



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRAK

Beton mutu tinggi merupakan material konstruksi yang membutuhkan kuat tekan tinggi serta memiliki *workability* yang baik. Salah satu upaya meningkatkan kualitas beton sekaligus mengurangi penggunaan semen adalah dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen hidraulis dan penambahan *superplasticizer*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kadar *fly ash* sebesar 5%, 10%, dan 15% serta penambahan *superplasticizer* sebesar 0,8% dari berat semen terhadap karakteristik beton segar dan sifat mekanis beton mutu tinggi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan mutu rencana 55 MPa. Pengujian meliputi nilai *slump*, *slump flow*, berat isi beton, kuat tekan umur 7 dan 28 hari, kuat tarik belah umur 28 hari, serta kuat lentur umur 28 hari. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan regresi linear berganda dengan bantuan aplikasi *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar *fly ash* tanpa *superplasticizer* menurunkan nilai *slump* dan berat isi beton, sedangkan penambahan *superplasticizer* meningkatkan *workability* campuran. Variasi optimum diperoleh pada campuran HC 90% + *fly ash* 10% + *superplasticizer* 0,8% yang menghasilkan kuat tekan umur 28 hari sebesar 61,870 MPa, kuat tarik belah 6,267 MPa, dan kuat lentur 8,089 MPa. Hasil analisis SPSS menunjukkan bahwa penambahan *superplasticizer* memberikan pengaruh yang lebih dominan dibandingkan variasi *fly ash* terhadap peningkatan sifat mekanis beton. Dengan demikian, penggunaan *fly ash* sebesar 10% dan *superplasticizer* sebesar 0,8% dapat direkomendasikan sebagai komposisi optimum dalam pembuatan beton mutu tinggi.

Kata kunci: *fly ash*, beton mutu tinggi, *superplasticizer*, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

High-strength concrete requires high compressive strength while maintaining good workability. One approach to improving concrete performance and reducing cement consumption is the partial replacement of hydraulic cement with fly ash combined with the addition of a superplasticizer. This study aimed to evaluate the effect of fly ash replacement levels of 5%, 10%, and 15% and the addition of a superplasticizer at 0.8% of cement weight on the fresh and mechanical properties of high-strength concrete. An experimental method was conducted with a target compressive strength of 55 MPa. The tests included slump, slump flow, concrete density, compressive strength at 7 and 28 days, splitting tensile strength at 28 days, and flexural strength at 28 days. The test results were analyzed using multiple linear regression with the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). The results showed that increasing the fly ash content without a superplasticizer reduced the slump value and concrete density, while the addition of a superplasticizer improved the workability of the concrete mixture. The optimum mixture was HC 90% + 10% fly ash + 0.8% superplasticizer, producing a 28-day compressive strength of 61.870 MPa, a splitting tensile strength of 6.267 MPa, and a flexural strength of 8.089 MPa. SPSS analysis indicated that the superplasticizer had a more dominant influence than fly ash on improving the mechanical properties of concrete. Therefore, the combination of 10% fly ash and 0.8% superplasticizer is recommended as the optimum mixture for producing high-strength concrete.

Keywords: fly ash, high-strength concrete, superplasticizer, compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan material komposit yang tersusun atas campuran semen hidraulis, agregat halus, agregat kasar, dan air yang mengalami proses hidrasi sehingga membentuk massa padat dengan kemampuan menahan beban tekan yang tinggi. Proses pengerasan beton terjadi akibat reaksi kimia antara senyawa utama dalam semen, terutama trikalsium silikat (C_3S) dan dikalsium silikat (C_2S), dengan air yang menghasilkan produk hidrasi berupa *calcium silicate hydrate* (C-S-H) dan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$). Produk C-S-H berperan dominan dalam memberikan kekuatan dan kekompakan mikrostruktur beton, sedangkan $Ca(OH)_2$ bersifat lebih rapuh dan kurang berkontribusi terhadap kekuatan mekanis. Kualitas pembentukan C-S-H sangat dipengaruhi oleh proporsi campuran serta kondisi perawatan beton. Penelitian menunjukkan bahwa pengendalian komposisi campuran secara tepat mampu meningkatkan kualitas pasta semen dan kekuatan beton secara signifikan (Prata Ranti; Sofyan Muhammad, 2022)

Faktor air-semen (FAS) merupakan parameter utama yang menentukan kuat tekan dan durabilitas beton. Nilai FAS yang rendah umumnya menghasilkan beton dengan porositas yang lebih kecil sehingga struktur mikro menjadi lebih padat dan kuat. Namun demikian, penurunan FAS juga dapat menurunkan tingkat *workability* beton segar sehingga berpotensi menyulitkan proses pengerjaan di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara kebutuhan kekuatan dan kemudahan pengerjaan melalui pengendalian komposisi campuran. Studi eksperimental menunjukkan bahwa variasi FAS secara signifikan memengaruhi kuat tekan beton serta kualitas struktur internalnya (Prata Ranti; Sofyan Muhammad, 2022).

