

Pengaruh Tambahan Nano Fly Ash terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Hantoro^{*1}, Ilham Zaid Nabil², Ignatius Sudarsono³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Langlangbuana,
Jl. Karapitan no.116, Bandung
e-mail: *1hantoro97@gmail.com, 2ilhamzaid04@gmail.com

Abstract

Fly ash, the result of coal combustion, is commonly used as a cement substitution material. Its purpose is to reduce the use of cement and environmental pollution to create sustainable development. In addition, nanomaterials, currently known as materials with sizes in the range of 1 – 100 nm, are often applied in the construction world to improve the quality of concrete. This research aims to evaluate the effect of cement substitution with nano fly ash on the mechanical properties and microstructure of normal concrete. Referring to these problems, this study was conducted to find out whether the use of nano fly ash as a substitution for some cement influences the strength of concrete. The methods used in this study are quantitative, experimental, and analytical, so accurate results are obtained based on the applicable parameters. The hypothesis of this study is that the addition of nano fly ash in certain proportions can enhance the mechanical strength of concrete and improve the microstructure of the cement paste through an accelerated pozzolanic reaction. Results show that a 20% substitution of cement with nano fly ash provides the optimal performance, achieving a compressive strength of 20.79 MPa and an elastic modulus of 22,563.84 MPa at 28 days

Keywords: Concrete, Nanomaterial, Nano Fly Ash

Abstrak

Fly ash yang merupakan hasil sisa pembakaran batu bara, umum digunakan sebagai bahan substitusi semen. Tujuan penggunaannya adalah agar dapat mereduksi penggunaan semen dan pencemaran lingkungan dalam rangka menciptakan pembangunan yang berkelanjutan. Selain hal tersebut, saat ini dikenal nanomaterial sebagai material dengan ukuran dalam rentang 1 – 100 nm kerap diaplikasikan pada dunia konstruksi guna meningkatkan kualitas dari beton. Merujuk pada permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penggunaan nano fly ash sebagai substitusi sebagian semen memiliki pengaruh terhadap kekuatan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh substitusi semen dengan nano fly ash terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur beton normal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode kuantitatif, eksperimental dan studi analisa sehingga didapatkan hasil yang akurat berdasarkan parameter sehingga didapatkan hasil yang akurat berdasarkan parameter yang berlaku. Hipotesis dari penelitian ini adalah bahwa penambahan nano fly ash pada proporsi tertentu dapat meningkatkan kekuatan mekanik beton serta memperbaiki mikrostruktur pasta semen melalui reaksi pozzolanik yang dipercepat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada umur 28 hari beton nano fly ash 20% merupakan variasi optimum dari seluruh variasi yang ada, hasil yang diperoleh adalah kuat tekan sebesar 20,79 MPa dan modulus elastisitas sebesar 22563,84 MPa sehingga dari keseluruhan hasil penggunaan nano fly ash sebagai substitusi semen mampu meningkatkan mutu beton. Thus, the overall results suggest that using nano fly ash as a cement substitution can improve the quality of concrete.

Kata kunci: Beton, Nanomaterial, Nano Fly Ash

1. Pendahuluan

Beton merupakan salah satu bahan utama di bidang konstruksi yang sering digunakan pada proyek konstruksi di darat maupun di laut (Sudarsono et al., 2023). Pembuatan beton normal yang terbuat dari beberapa komposisi material seperti agregat kasar, agregat halus, serta semen telah mengalami penurunan kuantitas yang menyebabkan terjadinya banyak kerusakan terhadap lingkungan terutama pada material semen (Azunna, 2019). Sumber emisi gas rumah kaca di dunia bersumber dari produksi semen portland yang signifikan. (Samuvel Raj et al., 2023).

Penggunaan konsep *green concrete* di dunia konstruksi dilakukan untuk perkembangan pembangunan berkelanjutan sebagai salah satu upaya mengurangi polusi terhadap lingkungan dengan menggunakan limbah industri sebagai bahan bangunan (Puspita et al., 2020). Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi polusi yaitu menggunakan *fly ash* sebagai salah satu bahan yang dapat di substitusi terhadap semen. El-Didamony et al (2016) mengungkapkan sejak paruh kedua abad ke-20, penambahan bahan tambahan semen pada semen portland mendapat perhatian baru. Salah satu contoh bahan tambah pada semen yaitu *fly ash* yang merupakan hasil dari sisa pembakaran batu bara dengan memiliki butiran dengan ukuran partikel yang sangat kecil. Setiawati (2018) mengungkapkan *fly ash* memiliki sifat kimia berupa silica dan alumina yang terkandung dengan persentase sebesar 80%. Sifat kimia yang terkandung tersebut serta ukuran partikel yang sangat kecil menjadi alasan *fly ash* dimanfaatkan sebagai salah satu material dari beton.

