

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH *FLY ASH* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN
TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT GESER DAN KUAT LEKAT TULANGAN
(*BOND STRENGTH*) PADA BETON NORMAL**

*The Influence of Fly Ash as a Partial Substitution of Cement to the Compressive
Strength, Shear Strength and Bond Strength of Steel Reinforcement on the Normal
Concrete*

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

ALIF FEBRIANTO

F1A016010

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM**

2023

ARTIKEL ILMIAH

PENGARUH FLY ASH SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN
TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT GESER DAN KUAT LEKAT TULANGAN
(*BOND STRENGTH*) PADA BETON NORMAL

Oleh:

Alif Febrianto
F1A016010

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing:

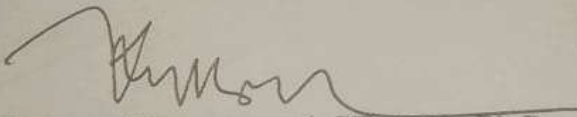
1. Pembimbing Utama



Hariyadi, ST., MSc(Eng.), Ph.D.
NIP: 19731027 199802 1 001

Tanggal:

2. Pembimbing Pendamping



Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D.
NIP: 19760804 200003 2 001

Tanggal: 14/7/23

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Hariyadi, ST., MSc(Eng.), Ph.D.
NIP: 19731027 199802 1 001

ARTIKEL ILMIAH

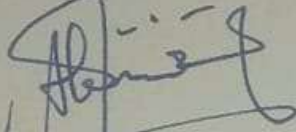
PENGARUH FLY ASH SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN
TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT GESER DAN KUAT LEKAT TULANGAN
(*BOND STRENGTH*) PADA BETON NORMAL

Oleh:

Alif Febrianto
FIA016010

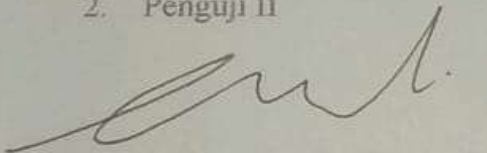
Telah diujikan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 30 Mei 2023
Dinyatakan telah memenuhi syarat
Susunan Tim Penguji:

1. Penguji I


Prof. Akmaluddin, ST., MSc(Eng.), Ph.D.
NIP: 19681231 199412 1 001

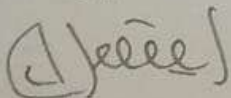
Tanggal:

2. Penguji II


Ir. Miko Eniarti, MT.
NIP: 19650315 199103 2 002

Tanggal:

3. Penguji III


Fathmah Mahmud, ST., MT.
NIP: 19711109 200012 2 001

Tanggal:

Mataram, Juni 2023
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Muhammad Svamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP: 19720222 199903 1 002

**PENGARUH FLY ASH SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN
TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT GESER DAN KUAT LEKAT TULANGAN
(BOND STRENGTH) PADA BETON NORMAL**

*The Influence of Fly Ash as a Partial Substitution of Cement to the Compressive
Strength, Shear Strength and Bond Strength of Steel Reinforcement on the Normal
Concrete*

Alif Febrianto¹, Hariyadi², Ni Nyoman Kencanawati³

Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

INTISARI

Abu terbang (*fly ash*) merupakan limbah hasil dari pembakaran batu bara pada PLTU yang termasuk dalam kategori limbah B3 menurut PP nomor 101 tahun 2014 tentang pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun sebelum peraturan tersebut dicabut pada PP nomor 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Abu terbang (*fly ash*) memiliki butiran yang cukup halus yaitu lolos ayakan No. 325 serta memiliki sifat sementisius yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen untuk mengikat bahan material pada pembuatan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi abu terbang (*fly ash*) sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan, kuat geser dan kuat lekat tulangan pada beton normal. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berupa silinder dengan diameter 15 cm serta tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan, benda uji double-L dengan ukuran 30cm x 20cm x 7,5cm untuk pengujian kuat geser, dan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 20cm dan tinggi 30cm dilengkapi dengan baja polos berukuran 10mm sebagai anker untuk pengujian kuat lekat beton. Jumlah benda uji yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 3 benda uji pada setiap variasi yang digunakan sebagai penyusun beton untuk setiap pengujian yang dilakukan, total benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 54 benda uji. Adapun variasi abu terbang (*fly ash*) yang digunakan pada penelitian ini adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 30% abu terbang (*fly ash*) sebagai pengganti dari sebagian semen sebagai penyusun beton normal. Dari hasil setiap pengujian yang telah dilakukan dapat diperoleh nilai dari kuat tekan maksimum dari penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen didapatkan pada variasi 5% yaitu sebesar 23,12 MPa sedangkan kuat tekan tanpa adanya variasi *fly ash* dapat menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi yaitu 29,72 MPa. Untuk kuat geser maksimum yg diperoleh terdapat pada variasi 5% yaitu sebesar 6,42 MPa, hasil yang didapatkan lebih besar dari kuat geser tanpa adanya variasi *fly ash* yaitu sebesar 6,17 MPa. Untuk kuat lekat maksimum diperoleh pada variasi 15% yaitu sebesar 3,48 MPa, hasil yang didapatkan lebih besar dari kuat lekat tanpa adanya variasi *fly ash* yaitu sebesar 3,31 MPa.

