialah suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus) dan dengan atau bahan tambah (*admixture*) apabila diperlukan. Semen dan air membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat,

agregat kasar dan halus berfungsi sebagai bahan pengisi dan penguat. Variasi ukuran agregat dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik sesuai dengan standar analisa saringan dari ASTM (*America Society of Testing Materials*). Bahan – bahan dipilih yang sesuai dengan kebutuhan yang direncanakan. Pemilihan bahan ini sendiri akan mempengaruhi konstruksi dari segi kemudahan pengerjaan (*workability*), karena dari segi kemudahan pengerjaan ini sendiri terdapat banyak variasi yang memenuhi yaitu dari segi kualitas, harga dan mutu beton itu sendiri.

Beton terdiri dari ± 15 % semen, ± 8 % air, ± 3 % udara, selebihnya pasir dan kerikil. Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda-beda, tergantung pada cara pembuatannya. Perbandingan campuran, cara pencampuran, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, dan sebagainya akan mempengaruhi sifat-sifat beton. (Wuryati, 2001).

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*Portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah (*admixture atau additive*). Nawy (1985:8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya.

2.2.2 Keunggulan dan Kelemahan Beton

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) beton memiliki beberapa kelebihan antara lain sebagai berikut:

1. Harga relatif lebih murah karena menggunakan bahan-bahan dasar yang umumnya mudah didapat,
2. Termasuk bahan yang awet, tahan aus, tahan panas, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, sehingga biaya perawatan menjadi lebih murah,
3. Mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan yang mempunyai kuat tarik tinggi sehingga dapat menjadi satu kesatuan struktur yang tahan tarik dan tahan tekan, untuk itu struktur beton bertulang dapat diaplikasikan atau dipakai untuk pondasi, kolom, balok, dinding, perkerasan jalan,

landasan pesawat udara, penampung air, pelabuhan, bendungan, jembatan dan sebagainya,

4. Pengerjaan atau *workability* mudah karena beton mudah untuk dicetak dalam bentuk dan ukuran sesuai keinginan. Cetakan beton dapat dipakai beberapa kali sehingga secara ekonomi menjadi lebih murah.

Walaupun beton mempunyai beberapa kelebihan, beton jua memiliki beberapa kekurangan, menurut (Tjokrodimuljo, 2007) kekurangan beton adalah sebagai berikut ini.

1. Bahan dasar penyusun beton (agregat halus maupun agregat kasar) bermacam-macam sesuai dengan lokasi pengambilannya, sehingga cara perencanaan dan cara pembuatannya bermacam-macam,
2. Beton mempunyai beberapa kelas kekuatannya sehingga harus direncanakan sesuai dengan bagian bangunan yang akan dibuat, sehingga cara perencanaan dan cara pelaksanaan bermacam-macam pula,
3. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga getas atau rapuh dan mudah retak. Oleh karena itu perlu diberikan cara-cara untuk mengatasinya, misalnya dengan memberikan baja tulangan, serat baja dan sebagainya agar memiliki kuat tarik yang tinggi.

2.2.3 Sifat Beton

Beton bersifat getas, sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya bila kuat tekannya tinggi, umumnya sifat-sifat yang lain juga baik.

Menurut (Tjokrodimuljo, 2012) beton memiliki beberapa sifat yang dimiliki beton dan sering di pergunakan untuk acuan adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan

Beton bersifat getas sehingga mempunyai kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah. Oleh karena itu kuat tekan beton sangat berpengaruh pada sifat yang lain.

Tabel 2.3 Beton menurut kuat tekannya (Tjokrodinuljo, 2007)

Jenis Beton	Kuat Tekan (Mpa)
Beton sederhana	Sampai 10 Mpa
Beton normal	15-30 Mpa
Beton prategang	30-40 Mpa
Beton kuat tekan tinggi	40-80 Mpa
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80 Mpa

2. Berat jenis

Tabel 2.4 menjelaskan mengenai berat jenis beton yang digunakan untuk konstruksi bangunan (Tjokrodinuljo, 2007).

Jenis Beton	Berat Jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktur
Beton ringan	1,00-2,00	Struktur ringan
Beton normal	2,30-2,40	Struktur
Beton Berat	> 3,00	Perisai sinar X

3. M

odulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Persamaan modulus elastisitas beton dapat diambil sebagai berikut (Tjokrodinuljo, 2007: 77):

$$E_c = (W_c)^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f_c} ; \text{ untuk } W_c = 1,5-2,5 \dots \dots \dots (2.1)$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f_c} ; \text{ untuk beton normal} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

W_c = berat beton (kg/m^3)

f_c = kuat tekan beton (Mpa)

E_c = modulus elastisitas beton (Mpa)

4. Kerapatan Air

Pada bangunan tertentu beton diharapkan dapat rapat air (kedap air) agar tidak bocor, misalnya plat atap, dinding *basement* dan sebagainya. Selain itu juga untuk mencegah terjadinya karat pada baja tulangan, diperlukan beton yang rapat air. Beton rapat air (kedap air) ialah beton yang sangat padat sehingga air tidak dapat meresap ke dalamnya atau rembes melalui pori-pori dalam beton. Pembuatan beton kedap air (Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air, SNI-03-2941-1992) dapat diusahakan dengan cara:

- a. Menambah butiran pasir halus (yaitu semen dan pasir yang lebih kecil dari 0,30 mm) sampai sekitar 400 - 520 kg per meter kubik beton,
- b. Menambah jumlah semen sampai sekitar 280 - 380 kg per meter kubik beton,
- c. Faktor air semen maksimum 0,45-0,50 (tergantung kedap air tawar, atau kedap air payau / air laut),
- d. Memakai jenis semen portland tertentu (tergantung kedap air tawar, atau kedap air payau / air laut).

5. Susutan Pengeras

Volume beton setelah keras sedikit lebih kecil dari pada volume beton waktu masih segar, karena pada waktu mengeras beton mengalami sedikit penyusutan karena penguapan air. Bagian yang susut adalah pastanya karena agregat tidak merubah volume. Oleh karena itu semakin besar pastanya semakin besar penyusutan beton. Sedangkan pasta semakin besar faktor air semennya maka semakin besar susutannya. Semakin besar pasta semakin besar penyusutan beton. Sedangkan pasta semakin besar faktor air semennya maka semakin besar susutannya.

2.2.4 Jenis Beton

Pada umumnya beton sering digunakan sebagai struktur dalam konstruksi suatu bangunan. Dalam teknik sipil, beton digunakan untuk bangunan fondasi, kolom, balok dan pelat. Menurut Mulyono (2004). terdapat beberapa jenis beton yang dipakai dalam konstruksi suatu bangunan yaitu sebagai berikut:

1. Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat normal,
2. Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja secara bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja,
3. Beton pracetak adalah beton yang elemen betonnya tanpa atau dengan tulangan yang dicetak di tempat yang berbeda dari posisi akhir elemen dalam struktur,
4. Beton pratekan adalah beton dimana telah diberikan tegangan dalam bentuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja,
5. Beton ringan adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m^3 kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural.