Penelitian Alfiandinata (2020) mengungkapkan bahwa penggunaan *fly ash* dengan variasi substitusi sebesar 20% mendapatkan hasil kuat tekan rata-rata sebesar 20,948 MPa. Lain halnya dengan penelitian yang dilakukan Sudarsono et al (2023), penelitian tersebut menunjukkan hasil kuat tekan optimum yaitu 43,37 MPa didapatkan pada beton yang memiliki umur 28 hari dengan substitusi *fly ash* sebesar 10%. Pada umur 56 hari dengan variasi 20% *fly ash* memiliki kuat tekan optimum sebesar 50,08 MPa serta beton pada umur 90 hari tanpa tambahan *fly ash* memiliki kuat tekan beton optimum sebesar 55,22 MPa. Nano fly ash dibuat dengan proses Ball Milling selama 8 jam menggunakan alat di FiNder U-CoE, Universitas Padjadjaran. Ukuran dikonfirmasi dengan PSA, dari 391,6 nm → 98,9 nm.

Hamada et al (2024) mengungkapkan bahwa inovasi harus dilakukan untuk memperbaiki material *fly ash*. Salah satu cara untuk memperbaiki material *fly ash* yaitu menggunakan teknik nanomaterial yang umum dijumpai pada industry medis dan bahan. Nanomaterial mengacu pada material sangat halus dengan ukuran dalam rentang 1 – 100 nm (Shi et al., 2024).

Penelitian (Tudjono et al., 2014) mengungkapkan bahwa substitusi *nano fly ash* 9% menghasilkan kuat tekan sebesar 56,14 MPa atau meningkat 37,97%. Selain itu pada penelitian (Kuncoro, 2021) pengujian modulus elastisitas beton dengan variasi substitusi *fly ash* yang digunakan yaitu sebesar 15%, 30%, serta 40% diperoleh hasil masing-masing sebesar 26281,67 MPa, 20647,00 MPa, dan 18312,33 MPa.

Dari permasalahan tersebut penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *nano fly ash* sebagai substitusi semen dapat meningkatkan mutu beton normal dari sisi kuat tekan dan modulus elastisitas. Substitusi dari *nano fly ash* memiliki variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% serta sebagai pembanding digunakan *fly ash* dengan proporsi yang sama sebagai pembanding dengan nilai kuat tekan rencana 20 MPa.

2. Metode Penelitian

Metode pada penelitian ini merupakan proses yang dirangkai secara khusus untuk memecahkan permasalahan. Metode yang digunakan yaitu metode kuantitatif yang didalamnya memuat studi literatur sebagai referensi yang akan digunakan studi eksperimental untuk mengetahui parameter kebutuhan campuran beton juga pengujian beton, dan studi Analisa untuk mengetahui perbandingan sampel beton.

Pengujian bahan untuk mengetahui parameter bahan dilakukan dalam 3 lokasi berbeda dijelaskan sebagai berikut.

1. Untuk mengubah *fly ash* dari ukuran biasa menjadi ukuran dalam skala rentang nano dilakukan di FiNder U-CoE Departemen Fisika yang berada di Universitas Padjajaran Pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah Ball Milling selama 8 jam serta *Particle Size Annalyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran dilakukan pengujian .
2. Pengujian bahan penyusun dan pengujian mekanik beton dilakukan di laboratorium Teknik Sipil yang berada di Politeknik Negeri Bandung. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian agregat halus, agregat kasar, semen, *fly ash*, *nano fly ash*, kuat tekan dan modulus elastisitas.
3. Pengujian untuk mengetahui morfologi dari beton dan unsur yang terkandung didalamnya dilakukan di laboratorium Politeknik Negeri Manufaktur Bandung. Pengujian yang dilakukan meliputi *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS).

2.1. Berat Jenis

Pengujian berat jenis semen, *fly ash*, dan *nano fly ash* dengan menggunakan metode *Le Chatelier* mengacu pada SNI 15-2531-1991.

$$S_c = \frac{w}{V_2 - V_1} \quad (1)$$

Keterangan :

S_c	=	Berat jenis semen/fly ash/ nano fly ash
W	=	Berat benda uji(g)
V_1	=	Bacaan volume awal (ml)
V_2	=	Bacaan volume akhir (ml)

2.2. Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilaksanakan pada beton yang memiliki umur 7, 14, dan 28 hari. Untuk menghitung hasil kuat tekan mengacu pada SNI 1974-2011 digunakan persamaan berikut.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Keterangan :

$f'c$	=	Kuat tekan (MPa).
P	=	Beban maksimum yang terbaca pada alat uji tekan (N).
A	=	Luas penampang (mm^2).

2.3. Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton aktual pengujian (E_c) mengacu pada ASTM C469 dihitung menggunakan persamaan berikut pada umur 28 hari.