Selain pengaturan FAS, penggunaan bahan tambah mineral seperti *fly ash* dan bahan tambah kimia juga berperan dalam meningkatkan kinerja beton. Bahan pozzolan bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ hasil hidrasi semen untuk membentuk C-S-H sekunder yang lebih stabil dan mampu memperbaiki kepadatan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mikrostruktur beton. Integrasi bahan tambah kimia dalam perencanaan campuran beton dapat meningkatkan kelecakan tanpa harus menaikkan kadar air secara signifikan. Perencanaan komposisi campuran yang memanfaatkan kombinasi bahan tambah terbukti efektif dalam meningkatkan kuat tekan serta efisiensi penggunaan semen (Rahman, 2022).

Menurut SNI 7656:2012 berdasarkan berat jenis nya beton dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu beton ringan, beton normal, dan beton berat.

1. Beton ringan merupakan beton dengan berat isi kurang dari 1900 kg/m^3 , biasanya digunakan untuk elemen non-struktural atau insulasi termal karena memiliki porositas tinggi dan bobot yang rendah.
2. Beton normal adalah jenis beton yang paling umum digunakan dalam konstruksi bangunan gedung, dengan berat isi antara 2200 hingga 2500 kg/m^3 . Beton ini memiliki keseimbangan antara kekuatan dan kemudahan pengerjaan.
3. Beton berat adalah beton dengan berat isi lebih dari 2500 kg/m^3 dan umumnya digunakan pada struktur yang memerlukan perlindungan terhadap radiasi atau beban berat tertentu.

2.2 Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi merupakan beton yang dirancang untuk mencapai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan beton normal melalui pengendalian komposisi campuran dan penurunan faktor air-semen (FAS). Nilai FAS yang rendah bertujuan untuk mengurangi porositas kapiler sehingga struktur mikro beton menjadi lebih padat dan homogen. Kepadatan mikrostruktur tersebut berkontribusi langsung terhadap peningkatan kuat tekan dan ketahanan terhadap penetrasi zat agresif. Namun demikian, penurunan FAS secara signifikan dapat menyebabkan campuran beton menjadi lebih kaku dan sulit dikerjakan. Penelitian menunjukkan bahwa variasi FAS berpengaruh nyata terhadap peningkatan mutu beton tingkat tinggi, terutama dalam pencapaian kuat tekan maksimum (Prata Ranti; Sofyan Muhammad, 2022).

Dalam praktik perancangan beton mutu tinggi, penggunaan bahan tambah kimia seperti *superplasticizer* menjadi komponen yang sangat penting.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Superplasticizer bekerja dengan menyebarkan dan memisahkan partikel-partikel semen di dalam campuran sehingga mengurangi penggumpalan antar partikel. Proses tersebut membuat campuran menjadi lebih homogen dan lebih mudah dikerjakan tanpa harus menambah kadar air. Dengan mekanisme ini, nilai FAS dapat dipertahankan tetap rendah namun beton tetap memiliki tingkat *workability* yang memadai untuk proses pengecoran dan pemadatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *superplasticizer* secara optimal mampu meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan dibandingkan campuran tanpa bahan tambah kimia (Slat et al., 2021).

Selain peningkatan kuat tekan, beton mutu tinggi juga menuntut konsistensi mutu serta stabilitas kinerja dalam jangka panjang. Perencanaan campuran harus mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan, kelecakan, dan efisiensi penggunaan material agar beton tetap aplikatif di lapangan. Kombinasi pengendalian FAS dengan penggunaan bahan tambah kimia terbukti mampu menghasilkan beton dengan struktur internal yang lebih stabil serta risiko segregasi yang lebih rendah. Strategi optimasi komposisi campuran melalui pemanfaatan bahan tambah menjadi pendekatan yang efektif dalam meningkatkan performa beton secara menyeluruh (Rahman, 2022). Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa beton mutu tinggi memerlukan pengendalian FAS rendah yang dikombinasikan dengan *admixture* dalam penelitian ini *superplasticizer* untuk mencapai keseimbangan antara kuat tekan yang tinggi dan tingkat kelecakan yang memadai.

2.3 Beton Ramah Lingkungan

Beton ramah lingkungan merupakan konsep pengembangan material beton yang bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan tanpa menurunkan kinerja strukturalnya. Salah satu sumber utama emisi karbon dalam industri konstruksi berasal dari produksi semen, khususnya pada tahap pembakaran klinker yang membutuhkan temperatur tinggi dan menghasilkan emisi CO₂ dari proses kalsinasi batu kapur. Proporsi klinker dalam semen, yang dikenal sebagai *clinker factor*, menjadi indikator penting dalam menentukan besarnya jejak karbon suatu produk semen. Semakin tinggi *clinker factor*, semakin besar energi dan emisi karbon yang dihasilkan dalam proses produksinya. Studi mengenai