2.2.5 Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton meliputi air, semen *portland*, agregat kasar dan halus serta bahan tambah, di mana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan, bila kuat tekan tinggi maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan perawatan) serta umur beton

(Tjokrodimuljo, 1996). Berikut adalah bahan penyusun beton yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Semen *Portland*

Menurut Mulyono, 2004. Semen Portland (*Portland cement*) adalah semen *hidrolis* yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Nama (*Portland sement*) diusulkan oleh Joseph Aspdin pada tahun 1824. Nama itu diusulkan karena berbentuk bubuk yang dicampur dengan air, pasir dan batu-batuan yang ada di pulau Portland, Inggris. Pertama kali semen Portland diproduksi (dengan pabrik) di Amerika Serikat oleh David Saylor dikota Coplay, pada tahun 1875. (Tjokrodimuljo, 2007).

Bahan dasar semen Portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silica, alumina, dan oksida besi, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Susunan unsur semen Portland

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60 – 65
Silika, SiO ₂	17 – 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 – 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 – 6
Magnesia, Mg ₃	0,5 – 4
Sulfur, S ₀ ₃	1 – 2
Soda/Potash, Na ₂ O + K ₂ O	0,5 – 1

Sumber: Tjokrodimuljo, 2007

Menurut (SNI 15-2049-2004), semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal

senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan tambahan lain. Pemakaian semen portland yang disebabkan oleh kondisi tertentu yang dibutuhkan pada pelaksanaan konstruksi dilapangan, membuat para ahli menciptakan berbagai jenis semen *portland*, diantaranya sebagai berikut:

- a. Semen portland tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
- b. Semen portland tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidras dengan tingkat sedang.
- c. Semen portland tipe III, semen portland yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi, kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu.
- d. Semen portland tipe IV, semen portland yang penggunaannya diperlukan panas hidrasi yang rendah. Digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan bangunan seperti bendungan.
- e. Semen portland tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahan yang tinggi terhadap sulfat. Digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut.

Semen portland yang digunakan pada penelitian penulis adalah Semen Tiga Roda atau jenis semen tipe I, yaitu semen hidrolis yang dipergunakan secara luas untuk konstruksi umum. Dengan pertimbangan *merk* ini adalah termasuk salah satu *merk* semen terbaik di Indonesia.

- Penyimpanan Semen

Agar semen tetap memenuhi syarat meskipun disimpan dalam waktu lama, cara penyimpanan semen perlu diperhatikan (PB,1989:13). Semen harus terbebas dari bahan kotoran dari luar. Semen dalam kantong harus disimpan dalam gudang tertutup, terhindar dari basah dan lembab, dan tidak tercampur dengan bahan lain. Semen dari jenis yang berbeda harus dikelompokkan sedemikian rupa untuk mencegah kemungkinan tertukarnya jenis

semen yang satu dengan yang lainnya. Urutan penyimpanan harus diatur sehingga semen yang lebih dahulu masuk gudang terpakai lebih dahulu.

2. Agregat

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu semen hidraulik atau adukan (SK SNI T-15-2002-03). Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah melalui proses pelapukan dan abrasi yang berlangsung cukup lama. Atau agregat dapat juga diperoleh dengan cara memecah batuan induk yang lebih besar.

Mengingat bahwa agregat menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama (*durable*) dan ekonomis (Paul Nugraha dan Antoni, 2007). Pengaruhnya bisa dilihat pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Pengaruh sifat agregat pada sifat beton

Sifat Agregat	Pengaruh Pada	Sifat Beton
Bentuk, tekstur, gradasi	Beton cair	Kelecekan Pengikat dan Pengerusan
Sifat fisik, sifat kimia, mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, ketahanan (<i>durability</i>)

Sumber: Nugraha, P dan Antoni, 2007

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodinuljo, 1996). Agregat juga adalah suatu bahan yang berasal dari butir-butir batu pecah, kerikil,

pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen.

1) Agregat Kasar

Agregat merupakan suatu butiran alami atau buatan yang dipergunakan sebagai bahan pengisi beton dan mengisi hampir 70 % dari volume beton (Yudianto, 2011). Agregat kasar adalah berasal dari batu alam yang dipecah sehingga menjadi sedemikian rupa melalui industri pemecah batu dan mempunyai ukuran berkisar antara 5 mm–40 mm (SNI 03-2834-2000). Menurut *British Standard* (B.S), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas, batas yang tercantum dalam

Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Syarat Agregat Kasar Menurut B.S

Ukuran saringan (mm)	Persen Butir lewat Ayakan, Besar Butir Maks		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 - 100	100	100
20	30 - 70	95 - 100	100
12,5	-	-	90 - 100
10	10 - 35	25 - 55	40 - 85
4,8	0 - 5	0 - 10	0 - 10

Sumber: Mulyono, 2003

Besar butir maksimum yang diizinkan tergantung pada maksud pemakaian. Ukuran agregat sangat mempengaruhi kekuatan tekan beton. Semakin besar agregat maksimum yang digunakan, semakin berkurang kekuatan beton yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin besar agregat kasar, ruang antar agregat yang dihasilkan semakin besar sehingga potensi terjadinya rongga udara akan semakin tinggi dan dapat menyebabkan semakin kecilnya kekuatan tekan yang dihasilkan.

2) Agregat Halus

Agregat dikatakan sebagai agregat halus jika besar butirannya kurang lebih sebesar 4,75 mm (ASTM C33). Di dalam SNI 03-2834-2000 dikatakan bahwa agregat halus merupakan pasir alam yang berasal dari hasil desintegrasi batuan atau pasir secara alami yang mempunyai ukuran butir sebesar 5,0 mm.

SK. SNI T-15-1990-03 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *British Standard* di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam empat *zone* (daerah) seperti dalam **Tabel 2.8**.

Tabel 2.8 Batas gradasi agregat halus (*British Standard*)

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

Sumber: Mulyono, 2003

Keterangan: Daerah gradasi I : pasir kasar
Daerah gradasi II : pasir agak kasar
Daerah gradasi III : pasir halus
Daerah IV : pasir agak halus

Agregat halus berfungsi sebagai pengisi pori-pori yang ada di antara agregat kasar, sehingga diharapkan dapat meminimalkan kandungan udara dalam beton yang dapat mengurangi kekuatan beton. Gradasi dan keseragaman agregat halus lebih menentukan kelecakan (*workability*) dari pada gradasi dari keseragaman agregat

kasar karena mortar berfungsi sebagai pelumas sedangkan agregat kasar hanya mengisi ruang saja pada beton.