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_2 - 0,000050} \quad (3)$$

Keterangan :

E_c	=	Modulus elastisitas (kg/cm^2)
S_1	=	Tegangan pada 40% tegangan runtuh (kg/cm^2).
S_2	=	Tegangan pada saat nilai kurva regangan $\varepsilon_1 = 0,000050$ mPa (kg/cm^2)
ε_2	=	Nilai kurva regangan yang terjadi pada saat S_2

3. Hasil dan Pembahasan

Sebelum dilakukan pembuatan beton, material yang digunakan seperti agregat halus dan agregat kasar harus dilakukan uji material terlebih dahulu di laboratorium dan diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Material Properties Agregat Halus

Pengujian	Nilai	Kriteria
FM	2,73	1,5 – 3,8
Berat Jenis SSD	2,59	1,6 – 3,3
Penyerapan Air	3,26%	< 5%
Kadar Air Lapangan	3,79%	< 4%
Bobot Isi	1,698	
Kadar Lumpur	3,27%	< 5%
Kadar Zat Organik	No.1	< No.3

Sumber: Hasil Pengujian (2023)

Tabel 2. Material Properties Agregat Kasar

Pengujian	Nilai	Kriteria
FM	6,34	5,5 – 8,5
Berat Jenis SSD	2,43	2,6 – 2,8
Penyerapan Air	1,93%	< 2,5%
Kadar Air Lapangan	1,37%	< 4%
Bobot Isi	1,545	
Kadar Lumpur	2,14%	< 1%
Nilai Abrasi	25,6%	< 40%

Sumber: Hasil Pengujian (2023)

Pengujian yang dilakukan pada material *fly ash* dan *nano fly ash* dilakukan pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA) dan pengujian berat jenis.

Tabel 3. Hasil Pengujian Particle Size Analyzer (PSA)

Material	Hasil Milling	
	Sebelum (nm)	Sesudah (nm)
Fly Ash	391,6	98,9

Sumber: Hasil Pengujian (2023)

Pada pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA) diperoleh hasil sebelum dilakukan *milling* ukuran partikel *fly ash* rata-rata berukuran 391,6 nm dan setelah dilakukan *milling* ukuran partikel menjadi 98,9 nm. Dimana ukuran nano partikel secara definisi berkisar antara 0 – 100 nm, maka material yang digunakan memasuki kriteria tersebut.

Pengujian berat jenis semen, *fly ash*, dan *nano fly ash* dilakukan untuk nantinya dijadikan acuan sebagai kebutuhan material filler pada campuran beton.

Tabel 4. Berat Jenis

Benda Uji	Berat Jenis
Semen	3,148
Fly Ash	2,550
Nano Fly Ash	2,536

Sumber: Hasil Pengujian (2023)

Pengujian berat jenis semen mendapatkan nilai rata-rata 3,148. Pengujian mendapatkan hasil berat jenis *Fly Ash* rata-rata 2,550 dan pengujian berat jenis *Nano Fly Ash* rata-rata 2,536 terdapat selisih yang kecil diantaranya mengingat ukuran dari *nano fly ash* lebih kecil dibandingkan dengan *fly ash*.

Perhitungan mix design mengacu pada SNI 7656-2012 sehingga didapat kebutuhan material seperti pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Kebutuhan Bahan Per m³

Material	Berat
Air	206,27 Kg
Semen	388,482 Kg
Agregat Halus	784,491 Kg
Agregat Kasar	969,079 Kg

Sumber: Hasil Pengujian (2023)

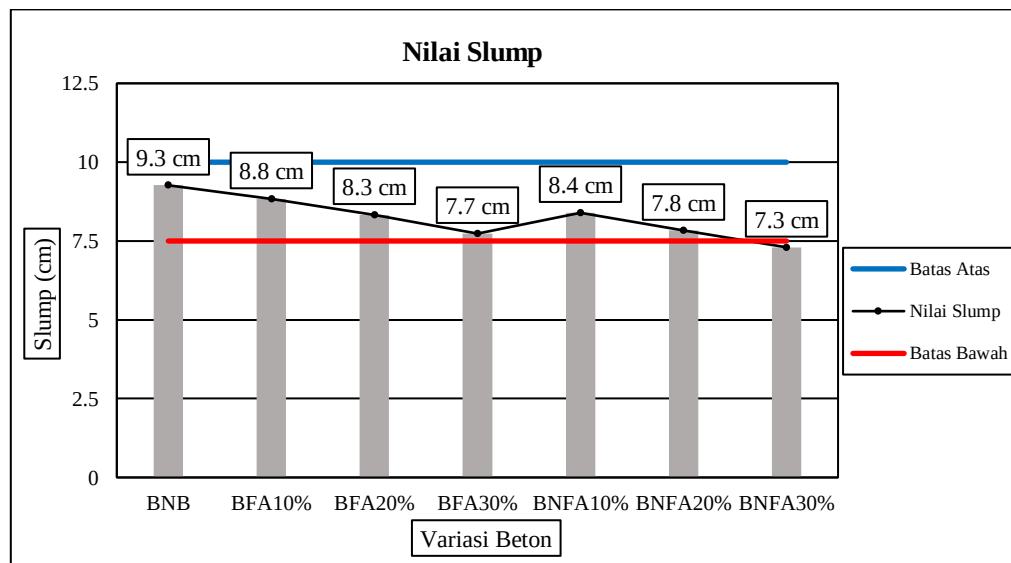
Dengan variasi benda uji terdapat 7 variasi yang dijabarkan dalam **Tabel 6**.