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

proses produksi klinker menunjukkan bahwa tahap pembakaran dan pembentukan senyawa utama semen merupakan kontributor terbesar terhadap emisi karbon industri semen (Ranastra, 2020)

Sebagai upaya untuk mengatasi dampak lingkungan tersebut, salah satu strategi yang dikembangkan dalam teknologi beton adalah penurunan *clinker factor* melalui substitusi parsial semen menggunakan material pozzolanik, seperti *fly ash*. *Fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang memiliki kandungan silika dan alumina reaktif yang mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen. Reaksi pozzolanik ini menghasilkan pembentukan gel C-S-H sekunder yang berkontribusi terhadap peningkatan kepadatan mikrostruktur beton. Dengan berkurangnya proporsi semen dalam campuran, kebutuhan klinker secara tidak langsung turut menurun sehingga emisi karbon yang terkait dengan produksi semen dapat ditekan. Penelitian mengenai pemanfaatan *fly ash* menunjukkan bahwa penggunaan material ini dalam kadar tertentu tetap mampu mempertahankan, bahkan meningkatkan, kuat tekan beton dibandingkan beton konvensional (Ayuddin, 2025)

Selain menurunkan emisi karbon, pemanfaatan *fly ash* dalam pembuatan beton juga berkontribusi terhadap peningkatan durabilitas dan efisiensi material. Struktur mikro yang lebih padat akibat reaksi pozzolanik mampu mengurangi porositas serta meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi zat agresif. Pendekatan ini sejalan dengan konsep beton mutu tinggi yang menekankan pada pengendalian faktor air-semen serta optimasi komposisi campuran untuk memperoleh kinerja mekanis yang optimal. Dengan demikian, integrasi substitusi *fly ash* dalam beton tidak hanya berperan sebagai strategi keberlanjutan, tetapi juga sebagai pendekatan teknis dalam peningkatan performa beton. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, beton ramah lingkungan dapat dicapai melalui pengurangan kandungan klinker tanpa mengorbankan mutu dan kekuatan struktural beton.

2.4 Bahan Penyusun Beton

Beton merupakan material komposit yang tersusun dari beberapa komponen utama yang saling berinteraksi secara fisik dan kimia untuk

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menghasilkan sifat mekanis yang diinginkan. Secara umum, bahan penyusun beton terdiri atas semen sebagai bahan pengikat, agregat sebagai pengisi utama, air sebagai pemicu reaksi hidrasi, serta bahan tambahan (*admixture*) yang digunakan untuk memodifikasi sifat beton sesuai kebutuhan teknis. Dalam penelitian ini, bahan tambahan yang digunakan adalah *superplasticizer*, yaitu bahan tambah kimia yang berfungsi meningkatkan kelecakan beton tanpa menambah kadar air sehingga nilai faktor air-semen (FAS) tetap rendah. Penggunaan *superplasticizer* menjadi penting pada beton mutu tinggi karena memungkinkan tercapainya kuat tekan tinggi dengan tetap menjaga kemudahan pengerjaan di lapangan. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan *superplasticizer* secara tepat dapat meningkatkan performa mekanis beton serta efisiensi campuran (Slat et al., 2021)

2.4.1

Semen Hidraulis



Gambar 2. 1 Semen Hidraulis

Semen hidraulis merupakan bahan pengikat utama dalam beton yang memiliki kemampuan mengeras melalui reaksi kimia dengan air, baik dalam kondisi terbuka maupun terendam air. Sifat hidraulis ini berasal dari senyawa utama hasil pembakaran klinker, seperti trikalsium silikat (C_3S) dan dikalsium silikat (C_2S), yang bereaksi dengan air membentuk *calcium silicate hydrate* (C-S-H) sebagai fase utama pembentuk kekuatan beton.

Proses hidrasi tersebut menentukan perkembangan kuat tekan serta struktur mikro beton pada umur awal dan lanjut. Selain berperan dalam pembentukan kekuatan, komposisi kimia semen juga memengaruhi panas hidrasi dan waktu ikat campuran beton. Kajian mengenai komposisi kimia klinker menunjukkan bahwa kandungan senyawa silikat berkontribusi signifikan terhadap beton yang dihasilkan (Setiati & Cahyadi, 2017)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penelitian ini menggunakan *Hydraulic Cement* sebagai bahan pengikat utama, bukan Semen Portland Komposit atau *Portland Composite Cement* (PCC) yang lebih umum digunakan pada konstruksi umum di Indonesia. Pemilihan ini didasarkan pada beberapa pertimbangan ilmiah. *Hydraulic Cement* memiliki kandungan klinker dan proporsi C_3S yang relatif lebih terkontrol serta kehalusan (*fineness*) yang dirancang untuk mendukung perkembangan kuat tekan awal yang cepat dan stabil, sebagaimana disyaratkan dalam SNI 8912:2020.