3. Air

Air merupakan salah satu bahan dasar yang paling penting dalam pembuatan beton karena dapat menentukan mutu dalam campuran. Tujuan utama dari penggunaan air ialah agar terjadi hidrasi, yaitu reaksi kimia antara semen dan air yang menyebabkan campuran ini menjadi keras. Untuk bereaksi dengan semen Portland, air yang diperlukan hanya sekitar 25-30 persen dari berat semen. (Tjokrodimuljo, 2007).

Dalam beton air berfungsi sebagai bahan untuk bereaksi kimia dengan semen membentuk suatu pasta semen. Selain itu air digunakan sebagai bahan pelumas pada beton yang berhubungan dengan workability. Pemberian air yang berlebihan pada adukan beton juga akan mengurangi kekuatan beton itu sendiri (Yudianto, 2011).

2.2.6 Bahan Tambahan

Bahan tambah yaitu bahan selain unsur pokok pada beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, baik sebelum, segera atau selama pengadukan beton dengan tujuan mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Fungsi-fungsi bahan tambah antara lain: mempercepat pengerasan, menambah kelecakan (*workability*) beton segar, menambah kuat tekan beton, meningkatkan daktilitas atau mengurangi sifat getas beton, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya. Bahan tambah diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan yang berakibat memperburuk sifat beton (Tjokodimuljo, 1996). Bahan tambah menurut penggunaannya dibagi menjadi dua golongan yaitu *admixtures* dan *additives*.

Admixtures ialah semua bahan penyusun beton selain air, semen hidrolik dan agregat yang ditambahkan sebelum, segera atau selama proses pencampuran adukan di dalam batching, untuk merubah sifat beton baik dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Definisi *additive* lebih mengarah pada semua bahan yang

ditambahkan dan digiling bersamaan pada saat proses produksi semen (Taylor, 1997).

Dalam penelitian ini, penulis akan menggunakan bahan tambah mineral (*additive*) berupa abu sisa pembakaran batubara (*Fly ash*) pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Jeranjang, Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat.

2.2.7 Pengujian Sifat Mekanik Beton

2.2.7.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

SNI 03-1974-2011 memberikan pengertian kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini sebagai pengujian kuat tekan beton berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Nilai kuat tekan beton dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

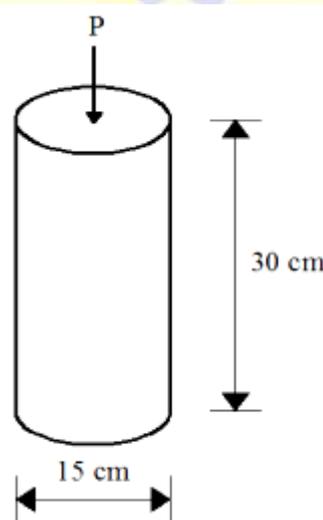
$$F'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

$F'c$ = kuat tekan (MPa)

P = beban maksimum yang bekerja, terbaca dalam alat uji (N)

A = luas penampang (mm^2)



Gambar 2.1 Sketsa pengujian kuat tekan beton.

2.2.7.2 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik benda uji silinder beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan (SNI 03-2491-2002).

Berdasarkan SNI 03-2491-2002, maka untuk mendapatkan nilai kuat tarik masing-masing benda uji dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(2.4)$$

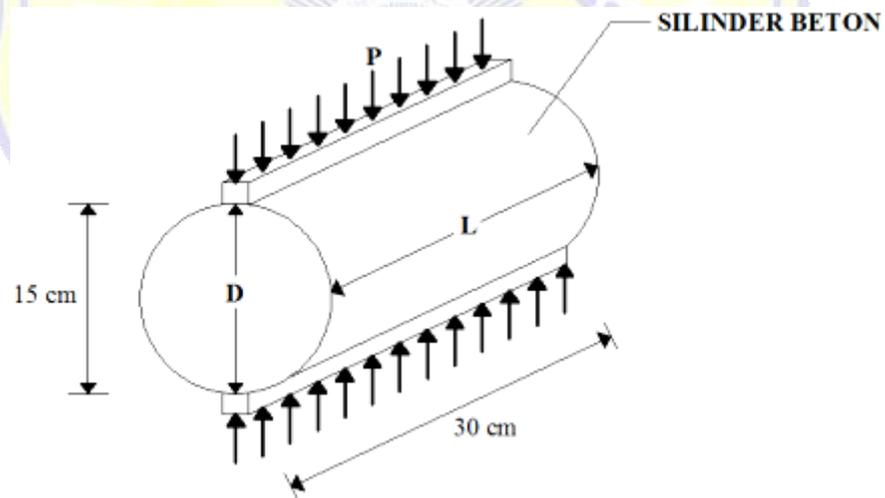
Dimana :

F_{ct} = kuat tarik belah (Mpa)

P = beban maksimum yang bekerja, terbaca dalam alat uji (N)

L = panjang benda uji silinder (mm)

D = diameter benda uji silinder (mm)



Gambar 2.2 Sketsa pengujian kuat tarik belah beton

2.2.7.3 Pengujian Kuat Geser Beton

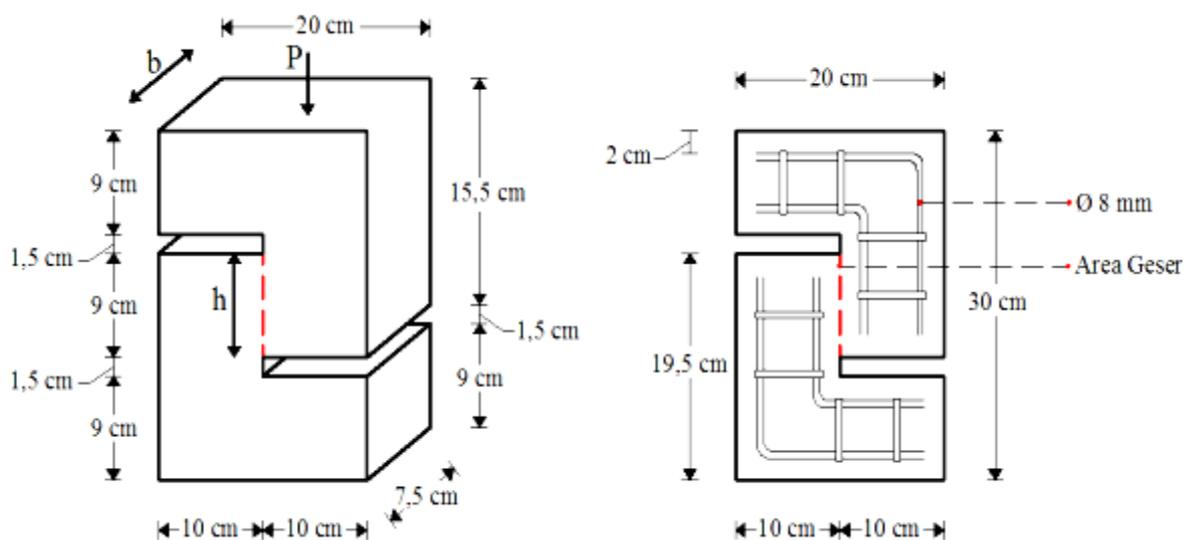
Salah satu sifat beton yang menegeras (*hard concrete*) adalah kuat geser beton. Bila gaya yang bekerja pada beton melebihi kekuatan geser maksimum yang dapat ditahan beton, maka akan timbul keretakan beton. Tegangan geser

dihasilkan oleh gaya friksi anatar satu partikel dengan partikel yang lain. Tegangan geser ini dinamakan tegangan geser akibat gaya geser langsung (*direct shear*). (Lukito, 2011),