Tabel 6. Variasi Benda Uji Beton

No	Nama Benda Uji	Kode
1	Beton Normal Biasa	BNB
2	Beton Normal <i>Fly ash</i> 10%	BFA10%
3	Beton Normal <i>Fly ash</i> 20%	BFA20%
4	Beton Normal <i>Fly ash</i> 30%	BFA30%
5	Beton Normal Nano <i>Fly ash</i> 10%	BNFA10%
6	Beton Normal Nano <i>Fly ash</i> 20%	BNFA20%
7	Beton Normal Nano <i>Fly ash</i> 30%	BNFA30%

Sumber: Hasil Pengujian (2023)

Hasil perhitungan design beton dilakukan pencampuran untuk pembuatan benda uji, pada kegiatan pencampuran dilakukan pengujian slump untuk mengetahui kelecakan daripada beton segar. Gambar 1 merupakan grafik hasil Pengujian Slump.



Gambar 1. Grafik Nilai Slump Seluruh Variasi Beton

Sumber : Hasil Pengujian (2023)

3.1. Kuat Tekan

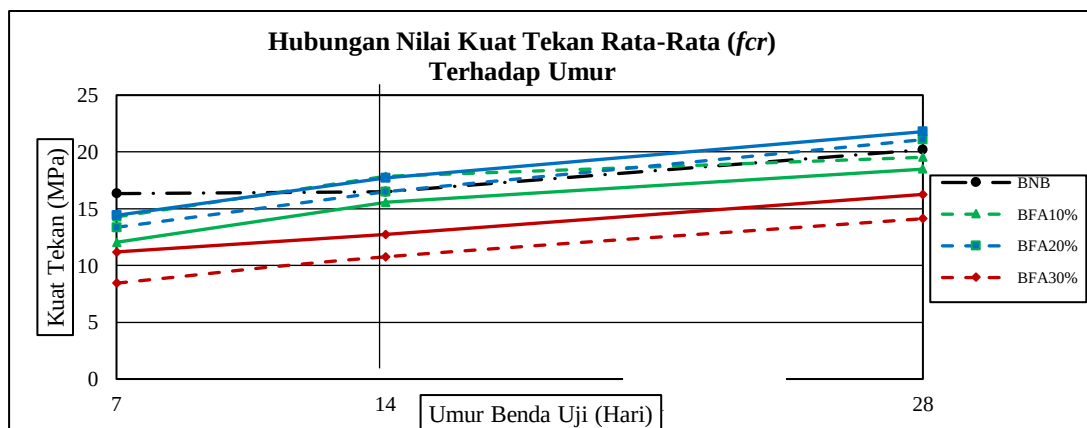
Uji kuat tekan pada beton dilakukan kepada semua variasi beton yang sudah mencapai umur 7, 14, dan 28 hari.

Tabel 7. Hasil Kuat Tekan Rata-rata Setiap Variasi

Variasi Beton	f_{cr} (MPa)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
BNB	16,33	16,48	20,20
BFA10%	14,28	17,87	19,53
BFA20%	13,36	16,48	21,09
BFA30%	8,45	10,76	14,12
BNFA10%	12,05	15,57	18,49
BNFA20%	14,42	17,72	21,79
BNFA30%	11,20	12,71	16,26

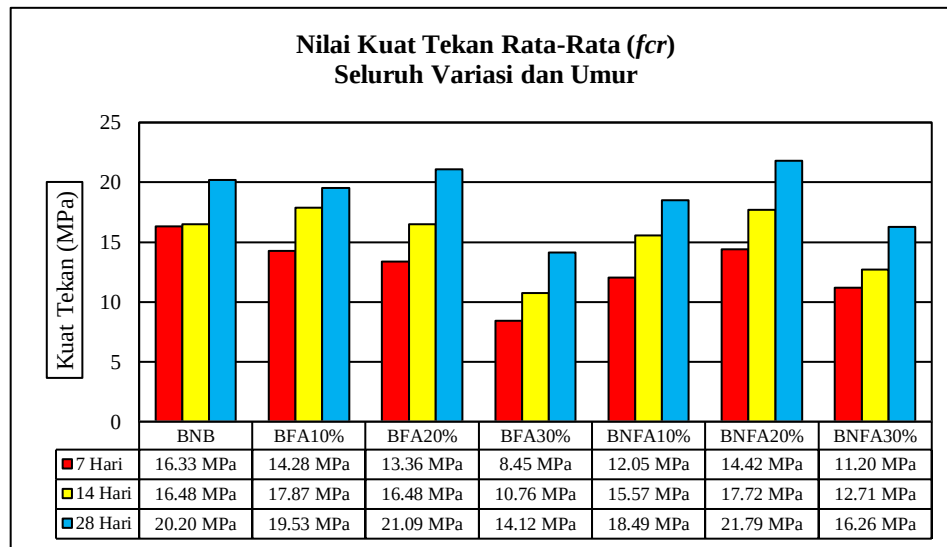
Sumber : Hasil Pengujian (2023)

Tabel 7, Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan karakteristik masing-masing variasi beton dari sisi kekuatan. Untuk beton pada umur 7 hari BNB memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 16,33 Mpa (Tertinggi) sedangkan BNFA 30% sebesar 8,45 Mpa (Terendah). Beton umur 14 hari, BNFA dengan variasi 10% memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 17,87 MPa (Tertinggi) sedangkan BNFA dengan variasi 30% sebesar 10,76 Mpa (Terendah). Untuk beton berumur 28 hari, BNFA variasi 20% memiliki kuat tekan rata-rata 21,79 Mpa (Tertinggi) sedangkan BNFA 30% 14,12 Mpa (Terendah). Ukuran partikel dari nano fly ash yang lebih kecil dapat mengisi ruang daripada beton sehingga dapat meningkatkan mutu beton.