Karakteristik ini penting bagi penelitian beton mutu tinggi karena target kuat tekan sebesar 55 MPa menuntut pembentukan C-S-H dalam jumlah besar pada FAS yang rendah. Sebaliknya, PCC mengandung bahan tambah mineral bawaan pabrik dalam proporsi yang tidak selalu diketahui secara pasti, sehingga dapat menimbulkan variabel tidak terkendali ketika dikombinasikan dengan substitusi *fly ash* tambahan dalam penelitian ini. Penggunaan *Hydraulic Cement* memungkinkan proporsi substitusi *fly ash* sebesar 5%, 10%, dan 15% dikendalikan secara lebih presisi karena komposisi awal semen sudah diketahui dan relatif seragam, sehingga pengaruh murni *fly ash* terhadap kuat tekan dapat dianalisis tanpa bias dari bahan tambah mineral yang sudah tercampur sebelumnya di dalam semen.

Bahan penyusun pada semen hidraulis dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 2. 1 Bahan Penyusun Semen Hidraulis

Hydraulic Cement Product Quality				
	Item	Unit	Spesification	ITP Quality Range
			SNI 8912:2020	
No.	PHYSICAL PROPERTIES			
1.	Air Content of Mortar (Kandungan Udara Mortar)	%	Maks. 12	7,0 – 10,0
2.	Fineness, Specific Surface (Kehalusan, Luas Permukaan Spesifik)	m²/kg	-	420 – 460

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hydraulic Cement Product Quality				
No.	Item	Unit	Spesification	ITP Quality Range
			SNI 8912:2020	
PHYSICAL PROPERTIES				
3.	Autoclave Expansion (Pengembangan Autoklaf)	%	≤ 0,80	0,05 – 0,40
4.	Compressive Strength (Kuat Tekan)			
	Umur 1 Hari	Mpa	≥ 9	10 – 15
	Umur 3 Hari		≥ 20	21 – 28
	Umur 7 Hari			31 – 36
	Umur 28 Hari			40 – 45
5.	Waktu Ikut Awal (Initial Setting Time)	menit	≥ 45	120 – 140
6.	Waktu Ikut Akhir (Final Setting Time)	menit	≤ 420	210 – 250
7.	Mortar Expansion (Pengembangan Mortar)	%	≤ 0,020	0,005 – 0,020

Sumber: <https://api.sementigaroda.com/storage/product/1695102390hidraulic-cement.pdf>

2.4.2

Air



Gambar 2. 2 Air

Air dalam campuran beton berfungsi sebagai media terjadinya reaksi hidrasi antara semen dan air yang menghasilkan produk pengikat utama berupa *calcium silicate hydrate* (C-S-H), yang berperan dalam pembentukan kuat tekan beton. Selain memicu reaksi kimia, air juga menentukan tingkat kelecakan (*workability*) beton melalui pengaruhnya terhadap faktor air-semen (FAS), di mana peningkatan kadar air dapat meningkatkan kemudahan pengerjaan namun berpotensi menurunkan kuat tekan akibat meningkatnya porositas setelah

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pengerasan. Oleh karena itu, pengendalian jumlah air menjadi aspek penting dalam perencanaan campuran beton, khususnya pada beton mutu tinggi yang menuntut FAS rendah. Secara teknis, air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi persyaratan kualitas, antara lain tidak mengandung zat organik berlebihan, minyak, garam, atau klorida yang dapat mengganggu proses hidrasi maupun menyebabkan korosi pada tulangan. Pada umumnya, air yang layak digunakan adalah air yang memenuhi standar kualitas air bersih atau setara dengan air minum, serta telah melalui pengujian apabila berasal dari sumber alami seperti sungai atau sumur (Setiati & Cahyadi, 2017)

2.4.3 Agregat

Agregat merupakan material granular yang menempati proporsi terbesar dalam campuran beton, yaitu sekitar 60–75% dari total volume, sehingga karakteristiknya sangat menentukan kinerja beton yang dihasilkan. Agregat dibedakan menjadi agregat halus dan agregat kasar berdasarkan ukuran butirannya, dan keduanya harus memenuhi persyaratan tertentu terkait gradasi, kebersihan, kekuatan, serta kadar lumpur agar tidak mengganggu proses ikatan dengan pasta semen.

Gradasi agregat yang baik akan menghasilkan susunan butiran yang lebih padat sehingga mengurangi rongga dalam campuran dan menekan kebutuhan pasta semen, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi campuran beton. Selain itu, sifat fisik agregat seperti berat jenis, daya serap air, dan tekstur permukaan juga berpengaruh terhadap nilai faktor air-semen (FAS) serta kuat tekan beton yang dihasilkan.

2.4.3.1 Agregat Halus



Gambar 2. 3 Agregat Halus yang digunakan dalam pengujian

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir hasil olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Sesuai dengan (SNI 2493-2011), agregat halus didefinisikan sebagai butiran batuan yang susunan butirannya lolos saringan No. 4 (4,75 mm).

(SNI 1970-2016) memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari British Standard di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam empat zone (daerah) seperti dalam tabel.