Kuat geser sulit untuk ditentukan secara eksperimental dibanding kuat mekanis lainnya karena kesulitan mengisolasi geser dari kuat lain. Kuat geser dari berbagai studi eksperimental menunjukkan variasi 20 hingga 85 persen dibandingkan dengan kuat tekan. (Nawy,1990).

Sampel yang digunakan untuk melakukan uji geser langsung belum memiliki standar secara umum, namun merujuk pada penelitian-penelitian terdahulu yang pernah dilakukan. Pada pengujian uji geser ini pernah dilakukan (Lukito, 2011), dan sampel yang pernah dilakukan dalam penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

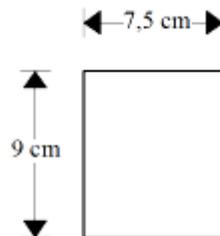
- Sampel geser penampang *Double-L*



Gambar 2.3 Sketsa benda uji *Double-L*

Sampel geser *Double-L* memiliki ukuran 30 cm x 20 cm x 7,5 cm, Untuk memastikan keretakan terjadi pada daerah berukuran 9 cm x 7,5 cm, maka penampang diberi perkuatan dengan menggunakan tulangan.

Tulangan yang digunakan adalah tulangan polos SNI berdiameter 8 mm dengan f_y 240 Mpa. Selimut beton yang digunakan 20 mm sehingga diharapkan agregat dapat terdistribusi merata.



Gambar 2.4 Area geser sampel *Double-L*

Kuat geser dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_{geser} = \frac{P}{bxh} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

F_{geser} = kuat geser (Mpa)

P = beban maksimum yang bekerja, terbaca dalam alat uji (N)

b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

2.2.8 Pengujian *Workability (Slump)*

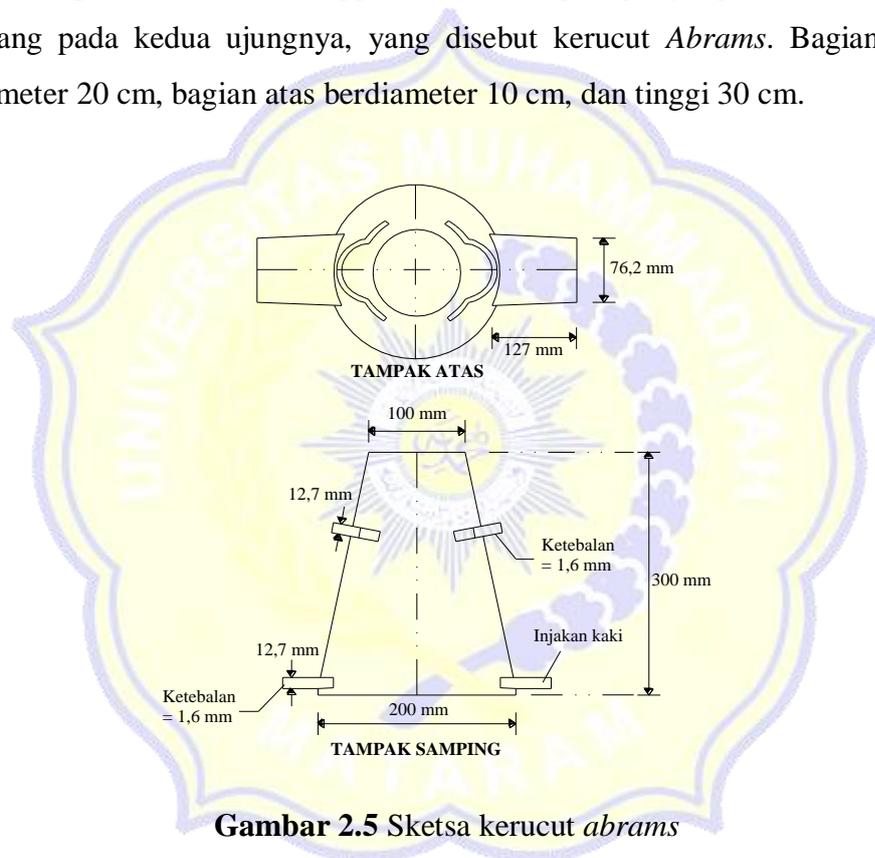
Uji *slump* merupakan suatu uji empiris atau metode yang digunakan untuk menentukan konsistensi atau kekakuan dari campuran beton segar (*fresh concrete*). Uji *slump* dapat menunjukkan kekurangan, kelebihan, atau kecukupan air yang digunakan dalam pembuatan beton tersebut.

Nilai *slump* ditentukan oleh besarnya penurunan adukan beton dalam *slump* setelah alat *slump* diangkat. Nilai *slump* yang dihasilkan jika lebih besar dari nilai *slump* rencana maka adukan encer dan nilai *workability* akan semakin tinggi, dan sebaliknya jika nilai *slump* lebih kecil dari nilai *slump* rencana maka adukan kental dan nilai *workability* akan semakin rendah. *Slump* adalah salah satu ukuran kekentalan adukan beton yang dinyatakan dalam mm dan ditentukan dengan alat kerucut *abrams* (SNI 03-1972-1990 tentang Metode Pengujian *Slump* Beton

Semen Portland. Kelecekan (*workability*) adalah sifat-sifat fisik adukan beton yang menentukan sejumlah usaha pekerjaan mekanikal (*mechanical works*), atau sejumlah energi tertentu yang dibutuhkan untuk menghasilkan beton yang padat dan monolit tanpa segregasi.

Uji slump ini mengacu pada SNI 1972-2008. Beton dengan nilai *slump* kurang dari 15 mm mungkin tidak cukup plastis dan beton yang nilai slump lebih dari 230 mm mungkin tidak cukup kohesif untuk pengujian ini.

Pada percobaan ini menggunakan corong baja yang berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya, yang disebut kerucut *Abrams*. Bagian bawah berdiameter 20 cm, bagian atas berdiameter 10 cm, dan tinggi 30 cm.