Gambar 2. Grafik Hasil Kuat Tekan Beton Semua Variasi

Sumber : Hasil Pengujian (2023)

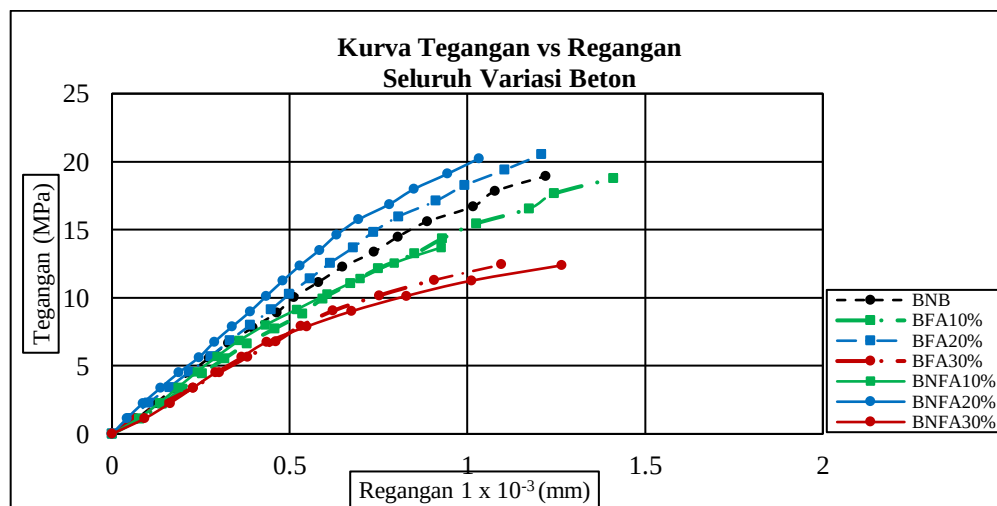


Gambar 3. Grafik Batang Perbandingan Kuat Tekan Beton Semua Variasi

Sumber : Hasil Pengujian (2023)

3.2. Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas aktual pada beton dilakukan menggunakan metode ASTM C 469 dengan alat *compressive strength machine* (CTM) yang diberi pembebanan secara konsisten. *Dial* pada *compressometer* digunakan untuk mengukur besaran deformasi yang terjadi sehingga regangan diketahui setiap pembebanan yang terjadi. Hasil pengujian dijabarkan pada grafik hubungan antara tegangan dan regangan yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Kurva Modulus Elastisitas Aktual

Sumber : Hasil Pengujian (2023)

Contoh hasil dan perhitungan modulus elastisitas beton pada penelitian ini. Pengujian modulus elastisitas penelitian ini mendapatkan hasil seperti Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Beton Normal

Nomor Benda Uji	Gaya Tekan Maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)
BNB (I)	364	20,08
BNB (II)	370	20,91
BNB (III)	354	19,62

Sumber: Hasil Perhitungan (2023)

Pengukuran dilakukan pada alat compressometer dan *dial* sehingga didapatkan hasil sebagai berikut
 1 Divisi Dial Deformasi = 0,01
 Tinggi *Compressometer* = 200,5 mm

Untuk beton normal perhitungan modulus elastisitas digunakan persamaan ACI. Sebagai contoh perhitungan dilakukan pada BNB.

$$E_{Teoritis} = 4700\sqrt{f'c}$$

$$E_{Teoritis} = 4700\sqrt{20,02}$$

$$E_{Teoritis} = 21124,18 \text{ Mpa}$$

Pada saat menguji modulus elastisitas, dial pada compressometer digunakan untuk mengukur besaran deformasi yang terjadi sehingga regangan diketahui setiap pembebanan yang terjadi. Dimana regangan dihitung menggunakan **Persamaan (4)**.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (4)$$

Keterangan :