Tabel 2. 2Batas Gradasi Agregat Halus (*British Standard*)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Agregat			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah 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	80-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: (SNI-03-2834, 2000)

Keterangan:

Daerah gradasi I = pasir kasar

Daerah gradasi II = pasir agak kasar

Daerah gradasi III = pasir halus Daerah

gradasi IV = pasir agak halus

2.4.3.2 Agregat Kasar



Gambar 2. 4 Agregat Kasar yang digunakan dalam pengujian

Agregat kasar dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, atau beton semen hidraulis yang dipecah. Sesuai dengan (SNI 2493-2011), agregat kasar didefinisikan sebagai butiran batuan yang susunan butirannya tertahan saringan No. 4 (4,75 mm). Agregat dalam campuran beton memiliki sifat-sifat yang sangat berpengaruh terhadap mutu campuran beton.

Menurut *British Standard* (B.S), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik masuk dalam batas yang tercantum dalam tabel berikut.

Tabel 2. 3Syarat Agregat Kasar Menurut (*British Standard*)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Lolos		
	37,5-4,75 mm	19,0-4,75 mm	12,5-4,75 mm
50	100	-	-
37,5	95-100	-	-
25,0	-	100	-
19,0	35-70	90-100	100
12,5	-	-	90-100
9,5	10-30	20-55	40-70
4,75	0-5	0-10	0-15
2,36	-	0-5	0-5
Pan			

Sumber: (SNI-03-2834, 2000)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.4.4 Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixture*) merupakan material yang ditambahkan ke dalam campuran beton selain semen, agregat, dan air dengan tujuan memodifikasi sifat beton segar maupun beton keras sesuai kebutuhan teknis. Secara umum, bahan tambah dibedakan menjadi bahan tambah mineral seperti *fly ash* dan bahan tambah kimia seperti *superplasticizer*, yang masing-masing memiliki fungsi berbeda dalam meningkatkan kinerja beton. Bahan tambah mineral umumnya berperan dalam memperbaiki struktur mikro melalui reaksi pozzolanik serta mendukung pengurangan penggunaan semen, sedangkan bahan tambah kimia digunakan untuk mengatur kelecakan, waktu ikat, maupun peningkatan kuat tekan tanpa mengubah komposisi air secara signifikan. Penggunaan bahan tambah menjadi sangat penting pada beton mutu tinggi karena memungkinkan tercapainya keseimbangan antara kuat tekan tinggi dan tingkat *workability* yang memadai. Penelitian mengenai karakteristik beton dengan berbagai modifikasi campuran menunjukkan bahwa pemanfaatan bahan tambah secara tepat dapat meningkatkan performa mekanis dan efisiensi material beton

2.4.4.1 Fly Ash



Gambar 2. 5 *Fly ash*

(Sumber: <https://solusikonstruksi.com/mengenal-dan-memahami-fly-ash/>)

Fly ash merupakan material sisa pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap yang memiliki sifat pozzolanik, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Kandungan silika dan alumina dalam *fly ash* mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

yang dihasilkan dari proses hidrasi semen, kemudian membentuk senyawa pengikat tambahan berupa *calcium silicate hydrate* (C-S-H), pembentukan C-S-H tambahan ini membantu memperbaiki struktur ikatan beton sehingga menjadi lebih padat dan lebih kuat untuk jangka waktu yang lama.

Selain berperan melalui reaksi pozzolanik, partikel *fly ash* yang berukuran halus juga memberikan kontribusi mekanis yang dikenal sebagai *filler effect*, yaitu kemampuan partikel halus untuk mengisi rongga-rongga kosong di antara butiran semen dan agregat sehingga kepadatan pasta semen meningkat meskipun reaksi kimianya belum sepenuhnya berlangsung.

Kombinasi antara reaksi pozzolanik dan *filler effect* tersebut turut memperbaiki kualitas *interfacial transition zone* (ITZ), yaitu zona transisi yang terbentuk pada bidang kontak antara pasta semen dan permukaan agregat. ITZ pada umumnya memiliki porositas yang lebih tinggi dan ikatan yang lebih lemah dibandingkan bagian pasta semen lainnya, sehingga sering menjadi titik awal keretakan pada beton. Pengisian rongga oleh partikel *fly ash* serta pembentukan C-S-H sekunder di sekitar permukaan agregat mampu memperhalus dan memadatkan ITZ, sehingga transfer beban antara pasta semen dan agregat menjadi lebih efisien dan kuat tekan beton dapat meningkat.

Selain meningkatkan kualitas teknis beton, pemanfaatan *fly ash* juga memberikan manfaat dari sisi lingkungan karena dapat mengurangi jumlah semen yang digunakan dalam campuran. Semakin sedikit semen yang digunakan, semakin rendah pula kebutuhan klinker dalam produksi semen, sehingga mengurangi potensi emisi karbon.