Kata Kunci: Abu Terbang, Beton Normal, Kuat Tekan, Kuat Geser dan Kuat Lekat.

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

² Dosen Pembimbing Utama

³ Dosen Pembimbing Pendamping

PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bahan penyusun konstruksi yang sampai saat ini masih populer digunakan di Indonesia dalam pembangunan fisik. Beton sering menjadi pilihan utama karena bahan penyusun beton yakni pasir dan kerikil masih dapat diperoleh dengan mudah. Selain material penyusun yang masih dapat diperoleh dengan mudah pengerjaan beton tergolong simpel dan mudah dibentuk sesuai dengan keinginan dan kebutuhan konstruksi.

Kehalusan butir semen mempengaruhi peningkatan porositas beton, keterbatasan tingkat kehalusan butir semen menjadi persoalan utama dalam menghasilkan beton mutu tinggi jika ditinjau dari segi porositas, untuk mengatasi hal ini berbagai penelitian dilakukan untuk mencari alternatif penggunaan semen sebagai material pengikat beton. Penggunaan material *fly ash* sebagai material pembentuk beton didasari pada sifat material ini yang memiliki kemiripan dengan semen. Kemiripan ini dapat ditinjau dari dua sifat utama, yaitu sifat fisik dan kimiawi. Menurut ACI (*American Concrete Institute*) Committee 232, dijelaskan bahwa *fly ash* mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili micron). Sifat kimia yang dimiliki oleh *fly ash* berupa silica dan alumina dengan presentase mencapai 80%. Adanya kemiripan sifat-sifat ini menjadikan *fly ash* cukup memungkinkan sebagai material pengganti untuk mengurangi jumlah semen sebagai material penyusun beton. Penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton juga dapat memberikan dampak positif jika ditinjau dari segi lingkungan, butiran dari *fly ash* ini berpotensi terhadap pencemaran lingkungan karena pernah termasuk dalam kategori limbah B3 menurut PP nomor 101 tahun 2014 tentang pengolahan limbah bahan

berbahaya dan beracun. *Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini merupakan sisa pembakaran batu bara yang berasal dari PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Jeranjang yang terletak di Desa Kebon Ayu, Kecamatan Gerung, Kabupaten Lombok Barat.

Setiawati dan Imaduddin (2018) melakukan penelitian tentang *fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada beton. Pada tahap ini direncanakan benda uji yang akan dibuat adalah beton normal dan beton dengan penggunaan *fly ash* sebesar 5%, 7.5%, 10% dan 12.5%. Tiap variasi beton tersebut diuji pada saat beton berumur 3, 7, 14, dan 28 hari. Pada umur beton 3 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 12.5%, yaitu sebesar 60.1% terhadap beton normal. Pada umur beton 7 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 10%, yaitu sebesar 24.18% terhadap beton normal. Pada umur beton 14 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 7.5%, yaitu sebesar 7.43% terhadap beton normal. Pada umur beton 28 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 12.5%, yaitu sebesar 27.95% terhadap beton normal. Dari hasil analisa dan

pembahasan terhadap penelitian maka bisa diambil kesimpulan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti memberikan pengaruh pada beton. Hal ini dapat terlihat bahwa diawal umur beton, terjadi peningkatan sebesar 60% dari beton normal. Peningkatan kekuatan beton tertinggi terjadi pada penggunaan *fly ash* 12.5%.