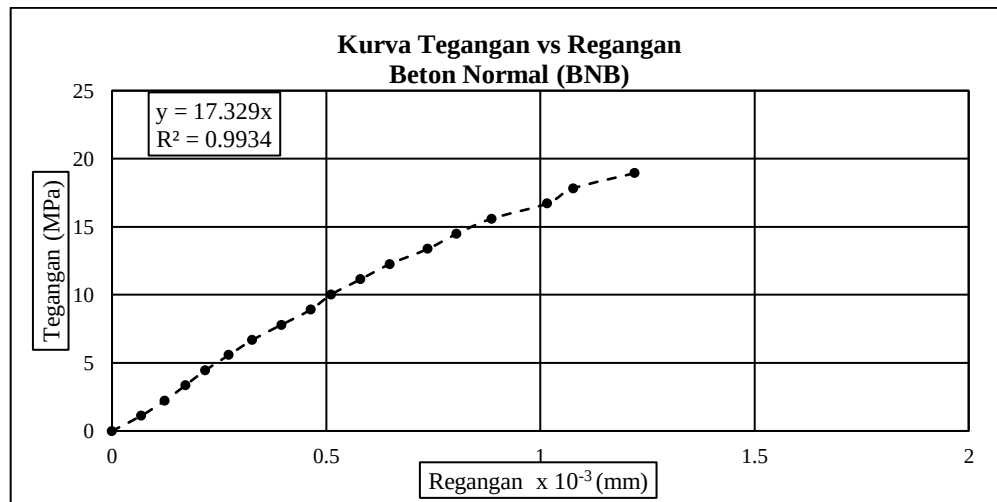
ε = Regangan (mm)
 Δl = Deformasi bacaan *dial*
 l = Tinggi Alat (mm)
 0,01 = 1 Divisi bacaan *dial* (mm)

Sebagai contoh perhitungan digunakan data untuk BNB pada saat diberi beban 20 kN sehingga regangan yang terjadi adalah sebagai berikut.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$$\varepsilon = \frac{1,4 \times 0,01}{200,5}$$

$$\varepsilon = 0,000068 \approx 0,068 \times 10^{-3} \text{ mm}$$



Gambar 5. Kurva Tegangan dengan Regangan Beton Normal (BNB)

Sumber: Hasil Perhitungan (2023)

Dari **Gambar 5**. Kurva Tegangan dengan Regangan Beton Normal (BNB) mendapatkan hasil persamaan regresi linear $y = 17329x$ yang akan digunakan dalam menentukan ε_1 dan σ_2 . Kuat tekan dari tiga benda uji Beton Normal (BNB) memiliki nilai rata-rata (f_{cr}) sebesar 20,02 MPa sehingga angka tersebut lah yang dijadikan sebagai acuan besaran 40% dari kuat tekan yang terjadi.

$$\sigma_1 = 20,02 \times 0,4$$

$$\sigma_1 = 8,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 0,000050 \text{ mm}$$

Setelah dihitung menggunakan persamaan regresi linear $y = 17329x$ maka didapat hasil sebagai berikut

$$\varepsilon_1 = 0,000413 \text{ mm}$$

$$\sigma_2 = 0,82 \text{ MPa}$$

Sehingga modulus elastisitas aktual dihitung sebagai berikut

$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}$$

$$E = \frac{8,08 - 0,82}{0,000413 - 0,000050}$$

$$E = 20008,33 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan modulus elastisitas juga mendapat hasil pada seluruh variasi beton seperti pada **Tabel 9**.

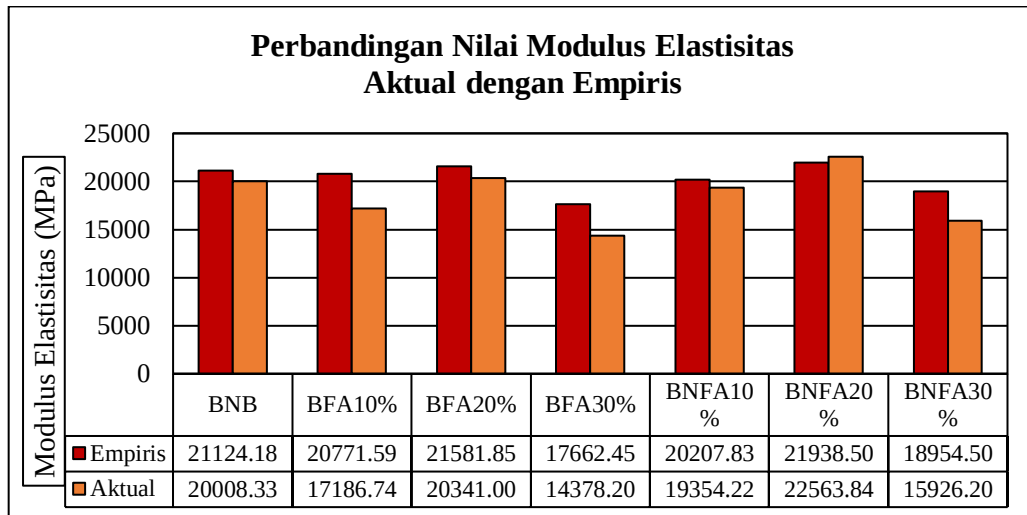
Tabel 9. Modulus Elastisitas Beton.