Pemilihan variasi substitusi *fly ash* sebesar 5%, 10%, dan 15% pada penelitian ini didasarkan pada tren hasil penelitian terdahulu mengenai beton mutu tinggi. (Patria & Haikal, 2022) menggunakan variasi 0%, 10%, 15%, dan 20% pada beton dengan mutu rencana 55 MPa dan menemukan bahwa kuat tekan optimum tercapai pada kadar sekitar 30%, sedangkan (Mohamad et al., 2020) melaporkan bahwa substitusi 25% masih memberikan kuat tekan yang baik, tetapi peningkatan hingga 40% justru menurunkan kuat tekan akibat berkurangnya kandungan semen aktif yang tersedia untuk reaksi hidrasi awal.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rentang 5–15% dipilih dalam penelitian ini sebagai kadar substitusi rendah hingga sedang yang secara konsisten dilaporkan mampu mempertahankan, bahkan meningkatkan, kuat tekan pada umur 28 hari tanpa menimbulkan penurunan kekuatan awal yang signifikan sebagaimana terjadi pada kadar substitusi tinggi. Variasi bertingkat 5%, 10%, dan 15% ini juga dimaksudkan untuk mengamati kecenderungan (*trend*) peningkatan kuat tekan secara bertahap sehingga proporsi optimum dalam rentang substitusi rendah dapat diidentifikasi secara lebih presisi.

2.4.4.2 Superplasticizer



Gambar 2. 6 Superplasticizer

Sumber: PT.DEVCHEM

Superplasticizer merupakan bahan tambah kimia yang digunakan dalam campuran beton untuk meningkatkan kelecakan (*workability*) tanpa menambah kadar air, sehingga memungkinkan penggunaan faktor air-semen (FAS) yang lebih rendah. Secara mekanisme, *superplasticizer* bekerja dengan menyebarkan partikel-partikel semen di dalam campuran sehingga mengurangi penggumpalan dan membuat pasta semen lebih homogen (Slat et al., 2021).

Penggunaan *superplasticizer* menjadi sangat penting pada beton mutu tinggi karena FAS rendah umumnya menyebabkan campuran menjadi lebih kaku dan sulit dikerjakan tanpa bantuan bahan tambah kimia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *superplasticizer* dalam dosis yang tepat dapat meningkatkan kuat tekan beton sekaligus menjaga stabilitas campuran pada kondisi FAS rendah

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Superplasticizer yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT. DEVCHEM dengan tipe Devcon 1170. Devcon 1170 merupakan *superplasticizer* berbahan dasar polycarboxylate ether yang dirancang untuk meningkatkan *workability* beton serta mendukung pencapaian kuat tekan yang lebih baik pada beton mutu tinggi. Dalam penelitian ini, Devcon 1170 dipilih karena mampu mempertahankan *workability* pada campuran beton dengan faktor air-semen rendah sehingga sesuai untuk aplikasi beton mutu tinggi.

Dosis 0,8% yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan rentang dosis pemakaian yang dianjurkan oleh produsen, yaitu 0,2–1,0% dari berat semen untuk beton plastis, serta mengacu pada temuan (Andriansyah & Walujodjati, 2023) dan (Wilson et al., 2022) yang menunjukkan bahwa peningkatan kuat tekan dan kuat tarik belah dapat dicapai secara optimal pada dosis menengah dalam rentang tersebut, sementara dosis yang berlebihan berpotensi menimbulkan *bleeding* dan segregasi yang justru menurunkan kekuatan beton. Dosis 0,8% dipilih sebagai titik tengah–atas rentang anjuran agar penurunan FAS akibat substitusi *fly ash* dapat dikompensasi secara memadai tanpa melampaui ambang dosis yang berisiko menimbulkan segregasi campuran.

Tabel 2. 4 Spesifikasi *Superplasticizer*

No.	Karakteristik	Nilai
1	Bentuk Fisik	Cair
2	Warna	Kecokelatan
3	Massa Jenis	$1,04 \pm 0,01$ kg/L pada suhu 20°C
4	Kemasan	Drum 200 L; Tangki 1000 L
5	Masa Simpan	12 bulan dalam kemasan asli yang belum dibuka
6	Dosis Pemakaian	0,2–1,0% (beton plastis); 1,0–2,0% (beton mengalir) dari berat bahan semen
7	Petunjuk Penggunaan	Mengikuti praktik pengecoran yang baik, melakukan uji coba laboratorium sebelum pengecoran, serta melakukan <i>curing</i> beton sesegera mungkin

Sumber: PT. Devian Chemical Construction

2.5 Pengujian Sifat Fisis Beton

Pengujian sifat fisis dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton dalam kondisi segar sebelum memasuki tahap pengerasan. Parameter fisik