Gambar 2.5 Sketsa kerucut *abrams*

2.2.9 Perawatan Beton

Perawatan beton ialah suatu tahap akhir pekerjaan pembetonan, yaitu menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak dipadatkan sampai proses hidrasi cukup sempurna (kira-kira selama 28 hari). Kelembaban permukaan beton itu harus dijaga agar air didalam beton segar tidak keluar. Hal ini untuk menjamin proses hidrasi semen (reaksi semen dan air) berlangsung dengan sempurna. Bila hal ini tidak dilakukan, karena udara yang panas maka akan terjadi

proses penguapan air dari permukaan beton segar, sehingga air dari dalam beton segar mengalir keluar, dan beton segar kekurangan air untuk hidrasi, sehingga timbul retak-retak pada permukaan betonnya (Tjokrodinuljo, 2007).

Perawatan beton (*curing*) dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan ini dilakukan minimal selama 7 hari dan untuk beton berkekuatan awal tinggi minimal 3 hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab. Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedekatan terhadap air, ketahanan terhadap aus dan stabilitas dari dimensi struktur.

Perawatan tersebut dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu sebagai berikut (Mulyono, 2004):

1. Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab
2. Menaruh beton segar dalam genangan air
3. Menaruh beton segar dalam air
4. Menyelimuti permukaan beton dengan air
5. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah
6. Menyirami permukaan beton secara kontinyu
7. Melapisi permukaan beton dengan air dengan melakukan *compound*

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian secara eksperimen di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram, sedangkan untuk pengujian material dilakukan di Balai Pengujian Material Konstruksi Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Nusa Tenggara Barat. Benda uji yang dijadikan acuan dalam penelitian ini adalah beton normal dengan kandungan *fly ash* 0% yang dirawat dan direndam selama 28 hari, dengan variasi *Fly ash* 0%, 5%, 10%, 20%, dan 30% dari berat semen dalam campuran beton. Dalam perencanaan awal, mutu beton yang digunakan adalah 20 Mpa. Benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, untuk sampel benda uji berbentuk silinder dirawat dengan perendaman sampai umur pengujian 28 hari, dan untuk benda uji berbentuk *Double-L* dengan ukuran 30 cm x 20 cm x 7,5 cm, untuk sampel benda uji berbentuk *Double-L* dirawat dengan perendaman sampai umur pengujian 28 hari.

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian secara eksperimen dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram. Untuk pengujian material dilakukan di Balai Pengujian Material Konstruksi Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Nusa Tenggara Barat. Sedangkan untuk pengujian sifat mekanik beton yaitu kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat geser dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Mataram.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Semen

Semen berfungsi sebagai bahan pengikat pada adukan beton. Pada penelitian ini digunakan PCC (*Portland Cement Composit*) merk Tiga Roda, dengan merk tiga roda dengan satuan 50 kg/zak.

2. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat.

3. Agregat Halus (Pasir)

Pasir yang digunakan merupakan pasir yang berasal dari desa sedau (Lombok Barat), sebelum dilaksanakan pembuatan beton dilakukan analisa saringan kadar air, berat satuan agregat, berat jenis, dan penyerapan air.

4. Agregat Kasar (Batu Pecah)

Agregat kasar yang digunakan dengan ukuran butir maksimum 19 mm diambil dari batuan, sebelum dilaksanakan pembuatan beton dilakukan analisa saringan, kadar air, berat satuan agregat, berat jenis, dan penyerapan air.

5. Bahan Tambahan (*Fly ash*)

Fly ash yang digunakan berasal dari sisa pembakaran batubara Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeranjang, kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat.

6. Belerang

Menurut SNI 6369-2008 belerang digunakan untuk bahan pembuat *capping*. Untuk kuat tekan beton kurang dari 35 Mpa maka *capping* harus dibiarkan mengeras selama 2 jam sebelum pengujian beton dan untuk kuat tekan beton lebih dari 35 Mpa maka *capping* dibiarkan mengeras 16 jam sebelum pengujian.

7. Oli

Dalam penelitian ini, oli digunakan sebagai bahan pendukung penelitian seperti belerang. Berdasarkan SNI 6369-2008 tentang pembuatan *capping* untuk benda uji selinder, oli digunakan sebagai

pelumas pelat capping agar benda uji mudah untuk dilepas. Selain itu oli juga digunakan sebagai pelumas cetakan beton.

3.2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Oven
2. Timbangan dengan kapasitas 100 Kg
3. Piknometer
4. Satu set ayakan/saringan
5. Kompor Gas
6. Alat *Capping* Silinder Beton
7. Cetakan Beton Silinder dengan ukuran (15 x 30 cm)
8. Kerucut *Abrams*
9. Plat *Capping* dan Alat Pelurusnya
10. Cetok
11. Penggaris
12. Kuas
13. Cawan
14. Sendok
15. CTM (*Compression Testing Machine*) dengan kapasitas 2000 KN
16. Cetakan Beton *Double-L* (30 cm x 20 cm x 7,5 cm)
17. Bak air, untuk tempat perendaman beton

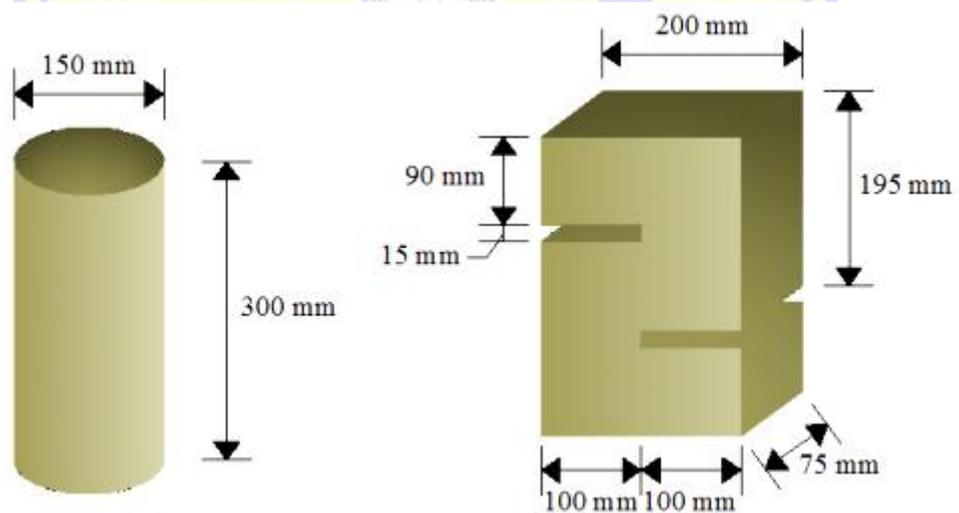
3.3 Kebutuhan Benda Uji

Dalam penelitian ini terdapat 5 (lima) macam benda uji dengan variasi campuran beton. Variasi tersebut dibedakan berdasarkan jumlah persentase *Fly ash* terhadap kebutuhan berat semen yang dimasukkan pada campuran beton. Variasi persentasi *Fly ash* yang digunakan adalah 0% (sebagai acuan), 5%, 10%, 20%, 30%.