Kuat lekat antara tulangan dan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain rekatan hidrasi semen pada seluruh bidang kontak antara beton dan tulangan, tahanan geser terhadap gelinciran dan saling mengunci pada saat elemen penguat atau tulangan yang mengalami tegangan tarik. Mekanisme ini terbentuk karena adanya permukaan yang tidak beraturan pada bidang kontak antara beton dan tulangan. Salah satu hal yang dapat menyebabkan tulangan dan beton dapat bekerja sama adalah faktor lekatan (adhesi) antara beton dengan tulangan. Apabila faktor lekatan itu tidak mencukupi, maka bidang singgung akan tergelincir (*slip*) di dalam beton sehingga mengakibatkan keruntuhan struktur tidak dapat dihindari.

Kuat lekat (*bond strength*) akan dipengaruhi oleh kualitas beton itu sendiri. Sehingga perlu ditinjau bagaimana jika jumlah dari *fly ash* yang digunakan menggantikan sebagian semen sebagai material penyusun beton tersebut divariasikan, melalui penelitian yang akan dilakukan mengenai **“Pengaruh Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan, Kuat Geser dan Kuat Lekat Tulangan (*Bond Strength*) Pada Beton Normal”**.

Setiawati dan Imaduddin (2018) melakukan penelitian tentang *fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada beton. Pada tahap ini direncanakan benda uji yang akan dibuat adalah beton normal dan beton dengan penggunaan *fly ash* sebesar 5%, 7.5%, 10% dan 12.5%. Tiap variasi beton tersebut diuji pada

saat beton berumur 3, 7, 14, dan 28 hari. Pada umur beton 3 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 12.5%, yaitu sebesar 60.1% terhadap beton normal. Pada umur beton 7 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 10%, yaitu sebesar 24.18% terhadap beton normal. Pada umur beton 14 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 7.5%, yaitu sebesar 7.43% terhadap beton normal. Pada umur beton 28 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 12.5%, yaitu sebesar 27.95% terhadap beton normal. Dari hasil analisa dan pembahasan terhadap penelitian maka bisa diambil kesimpulan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti memberikan pengaruh pada beton. Hal ini dapat terlihat bahwa diawal umur beton, terjadi peningkatan sebesar 60% dari beton normal. Peningkatan kekuatan beton tertinggi terjadi pada penggunaan *fly ash* 12.5%.

Setiawati dan Imaduddin (2018) melakukan penelitian tentang *fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada beton. Pada tahap ini direncanakan benda uji yang akan dibuat adalah beton normal dan beton dengan penggunaan *fly*

ash sebesar 5%, 7.5%, 10% dan 12.5%. Tiap variasi beton tersebut diuji pada saat beton berumur 3, 7, 14, dan 28 hari. Pada umur beton 3 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 12.5%, yaitu sebesar 60.1% terhadap beton normal. Pada umur beton 7 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 10%, yaitu sebesar 24.18% terhadap beton normal. Pada umur beton 14 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 7.5%, yaitu sebesar 7.43% terhadap beton normal. Pada umur beton 28 hari didapatkan nilai kuat tekan karakteristik untuk beton normal dan beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan kekuatan karakteristik. Persentase kenaikan kekuatan beton karakteristik terbesar terjadi pada penggunaan *fly ash* sebesar 12.5%, yaitu sebesar 27.95% terhadap beton normal. Dari hasil analisa dan pembahasan terhadap penelitian maka bisa diambil kesimpulan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti memberikan pengaruh pada beton. Hal ini dapat terlihat bahwa diawal umur beton, terjadi peningkatan sebesar 60% dari beton normal. Peningkatan kekuatan beton tertinggi terjadi pada penggunaan *fly ash* 12.5%.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, yaitu:

- 1) Untuk mengetahui pengaruh dari variasi *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan pada beton normal.
- 2) Untuk mengetahui pengaruh dari variasi *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat geser pada beton normal.
- 3) Untuk mengetahui pengaruh dari variasi *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat lekat tulangan pada beton normal.

DASAR TEORI

Semen Portland Abu Terbang

Suatu perkembangan yang lebih lanjut yaitu pemakaian abu terbang (*fly ash*) yang dikombinasikan dengan semen Portland. Abu terbang adalah suatu pemanfaatan kembali dari produksi gas pembakar, misalnya didapatkan pada pusat tenaga listrik yang dibangkitkan dengan batu bara.

Abu terbang yang cocok terdiri lebih dari 2/3 bagian bahan-bahan yang dapat bereaksi dan dinamakan bersifat pozzolan. Dengan kata lain berarti, abu terbang dapat bereaksi dengan ikatan kapur dan dapat membentuk suatu persenyawaan kimiawi dalam semen dan air. Secara demikian akan menambah kepadatan struktur dan perkembangan kekuatan beton. Abu terbang juga harus memenuhi persyaratan lain supaya dapat digunakan sebagai pengganti semen. Misalkan persyaratan terhadap pengotoran, kehalusan, kadar chloride dan karbon. Penggunaan dari abu terbang yang baik menghasilkan reduksi semen sampai sekitar 25% (Gideon, 1993).