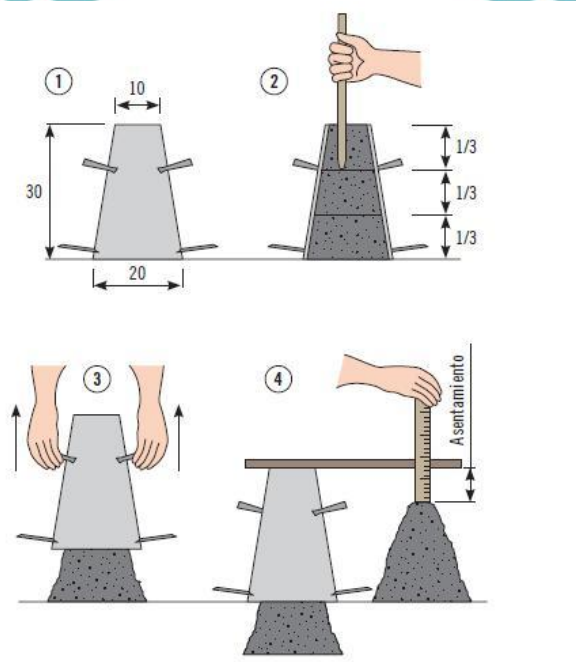
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

seperti slump, berat isi memberikan gambaran mengenai kemudahan pengerjaan, kestabilan campuran, serta respons awal beton terhadap reaksi hidrasi semen (SNI 1972:2008). Pada beton mutu tinggi dengan faktor air-semen (FAS) rendah, pengujian ini menjadi penting karena perubahan kecil pada komposisi air, *fly ash*, maupun *superplasticizer* dapat memengaruhi konsistensi campuran secara signifikan.

2.5.1

Uji Slump



Gambar 2. 7 Pengujian Slump Menurut (SNI 1972:2008)

Sumber: <https://lauwtjunnji.weebly.com/>

Uji slump merupakan pengujian untuk mengukur tingkat *workability* atau kemudahan pengerjaan beton segar menggunakan metode kerucut Abrams (SNI 1972:2008). Nilai slump menunjukkan kemampuan beton untuk mengalir dan dipadatkan tanpa mengalami segregasi. Pada beton mutu tinggi yang menggunakan FAS rendah, nilai slump cenderung lebih kecil sehingga diperlukan penambahan *superplasticizer* untuk mempertahankan kelecakan tanpa menambah air.

2.5.2

Berat Isi Beton Segar

Pengujian berat isi beton segar bertujuan untuk mengetahui massa beton per satuan volume dalam kondisi plastis. Menurut SNI 1973:2008, berat isi

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dihitung dari selisih berat wadah berisi beton dan berat wadah kosong, kemudian dibagi dengan volume wadah ukur.

Prosedur dilakukan dengan mengisi beton ke dalam wadah silinder sebanyak tiga lapis yang sama volumenya, setiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan menggunakan batang penusuk, kemudian sisi wadah dipukul dengan palu karet untuk mengurangi udara terperangkap. Setelah permukaan diratakan, wadah ditimbang untuk memperoleh berat total beton dan wadah. Berat isi beton dihitung dengan rumus:

$$D = \frac{Mc - Mm}{Vm}$$

dengan:

- D = berat isi beton (kg/m³)
Mc = berat wadah berisi beton (kg)
Mm = berat wadah kosong (kg)
Vm = volume wadah ukur (m³)

berat isi beton segar bertujuan untuk mengetahui massa beton per satuan volume dan mengevaluasi keseragaman campuran (SNI 1973:2008). Berat isi yang stabil menunjukkan bahwa campuran memiliki distribusi agregat dan pasta semen yang merata serta tidak mengalami segregasi. Pada beton dengan substitusi fly ash, berat isi dapat sedikit berubah karena berat jenis fly ash lebih rendah dibanding semen. Namun perubahan tersebut harus tetap dalam batas yang dapat diterima agar tidak memengaruhi kepadatan beton setelah mengeras. Oleh karena itu, pengujian berat isi menjadi indikator awal kualitas pencampuran sebelum dilakukan pengujian lanjutan.

2.6 Pengujian Sifat Mekanis Beton

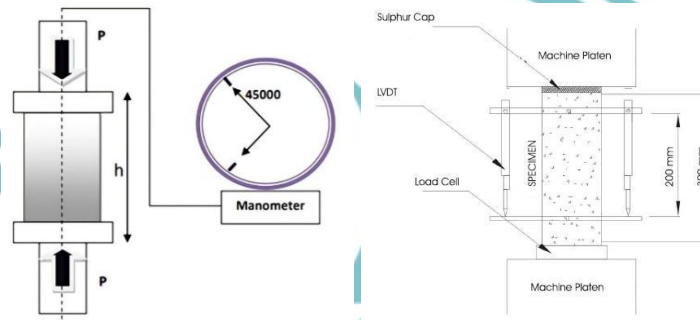
Pengujian sifat mekanis beton dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban setelah mengalami proses pengerasan. Sifat mekanis ini menunjukkan seberapa kuat dan tahan beton ketika menerima tekanan, tarikan, maupun lenturan. Pada penelitian beton mutu tinggi, pengujian

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mekanis menjadi bagian utama karena berkaitan langsung dengan tujuan peningkatan kuat tekan dan kinerja struktural. Hasil pengujian ini juga digunakan untuk membandingkan pengaruh variasi fly ash dan *superplasticizer* terhadap performa beton. Oleh karena itu, pengujian sifat mekanis dilakukan setelah beton mencapai umur tertentu sesuai rencana pengujian.