Variasi Beton	Modulus Elastisitas ACI (MPa)	Modulus Elastisitas Empiris (MPa)
BNB	21124,18	20008,33
BFA10%	20771,59	17186,74
BFA20%	21581,85	20341,00
BFA30%	17662,45	14378,20

Variasi Beton	Modulus Elastisitas ACI (MPa)	Modulus Elastisitas Empiris (MPa)
BNFA10%	20207,83	19354,22
BNFA20%	21938,50	22563,84
BNFA30%	18954,50	15926,20

Sumber: Hasil Perhitungan (2023)

Dari **Tabel 9** diplot kedalam grafik batang yang dapat dilihat pada **Gambar 6**. berikut.



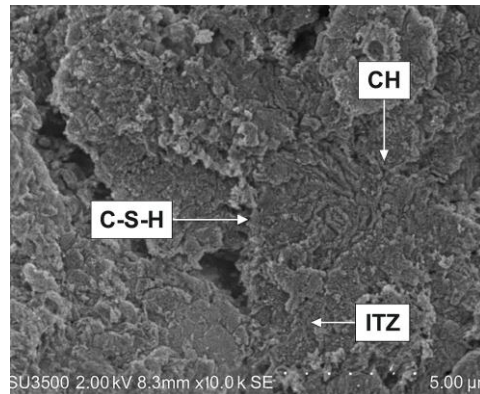
Gambar 6. Grafik Perbandingan Modulus Elastisitas Teoritis dengan Aktual

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

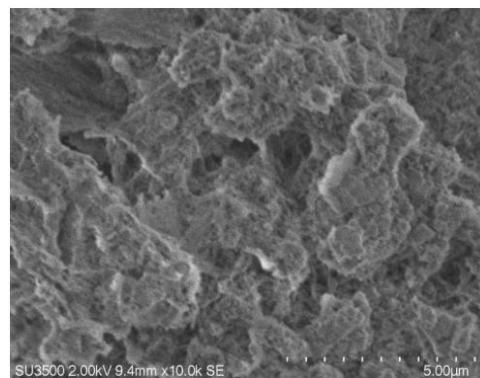
Dari perhitungan modulus elastisitas empiris BNFA20% mendapatkan nilai tertinggi sebesar 21938,50 MPa sedangkan nilai terendah ada di BFA30% sebesar 17662,45 MPa. Untuk modulus elastisitas aktual BNFA20% mendapatkan nilai tertinggi 22563,84 MPa sedangkan nilai terendah terdapat pada BFA30% sebesar 14378,20 Mpa. Pengujian karakterisasi dilakukan dengan metode pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS)*, Pengujian dilakukan pada sampel beton dengan nilai kuat tekan optimum umur 28 hari yaitu beton normal nano *fly ash* 20% (BNFA 20%).

3.3. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Uji *Scanning Electron Microscope (SEM)* pada campuran beton dilakukan untuk mengetahui morfologi dan densitas dari suatu benda uji yang diperoleh hasil yang terdapat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**. Pada **Gambar 7**, tampak struktur C-S-H (Calcium Silicate Hydrate) berbentuk gel halus menyelimuti partikel, menandakan reaksi pozzolanik. Kristal CH berbentuk heksagonal tampak lebih sedikit, mengindikasikan konsumsi oleh reaksi dengan SiO₂ nano fly ash. Zona ITZ terlihat lebih padat, mengindikasikan pengaruh partikel nano dalam mengisi pori mikro di perbatasan pasta dan agregat.



Gambar 7. Hasil Uji SEM Zoom 10.000 Kali (BNFA20%)
Sumber : Hasil Pengujian (2023)

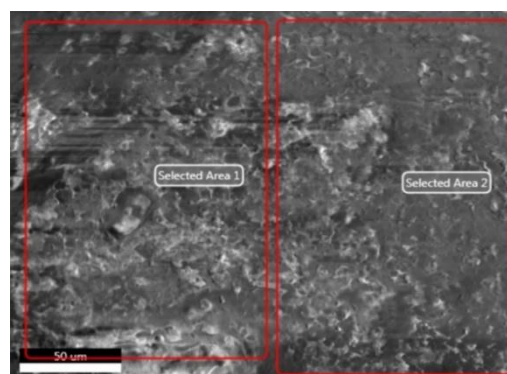


Gambar 8. Hasil Uji SEM Zoom 10.000 Kali (BFA20%)
Sumber : Hasil Pengujian (2023)

Pengujian SEM pada Beton Nano Fly Ash 20 % (BNFA20%) bila dilihat dari gambar memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan Beton Fly Ash 20% (BFA20%).

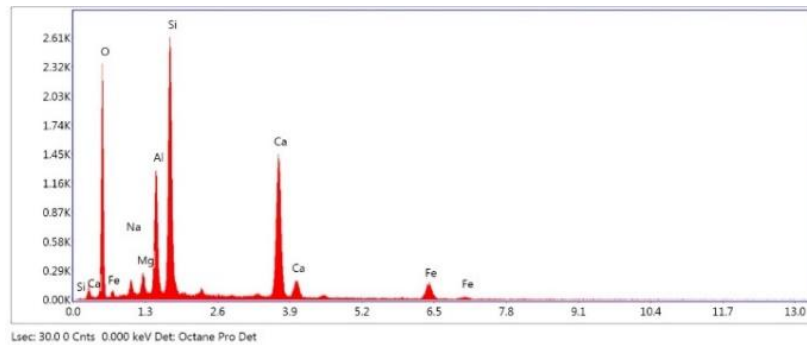
3.4. Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS)