Abu terbang (*fly ash*) merupakan residu halus yang dihasilkan dari pembakaran atau pembubukan batubara dan ditransportasikan oleh aliran udara panas. Dalam SNI 2460:2014 abu terbang diklasifikasikan menjadi tiga kelas yaitu N, F, dan C.

- 1) **Kelas N** merupakan pozzolan alam mentah atau telah diklasifikasi memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas N, misalnya beberapa tanah *diatomae* (hasil lapukan), batu rijang opalan dan serpih, tufa dan abu vulkanik atau batu apung, diklasifikasi atau tidak, dan berbagai bahan yang memerlukan kalsinasi untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan, misalnya lempung dan serpih.
- 2) **Kelas F** merupakan abu terbang dari batubara memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas F. Abu terbang kelas F mempunyai sifat pozzolanik, abu terbang kelas F biasanya dihasilkan dari pembakaran antrasit atau batubara bituminous, tetapi dapat juga dihasilkan dari batubara subbituminous dan lignite.
- 3) **Kelas C** merupakan abu terbang dari batubara memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas C. Abu terbang kelas C memiliki sifat pozzolanik dan sementisius, abu terbang kelas C biasanya dihasilkan dari pembakaran lignite atau batubara sub bituminous, dan dapat juga dihasilkan dari antrasit atau batubara bituminous. Abu terbang kelas C mengandung kadar kalsium total yang dinyatakan sebagai kalsium oksida (CaO), lebih tinggi dari 10%.

Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-1990 kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Tegangan tekan maksimum $f'c$ didapat dalam persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

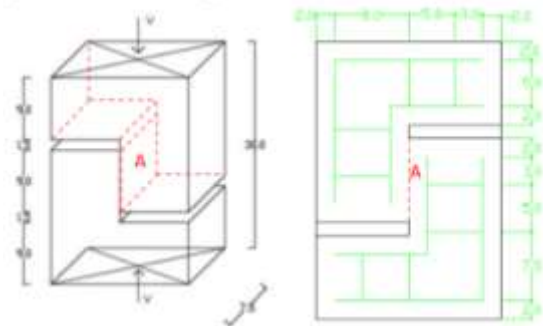
Dengan:

- $f'c$: Kuat tekan beton (MPa)
 P : Beban maksimum (N)
 A : Luas penampang bidang tekan (mm^2)

Kuat Geser Beton

Salah satu sifat beton yang mengeras 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 antara partikel satu dengan partikel yang lain. Tegangan geser ini dinamakan tegangan geser akibat gaya geser langsung.

Lukito (2011) melakukan penelitian kuat geser dengan menggunakan sampel geser penampang L pada gambar 2.2 sebagai berikut :



Gambar 2.1 Spesifikasi benda uji double-L

Kuat geser dapat dihitung dengan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$F_{geser} = \frac{P}{A}$$

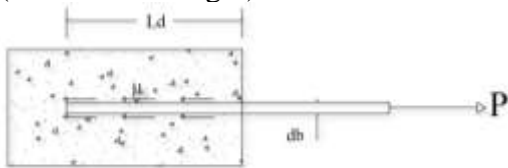
Dengan:

- F_{geser} : Kuat geser beton (MPa)
 P : Beban maksimum (N)
 A : Luas penampang bidang geser (mm^2)

Kuat Lekat Beton

Kuat lekat adalah kemampuan baja tulangan dan beton yang menyelimuti dalam menahan gaya-gaya dari luar ataupun faktor lain yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara baja tulangan dan beton.

Nawy (1998) berpendapat bahwa percobaan *pull-out* dapat memberikan perbandingan yang baik antara efisiensi lekatan berbagai jenis permukaan tulangan dan panjang penyalurannya (embedment length).



Gambar 2.2 Tegangan lekat penyaluran tarik

Untuk menjamin lekatan antara baja tulangan dan beton tidak mengalami kegagalan, diperlukan adanya syarat panjang penyaluran dengan menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$P = \mu \cdot Ld \cdot \pi \cdot db$$

Sehingga didapat kuat lekatnya:

$$\mu = \frac{P}{Ld \cdot \pi \cdot db}$$

Dengan:

P : Gaya tarik (N)

μ : Kuat lekat (MPa)

Ld: Panjang penyaluran (mm)

db : Diameter tulangan (mm)

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.