Kode dan jumlah perkiraan benda uji untuk 5 (lima) macam benda uji dengan variasi campuran beton dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Kode dan Jumlah Perkiraan Benda Uji

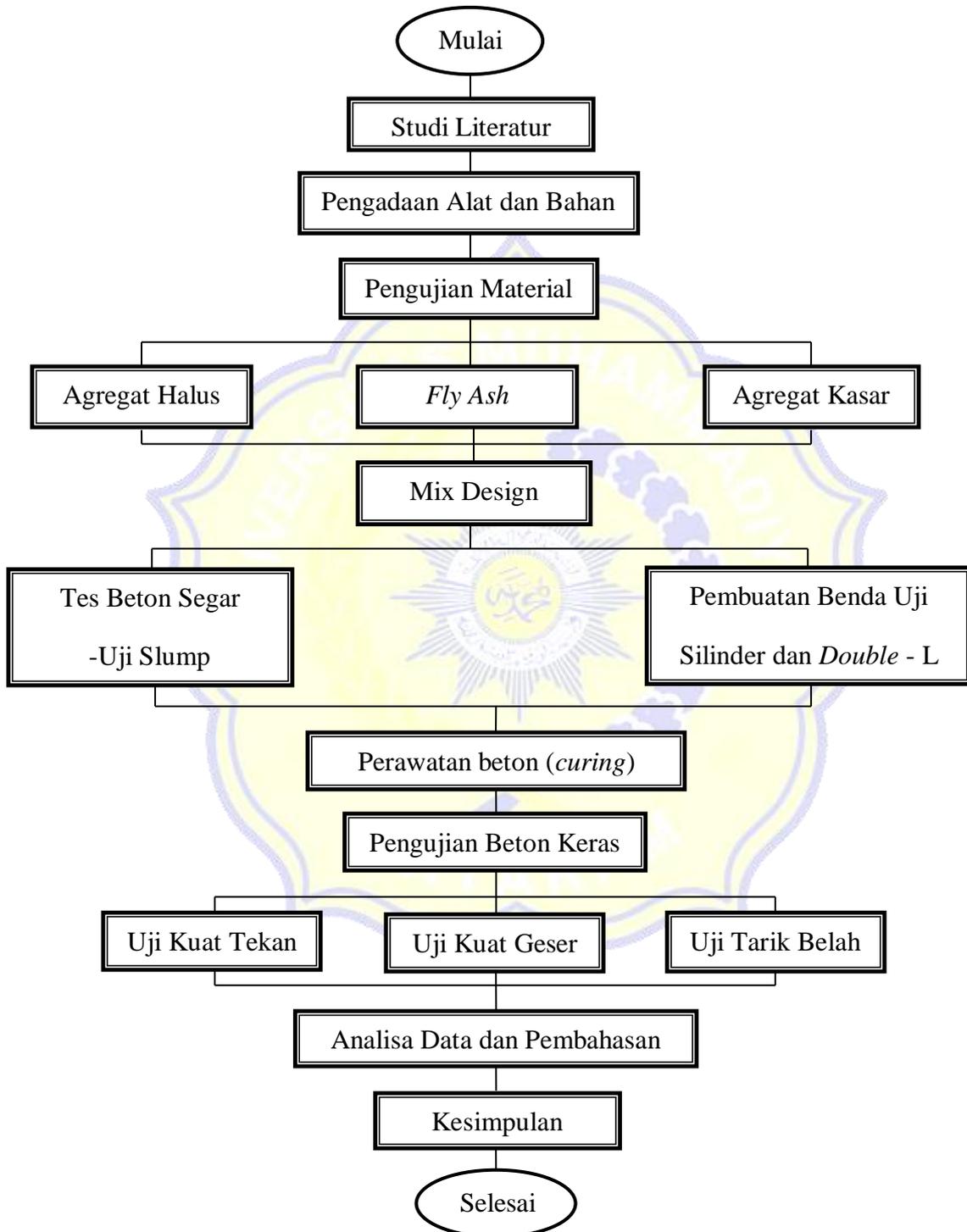
No	Jenis Pengujian	Variasi Campuran					Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
		0%	5%	10%	20%	30%		
1.	Kuat Tekan Beton	3	3	3	3	3	FA TK	15
2.	Kuat Tarik Belah	3	3	3	3	3	FA TR	15
3.	Kuat Geser Beton	3	3	3	3	3	FA GS	15
Total								45



Gambar 3.1 Benda uji Silinder dan *Double - L*

3.4 Bagan Alir Penelitian

Berikut ini adalah bagan alir penelitian yang menggambarkan langkah-langkah penelitian:



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian

3.5 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

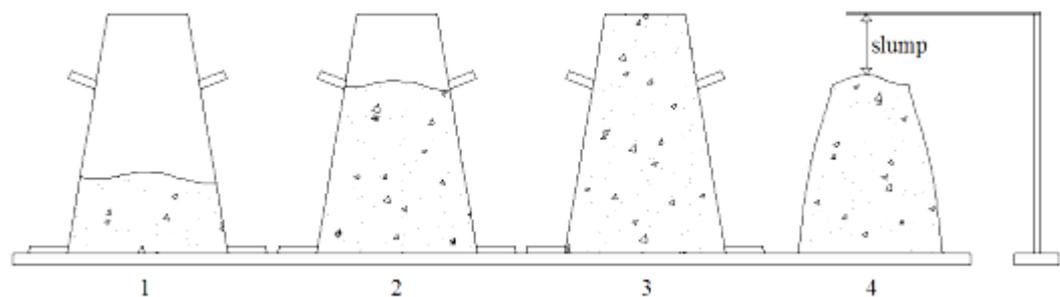
Perencanaan campuran beton merupakan suatu proses teoritis untuk menentukan jumlah masing-masing bahan yang diperlukan dalam suatu campuran beton, hal ini dilakukan agar proporsi dapat memenuhi syarat. Pada tahap ini, dilakukan pembuatan *mix design* yang berdasarkan SNI 7656-2012.

3.6 Langkah-langkah Pengujian

3.6.1 Pengujian *Workability (Slump)*

Pengujian workabilitas menggunakan kerucut *Abrams*, langkah-langkah pengujian dengan kerucut *Abrams* adalah sebagai berikut:

1. Campuran beton tersebut sesegera mungkin dimasukkan kedalam kerucut secara bertahap, sebanyak 3 lapisan dengan ketinggian yang sama. Setiap lapis dipadatkan dengan cara ditusuk dengan menjatuhkan secara bebas tongkat baja berdiameter 16 mm, panjang 60 cm. Dilakukan sebanyak 25 kali untuk tiap lapis.
2. Meratakan adukan pada bidang atas kerucut *Abrams* dan didiamkan selama 30 detik.
3. Mengangkat kerucut *Abrams* secara perlahan dengan arah vertikal keatas, diusahakan jangan sampai terjadi singgungan terhadap campuran beton.
4. Pengukuran slump dilakukan dengan membalikkan posisi kerucut *Abrams* di sebelah adukan. Kemudian dilakukan pengukuran ketinggian penurunan dihitung terhadap bagian atas kerucut *Abrams*. Dilakukan tiga kali pengukuran dengan mistar pengukur atau meteran, kemudian hasilnya dirata-rata.
5. Nilai rata-rata menunjukkan nilai *slump* dari campuran beton.