Uji Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) dilakukan untuk memeriksa dari suatu sampel. Interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan suatu benda uji menghasilkan respon terhadap tumbukan dari partikel bermuatan. diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 9. Area Pengujian EDS (BNFA20%)
Sumber : Hasil Pengujian (2023)

Pada gambar diatas terdapat 2 area untuk dilakukan pengecekan kadar unsur elemen kimia yang terdapat pada sampel beton yang diuji dapat dilihat hasil dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian EDS Area 1 (BNFA20%)

Sumber : Hasil Pengujian (2023)

Dari hasil grafik area 1 dari setiap variasi benda uji didapatkan data jumlah setiap unsur elemen kimia yang terkandung pada sampel beton dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 10. Hasil Unsur Uji EDS Area 1 (BNFA20%)

BNNFA 20% Area 1		
Element	Weight (%)	Atomic (%)
OK	46,56	63,68
NaK	2,65	2,53
MgK	1,97	1,78
AlK	8,43	6,84
SiK	16,87	13,14
CaK	18,31	10,00
FeK	5,19	2,03

Sumber : Hasil Pengujian (2023)

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini hasil kuat tekan terjadi peningkatan mutu berdasarkan kuat tekan beton nano *fly ash* 20% sebesar 21,79 MPa atau 7,86% lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal yang memiliki nilai sebesar 20,2 MPa. Peningkatan tersebut menunjukkan hasil yang tidak terlalu signifikan. Nilai modulus elastisitas empiris BNFA20% mendapatkan nilai tertinggi sebesar 21938,50 MPa sedangkan nilai terendah pada BFA30% sebesar 17662,45 MPa, untuk modulus elastisitas aktual BNFA20% mendapatkan nilai tertinggi 22563,84 MPa sedangkan nilai terendah terdapat pada BFA30% sebesar 14378,20 Mpa.

Daftar Pustaka

Alfiandinata, A. (2020). *Pengaruh Penggunaan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton*. Universitas Muhammadiyah Mataram.

- Azunna, S. U. (2019). Compressive strength of concrete with palm kernel shell as a partial replacement for coarse aggregate. *SN Applied Sciences*, 1(4), 342. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0334-6>
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 7656:2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- El-Didamony, H., El-Aleem, S. A., & Ragab, A. E.-R. (2016). Hydration Behavior of Composite Cement Containing Fly Ash and Nanosized-SiO₂. *H. El*. <https://doi.org/10.11648/j.nano.20160402.11>
- Hamada, H. M., Abed, F., Al-Sadoon, Z. A., & Alashkar, A. (2024). Enhancing pozzolanic activity of fly ash via dry and wet milling: A comparative study for sustainable construction material enhancement. *Journal of CO₂ Utilization*, 83, 102811. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2024.102811>
- Kuncoro, F. B. (2021). Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton dengan Bahan Pengganti Semen Fly Ash Kadar 15%, 30%, dan 40% Terhadap Beton Normal. *Matriks Teknik Sipil*, 9(3), 170. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v9i3.54494>
- Puspita, N., Hani'a, A. I., & Fauzi, M. (2020). The effect of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) on Portland cement type II to compressive strength of high quality concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(2), 022068. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/2/022068>
- Samuvel Raj, R., Prince Arulraj, G., Anand, N., Kanagaraj, B., Lubloy, E., & Naser, M. Z. (2023). Nanomaterials in geopolymers composites: A review. *Developments in the Built Environment*, 13, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100114>
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 17, 1–8.
- Shi, C., Wu, Z., & Banthia, N. (2024). *Ultra-High Performance Concrete: Design, Performance, and Application* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003203605>
- Sitohang, J. (2015). *SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOTITANIA DARI TITANIUM ISOPROPOKSIDA SEBAGAI FUNGSI KONSENTRASI CaCl₂*. Universitas Lampung.
- Soentpiet, B. J., Wallah, Steenie. E., & Manalip, H. (2018). Modulus Elastisitas Beton Geopolymer Berbasis Fly Ash Dari Pltu Amurang. *Jurnal Sipil Statik*, 6(7), 517–526.
- Sudarsono, I., Wahyudi, S. I., & Adi, H. P. (2023). FLY ASH AND SILICA FUME SUBSTITUTION ON COMPRESSIVE STRENGTH AND PERMEABILITY OF CONCRETE IN THE MARINE ENVIRONMENT. *Jurnal PenSil*, 12(3), 281–292. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v12i3.34971>
- Tjokrodinuljo, K. (2012). *Teknologi Beton*. Yogyakarta Biro Penerbit Teknik Sipil dan Lingkungan UGM.
- Tudjono, S., Purwanto, X. X. X., & Apsari, K. T. (2014). Study the Effect of Adding Nano Fly Ash and Nano Lime to Compressive Strength of Mortar. *Procedia Engineering*, 95, 426–432. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.202>