Kebutuhan Benda Uji

Tabel 3.1 Jumlah Kebutuhan Benda Uji

Variasi Fly Ash	Pengujian Beton Normal		
	Kuat Tekan	Kuat Geser	Kuat Lekat
0%	3	3	3
5%	3	3	3
10%	3	3	3
15%	3	3	3
20%	3	3	3
30%	3	3	3
Total	18	18	18
Total keseluruhan	54		

- Benda uji untuk kuat tekan berupa silinder berukuran 15cm x 30cm.
- Benda uji untuk kuat geser berupa double L dengan ukuran 20cm x 30cm x 7,5cm dengan diameter besi tulangan 10mm.
- Benda uji untuk kuat lekat berupa silinder dengan diameter 20cm dan tinggi 30cm dengan penjangkaran besi polos diameter 10mm.

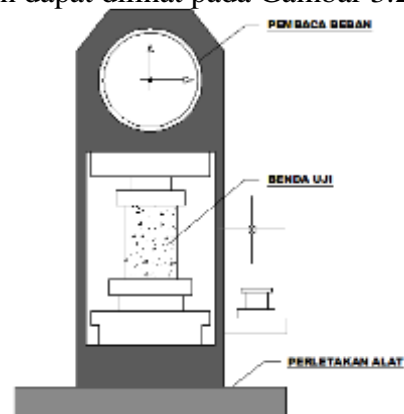
Perawatan Benda Uji

Perawatan beton dilakukan setelah beton dikeluarkan dari cetakan. Kelembapan permukaan harus dijaga agar beton tidak mengalami keretakan karena proses penguapan air yang begitu cepat. Perawatan sampel beton dilakukan dengan cara merendam benda uji selama 28 hari, agar proses hidrasi semen dan pasir tidak mengurangi mutu beton atau menyebabkan beton retak. Selain itu kelembapan permukaan beton akan menambah daya tahan beton terhadap cuaca dan lebih kedap air.

Pengujian Benda Uji

1) Pengujian Kuat Tekan

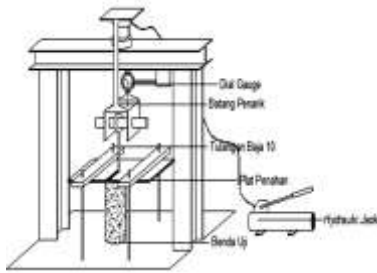
Pelaksanaan pengujian kuat tekan dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Maksud dari penelitian ini adalah untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine*. Setup pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Setting Up Alat Uji Kuat Tekan. (Sumber: Sari:2020)

2) Pengujian Kuat Lekat

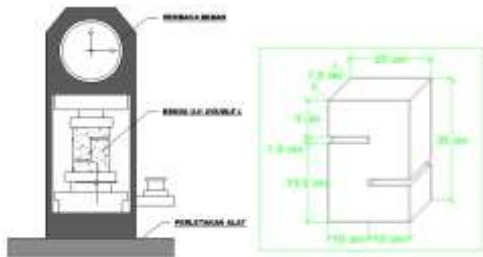
Pelaksanaan pengujian ini dilakukan terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari. Pengujian kuat lekat (*Bond Strength*) dilakukan dengan cara menempatkan silinder beton pada loading frame yang dilengkapi dengan *hydraulic jack* dan *load cells*, kemudian batang tulangan yang tertanam pada silinder ditarik (*Pull-Out Test*) secara berangsur-angsur sehingga benda uji mencapai pembebanan maksimal. Setup pengujian kuat lekat dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.3. Setting Up Alat Uji Kuat Lekat. (Sumber: Haryadi dkk:2021)

3) Pengujian Kuat Geser

Pelaksanaan pengujian kuat geser dilakukan setelah beton berumur 28 hari dengan benda uji berbentuk double L berukuran 30cm x 20cm x 7,5cm. Setup pengujian kuat geser dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.4. Setting Up Alat Uji Kuat Geser. (Sumber: Sari:2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alam, batu pecah dengan diameter maksimum 20mm, semen PCC merek Tiga Roda, air dan limbah abu terbang (*fly ash*) kelas C yang didapatkan dari PLTU Jeranjang.

Untuk mengetahui sifat-sifat fisik dari bahan-bahan tersebut dilakukan uji pendahuluan yang dilakukan berdasarkan SNI.

Tabel 4.1. Hasil Uji Pendahuluan.