Gambar 3.3 Skema pemeriksaan nilai *Slump* beton segar

1. Lapis 1 : 25 tumbukan campuran adukan beton pada 1/3 dari tinggi kerucut.
2. Lapis 2 : 25 tumbukan campuran adukan beton pada 2/3 dari tinggi kerucut.
3. Lapis 3 : 25 tumbukan campuran adukan beton rata atas permukaan kerucut.
4. Pengukuran nilai *slump* beton segar.

3.6.2 Pembuatan Benda Uji Silinder

Dalam pembuatan adukan beton, setiap penuangan beton harus dilakukan pengujian *workabilitas* dengan menggunakan Kerucut *Abrams* dan diperiksa apakah memenuhi persyaratan nilai *slump* yang diisyaratkan atau tidak. Adapun cara pembuatan benda uji silinder adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan cetakan silinder yang telah dilapisi dengan oli.
2. Setelah itu beton segar dimasukkan pada cetakan silinder.
3. Pengisian campuran beton segar pada silinder dilakukan sebanyak 3 lapis sama, tiap lapis dilakukan model pemadatan menggunakan tongkat penusuk. Masing-masing lapis ditumbuk sebanyak 25 kali dengan alat penumbuk.
4. Kemudian diketuk-ketuk dengan palu karet pada bagian luar cetakan dengan tujuan untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara yang ada dalam cetakan.
5. Meratakan bagian samping dengan cetok , agar rata dan padat.
6. Setelah penuh, meratakan dan memadatkan bagian atas cetakan dengan cetok, dengan jalan agak ditekan kebawah.
7. Memberi label pada cetakan untuk mengetahui spesifikasi benda uji.
8. Mendinginkan cetakan berisi beton segar selama satu hari.
9. Setelah 24 jam, mengeluarkan beton dari cetakan
10. Melakukan perawatan beton (*curing*) sebelum dilakukan pengujian.

3.6.3 Pembuatan Benda Uji *Double - L*

Dalam pembuatan adukan beton, setiap penuangan beton harus dilakukan pengujian *workabilitas* dengan menggunakan Kerucut *Abrams* dan diperiksa

apakah memenuhi persyaratan nilai *slump* yang diisyaratkan atau tidak. Adapun cara pembuatan benda uji *double-L* adalah sebagai berikut:

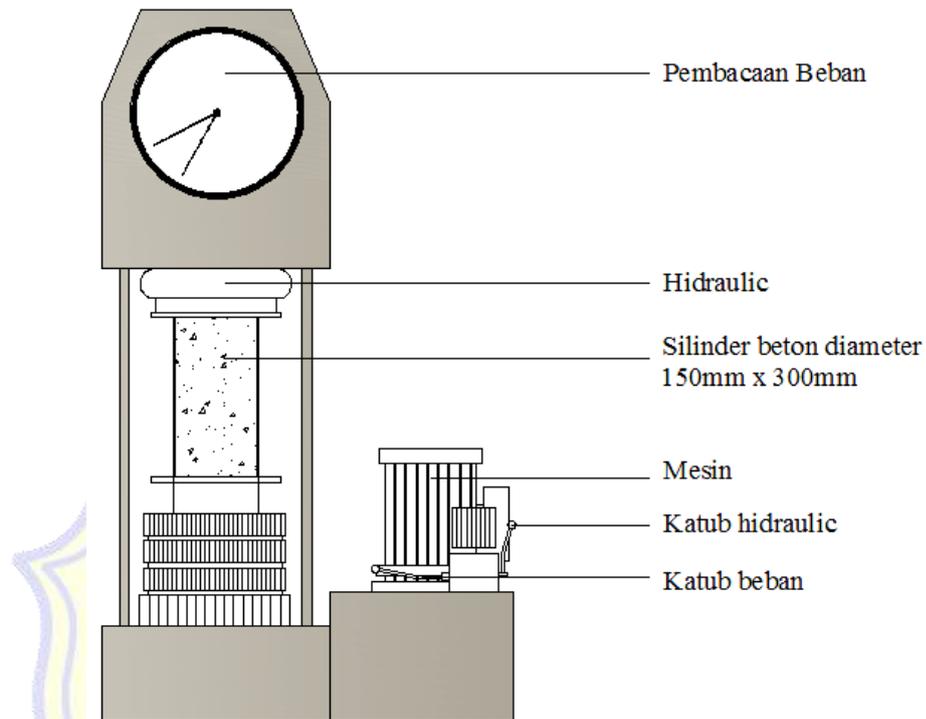
1. Menyiapkan cetakan *double-L* yang telah dilapisi dengan oli.
2. Setelah itu beton segar dimasukkan pada cetakan *double-L*.
3. Pengisian campuran beton segar pada *double-L* dilakukan sebanyak 3 lapis sama, tiap lapis dilakukan model pemadatan menggunakan tongkat penusuk. Masing-masing lapis ditumbuk sebanyak 25 kali dengan alat penumbuk. Pada lapisan pertama masukkan tulangan sebagai perkuatan, setelah itu dilanjutkan dengan pengisian lapis kedua dan ketiga.
4. Kemudian diketuk-ketuk dengan palu karet pada bagian luar cetakan dengan tujuan untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara yang ada dalam cetakan.
5. Meratakan bagian samping dengan cetok , agar rata dan padat.
6. Setelah penuh, meratakan dan memadatkan bagian atas cetakan dengan cetok, dengan jalan agak ditekan kebawah.
7. Memberi label pada cetakan untuk mengetahui spesifikasi benda uji.
8. Mendinginkan cetakan berisi beton segar selama satu hari.
9. Setelah 24 jam, mengeluarkan beton dari cetakan
10. Melakukan perawatan beton (*curing*) sebelum dilakukan pengujian.

3.6.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian Kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 28 hari. Langkah-langkah pengujian Kuat Tekan Beton (SNI 03-1974-2011) adalah sebagai berikut:

1. Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian dianginkan atau dilap hingga kering permukaan.
2. Menimbang dan mencatat berat sampel beton silinder.
3. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan belerang cair yang sudah dipanaskan.
4. Pengujian kuat tekan dengan menggunakan alat (*Compression Testing Machine*).