No	Pengujian Bahan	Jenis Agregat	
		Pasir	Kerikil
1	Pengujian Berat Satuan Agregat		
a	Berat Satuan Agregat Lepas (kg/m ³)	0,98	1,22
b	Berat Satuan Agregat Padat (kg/m ³)	1,17	1,35
2	Pengujian Berat Jenis Agregat		
a	Berat Jenis Kondisi SSD	2,16	2,58
b	Berat Jenis Kondisi Kering	2,10	2,53
c	Penyerapan Air (%)	3,17	1,81
3	Gradasi Agregat (MHB)	3,542	6,626
4	Kandungan Lumpur (%)	1,15	-

Pengujian Slump Beton Segar

Pengujian nilai *slump* pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat kelecakan (*workability*) adukan beton. Semakin besar nilai *slump* berarti adukan beton semakin encer dan semakin mudah dalam proses pengerjaan dan sebaliknya. Nilai *slump* untuk masing-masing variasi adonan beton dapat dilihat pada tabel 4.8. berikut:

Tabel 4.8. Nilai *Slump*.

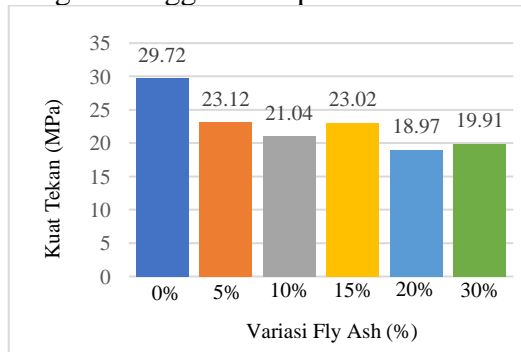
Variasi campuran	Nilai slump (cm)
0%	9,5
5%	8
10%	8
15%	9,75
20%	9
30%	8

Pengujian Beton

1) Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

a) Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan benda uji yang berupa silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm. Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian modulus elastisitas beton dengan menggunakan *Compression Testing Machine* setelah benda uji berumur 28 hari. Data yang diperoleh dalam pengujian kuat tekan ini yaitu beban maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami keruntuhan. Kuat tekan beton dihitung dengan menggunakan persamaan 2-2.

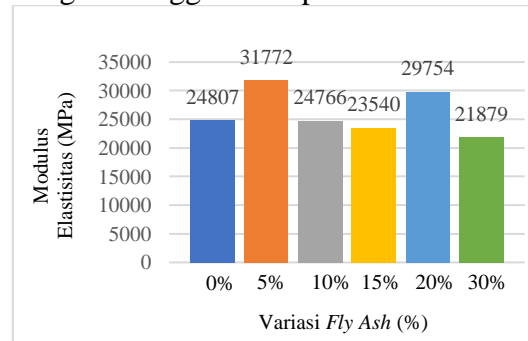


Gambar 4.4. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.

Dari hasil pengujian kuat tekan beton didapatkan kuat tekan pada BNFA 0%, BNFA 5%, BNFA 10%, BNFA 15%, BNFA 20% dan BNFA30% secara berturut-turut sebesar 29,72 MPa, 23,12 MPa, 21,04 MPa, 23,02 MPa, 18,97 MPa dan 19,91 MPa dengan nilai yang disyaratkan pada beton normal yaitu sebesar 20 MPa. Nilai kuat tekan yang dihasilkan pada beton normal *fly ash* 20% dan 30% kurang dari 20 MPa sehingga dianggap tidak dapat memenuhi persyaratan beton normal. Sedangkan nilai kuat tekan yang paling besar didapatkan pada BNFA 0% sebesar 29,72 MPa dan untuk yang menggunakan variasi *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen didapatkan pada BNFA 5% sebesar 23,12 MPa.

b) Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan menggunakan dial yang ditempatkan secara vertikal untuk mengetahui perubahan bentuk per satuan panjang dari benda uji kuat tekan. Modulus elastisitas beton dihitung dengan menggunakan persamaan 2-3.

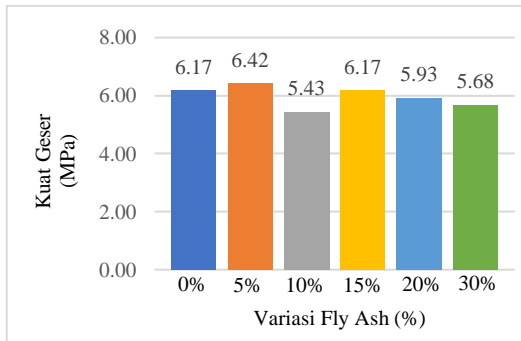


Gambar 4.5. Grafik Modulus Elastisitas Beton.

Dari hasil perhitungan modulus elastisitas dapat diperoleh nilai pada BNFA 0%, BNFA 5%, BNFA 10%, BNFA 15%, BNFA 20% dan BNFA30% secara berturut-turut sebesar 24807 MPa, 31772 MPa, 24765 MPa, 23540 MPa, 29753 MPa dan 21879 MPa. Nilai modulus elastisitas yang paling tinggi didapatkan pada BNFA 5% yaitu sebesar 31772 MPa.

2) Pengujian Kuat Geser Beton

Pengujian kuat geser beton dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* setelah benda uji melalui perawatan selama 28 hari. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat geser ini berupa *double-L* dengan ukuran 30 cm x 20 cm x 7,5 cm. Data yang diperoleh dari pengujian kuat geser ini berupa beban maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami keruntuhan. Kuat geser beton dihitung dengan menggunakan persamaan 2-4.

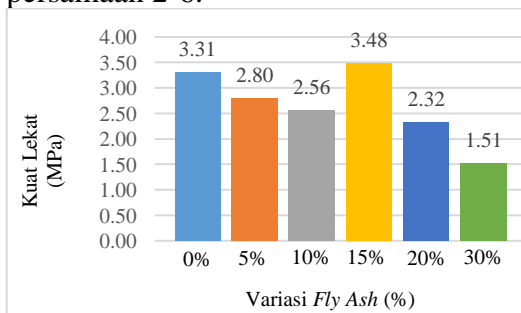


Gambar 4.7. Grafik Hasil Pengujian Kuat Geser Beton.

Dari hasil pengujian kuat geser beton didapatkan kuat geser pada BNFA 0%, BNFA 5%, BNFA 10%, BNFA 15%, BNFA 20% dan BNFA30% secara berturut-turut sebesar 6,17 MPa, 6,42 MPa, 5,43 MPa, 6,17 MPa, 5,93 MPa dan 5,68 MPa dengan nilai kuat geser yang paling besar didapatkan pada sampel BNFA 5% sebesar 6,42 MPa.

3) Pengujian Kuat Lekat Beton

Pengujian kuat lekat beton dilakukan dengan menggunakan cara menempatkan silinder pada *loading frame* yang dilengkapi dengan *hydraulic jack and loads*, kemudian batang tulangan baja yang tertanam pada silinder ditarik sampai didapatkan beban maksimumnya. Nilai kuat lekat beton dihitung dengan menggunakan persamaan 2-6.



Gambar 4.9. Grafik Hasil Pengujian Kuat Lekat Beton.

Dari hasil pengujian kuat lekat beton didapatkan kuat lekat pada BNFA 0%, BNFA 5%, BNFA 10%, BNFA 15%, BNFA 20% dan BNFA30% secara berturut-turut sebesar 3,31 MPa, 2,80 MPa, 2,56 MPa, 3,48 MPa, 2,32 MPa

dan 1,51 MPa dengan nilai kuat lekat yang paling besar didapatkan pada sampel BNFA 15% sebesar 3,48 MPa. Hal ini diduga karena *fly ash* selain berfungsi sebagai pozolan yang bereaksi sebagai pengikat namun juga berfungsi sebagai filler yang mengisi rongga-rongga pada beton sehingga membuat beton lebih kuat dalam menahan pergeseran tulangan yang ada di dalamnya.

Dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa kerusakan yang terjadi pada BNFA 0%, BNFA 5%, BNFA 10%, BNFA 15%, BNFA 20% dan BNFA30% berupa *Pull Out Failure* atau slip dengan kondisi di mana baja tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan komponen tegangan geser yang memecah lekatan antara baja tulangan dan beton. Hal ini dikarenakan baja tulangan yang digunakan pada benda uji berupa baja polos tanpa adanya tekukan di ujung angker yang mengakibatkan tidak ada penahan ekstra yang dimiliki baja untuk tetap melekat pada lapisan dalam beton.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, analisa data dan pembahasan tentang “Pengaruh *Fly Ash* Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan, Kuat Geser dan Kuat Lekat Tulangan (*Bond Strength*) Pada Beton Normal” dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Berdasarkan hasil uji kuat tekan yang telah dilakukan belum dapat menunjukkan hasil yang cukup memuaskan. Kuat tekan yang paling tinggi dari penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen didapatkan pada BNFA 5% yaitu sebesar 23,12 MPa, sedangkan kuat tekan tanpa adanya variasi *fly ash* dapat menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi yaitu 29,72 MPa.