5. Meletakkan sampel beton ke dalam alat penguji, lalu menghidupkan mesin dan secara perlahan alat menekan sampel beton.
6. Mencatat hasil kuat tekan beton untuk tiap sampelnya.



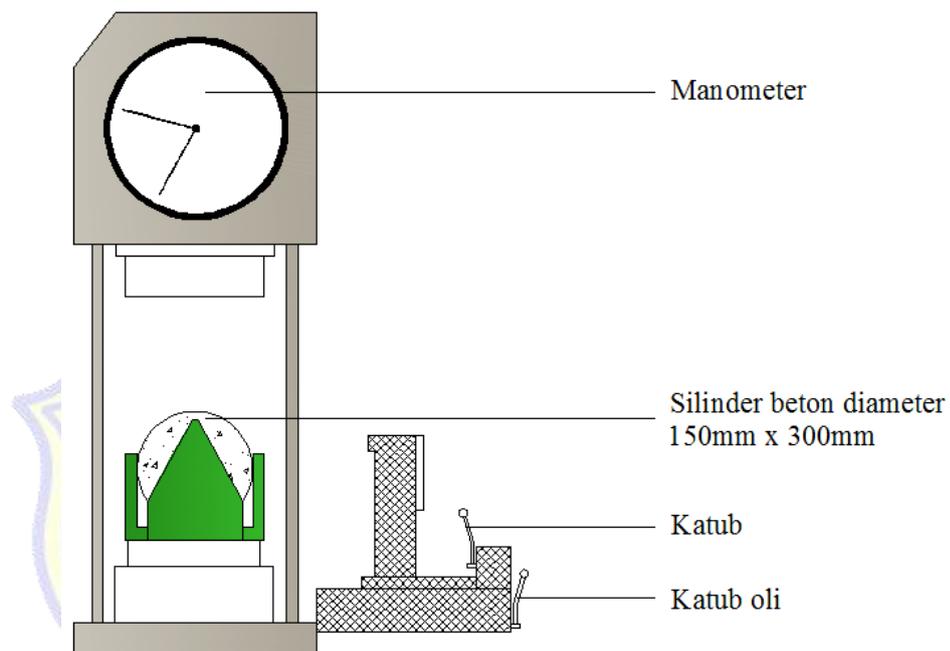
Gambar 3.4 *Setting up* alat uji kuat tekan.

3.6.5 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian Kuat tarik belah beton dilakukan pada umur beton 28 hari. Langkah-langkah pengujian Kuat Tarik Belah Beton (SNI 03-2491-2002) adalah sebagai berikut:

1. Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian dianginkan atau dilap hingga kering permukaan.
2. Menimbang dan mencatat berat sampel beton silinder.
3. Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu benda uji di beri tanda.
4. Meletakkan benda uji diatas alas pembebanan mesin uji (*Compression Testing Machine*) dengan berpedoman pada tanda garis tengah pada kedua ujung.

5. Pembebanan diberikan secara berangsur-angsur dengan pembebanan konstan yang berkisar antara 0.7 hingga 1.4 MPa/menit sampai benda uji hancur, kecepatan pembebanan untuk benda uji berbentuk silinder dengan ukuran panjang 30cm dan diameter 15cm berkisar antara 50 – 100 Kn/menit.
6. Mencatat hasil kuat tekan beton untuk tiap sampelnya.



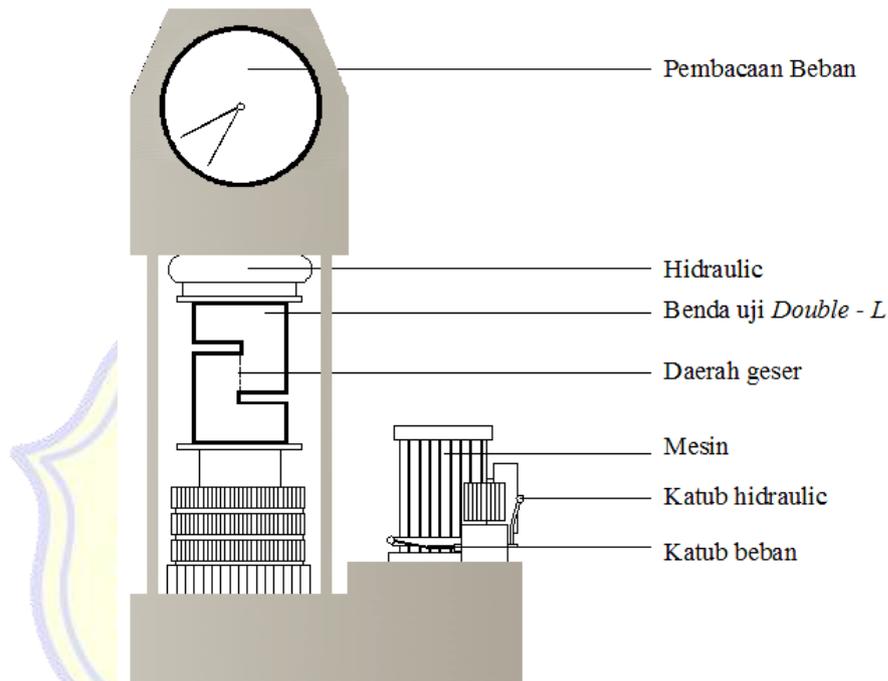
Gambar 3.5 *Setting up* alat uji kuat tarik belah.

3.6.6 Pengujian Kuat Geser Beton

Pengujian Kuat geser beton dilakukan pada umur beton 28 hari. Langkah-langkah pengujian kuat geser beton adalah sebagai berikut:

1. Benda uji geser *double-L* (20 cm x 7.5 cm x 30 cm) yang akan di uji sesuai dengan umur perawatan diambil dari tempat perawatan satu hari sebelum pengujian dilaksanakan.
2. Menimbang dan mencatat berat sampel beton *double-L*.
3. Pengujian kuat geser beton menggunakan mesin uji tekan beton (*Compression Testing Machine*).

4. Meletakkan benda uji pada mesin uji tekan beton secara sentris. Lalu menghidupkan mesin dan secara perlahan alat menekan sampel beton.
5. Melakukan pembebanan merata hingga bidang geser benda uji menjadi hancur.
6. Mencatat beban maksimum yang mampu ditahan benda uji *double-L*.



Gambar 3.6 *Setting up* alat uji kuat geser.

3.7. Metode Analisa Data

Metode analisa data dari hasil pengujian beton pada umur beton 28 hari, dilakukan dengan metode pendekatan secara matematis sebagai berikut :

1. Pada hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Tarik Belah beton menggunakan pendekatan secara matematis menurut (Akmaluddin dkk, 2013) yang dibandingkan dengan SK SNI T-15-1991-03 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.
2. Pada hubungan Kuat Tekan dengan Kuat Geser beton menggunakan pendekatan secara matematis menurut (Nawy, 1990) yang dibandingkan dengan SK SNI T-15-1991-03 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.