- 2) Berdasarkan hasil uji kuat geser yang telah dilakukan dapat menunjukkan hasil yang cukup memuaskan. Kuat geser yang paling tinggi dari menggunakan *fly ash* sebagai pengganti dari sebagian semen didapatkan pada BNFA 5% yaitu sebesar 6,42 MPa, yang dimana hasil ini lebih besar 0,25 MPa dari kuat geser beton normal tanpa adanya variasi *fly ash* yaitu 6,17 MPa.
- 3) Berdasarkan hasil uji kuat lekat yang telah dilakukan dapat menunjukkan hasil yang cukup memuaskan. Kuat lekat yang paling tinggi dari menggunakan *fly ash* sebagai pengganti dari sebagian semen didapatkan pada BNFA 15% yaitu sebesar 3,48 MPa, yang dimana hasil ini lebih besar 0,17 MPa dari kuat lekat beton normal tanpa adanya variasi *fly ash* yaitu 3,31 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibroto, F., Suhelmidawati, Etri., Zade, A.A.M., 2018, *Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen*. Jurnal. Polytechnic State of Padang West Sumatera.
- Adisya, Aping Aditya., 2022, *Pengaruh Penggunaan Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kapasitas Balok dan Kolom Beton Bertulang*. Skripsi. Prodi Teknik Sipil Universitas Mataram.
- Anonim, 1971, *Peraturan Beton Indonesia*. Dept Pekerdjaan Umum Dan Tenaga Listrik Direktorat Djendral Tjipta Karya Lembaga Pnjelidikan Masalah Bangunan.
- Anonim, 1990, *SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2000, *SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2002, *ACI 232.2R-96 Use of Fly Ash in Concrete*. American Concrete Institute.
- Anonim, 2012, *SNI 7656-2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2014, *SNI 2460-2014 Spesifikasi Abu Terbang Batubara Dan Pozolan Alam Mentah Atau Yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2017, *Diklat Perkerasan Kaku Modul 3 Rancangan Campuran Beton*. Pusdiklat Jalan, Perumahan, Dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah.
- Asroni, Ali, 2010, *Balok Dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- ASTM International. (2006). *ASTM C 469 - 02. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. United States: ASTM International.
- Dipohusodo, I., 1993. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia.
- Haryadi., Pradipta, Ajeng Larasati., Akmaludin., 2021, *Analysis of The Effect of Various Support Distances to The Bond Strength of Plain Anchor Bolt in Concrete*. International Conference on Disaster Mitigation and Management (ICDMM 2021). E3S Web of Conferences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202133105011>
- Irawan, Rulli Ranastra, 2013, *Semen Portland Di Indonesia Untuk Aplikasi Beton Kerja Tinggi*. Kementrian Pekerjaan Umum

- Badan Penelitian Dan Pengembangan Pusat Penelitian Dan Pengembangan Jalan Dan Jembatan.
- Kusuma, Gideon H., 1993, *Pedoman Pengerjaan Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Lukito, I.C., 2011, *Studi Perilaku Kuat Geser Pada Beton dengan Menggunakan Serat Kawat Bendrat*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Muthoharoh, Isna., Agustin, Rima Sri., Sunanarsih, Ernawati Sri., 2014, *Self Healing Capability Beton Dengan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Ditinjau Dari Workability, Kuat Tekan Dan Permeabilitas*. Jurnal. Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret.
- Nawy, E.G., (alih bahasa : Bambang Suryatmojo), 1998, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Refika Aditama, Bandung.
- Nuryani, T.A., 2008, *Pengaruh Rasio Tulangan Pada Berbagai Mutu Beton Terhadap Penguatan Tarik Baja Tulangan Beton Bertulang (Tension Stiffening Effect)*. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro Semarang.
- Prasetyo, Ginanjar Bagus., Trinugroho, Suhendro., Solikin, Mochamad., 2015, *Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen*. Jurnal. Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sari, Cindy Widya., 2020, *Pengaruh Variasi Panjang Tekukan Ujung Tulangan Tertanam Terhadap Kuat Lekat (Bond Strength) Tulangan Baja Polos Pada Beton Normal, Beton Ringan Dan Beton Mutu Tinggi*. Skripsi. Prodi Teknik Sipil Universitas Mataram.
- Setiawati, Mira & Imaduddin, Muhammad., 2018, *Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton*. Jurnal. Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono., 2017, *Teknologi Beton*. Jogjakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.