2.6.1 Kuat Tekan Beton



Gambar 2. 8 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM)

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban tekan hingga mengalami keruntuhan. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap pada benda uji berbentuk silinder atau kubus sampai beton mengalami retak dan hancur. Nilai kuat tekan diperoleh dari perbandingan antara beban maksimum yang diterima benda uji dengan luas penampangnya. Pengujian ini mengacu pada SNI 1974:2011 tentang *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*.

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Sebelum pengujian, benda uji direndam (*curing*) hingga mencapai umur pengujian yaitu 7 hari dan 28 hari. Selanjutnya benda uji dikeluarkan dari bak perawatan dan dibersihkan dari air yang menempel pada permukaannya.

Pengujian dilakukan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). Benda uji ditempatkan tepat pada pusat bidang tekan mesin, kemudian diberikan beban secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan. Beban maksimum yang tercatat digunakan untuk menghitung kuat tekan beton.

Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$f'_c =$$

$$\frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

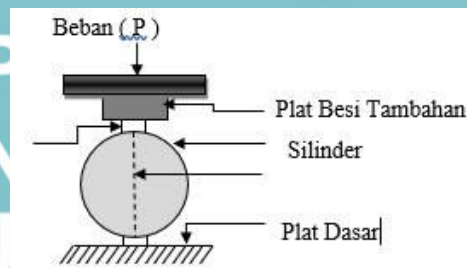
f'_c = Kuat Tekan Beton (Mpa)

P = Beban Tekan Maksimum (N/mm)

A = Luas Penampang Silinder (mm)

2.6.2 Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik belah beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji berbentuk silinder, yang diperoleh melalui pembebanan pada posisi mendatar, sejajar dengan permukaan meja mesin uji tekan (SNI 2491, 2014). Berikut adalah gambar dari benda uji beton silinder dengan pengujian Tarik belah dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Nilai kuat tarik belah dapat dihitung dengan rumus:

$$f_t =$$

$$\frac{2.P}{\pi.Ls.D} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

f_t = Kuat tarik belah beton (MPa)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

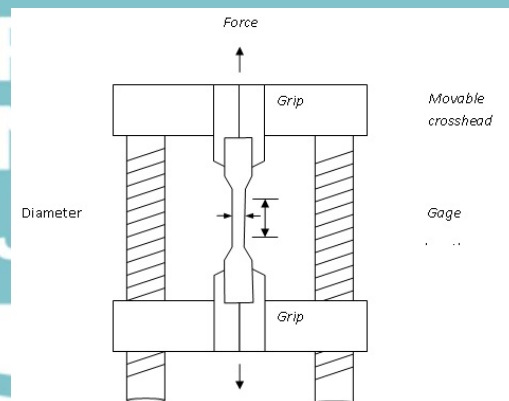
P = Beban maksimum yang diberikan (N)

L_s = Tinggi silinder (mm)

D = Diameter silinder (mm)

2.6.3 Kuat Tarik Lentur Beton

Kuat lentur beton adalah perilaku balok beton yang diletakkan pada dua perletakkan untuk menahan gaya yang arahnya tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya hingga patah (SNI 4431, 2011). Nilai kuat lentur menggambarkan ketahanan beton terhadap kombinasi gaya tekan dan tarik akibat pembebanan lentur. Pada struktur seperti balok dan pelat, sifat ini sangat penting karena bagian bawah elemen akan mengalami tarik saat menerima beban. Berikut adalah gambar dari pengujian Tarik lentur dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton

Nilai kuat lentur beton dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma_t = \frac{P \times L}{b \times h^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Keterangan:

σ_t = Kuat Tarik Lentur Beton (Mpa)

P = Beban Maksimum yang terbaca (N)

L = Jarak antara 2 (dua) garis perletakan (mm)

2.7 State Of The Art

Kajian *state of the art* berikut menyajikan hasil sintesis terhadap delapan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik substitusi *fly ash* dan penggunaan bahan tambah kimia pada beton mutu tinggi. Sintesis ini bertujuan untuk memetakan persamaan, perbedaan, kelebihan, serta keterbatasan setiap penelitian sebagai dasar dalam merumuskan kesenjangan penelitian (*research gap*).

Tabel 2. 5 *State of The Art*

Penulis	Judul Penelitian	Variabel	Hasil	Kesenjangan Penelitian (Research Gap)
Cham pi Andit a Bagas Treggono	Analisis Pengaruh Kuat Tekan dan Porositas Beton dengan Penggunaan High Volume Fly Ash dan Penambahan Admixture (Hyperplasti cizer) pada Self Compacting Concrete / Rekayasa Teknik Sipil, 2025	X: Persentase substitusi fly ash dan dosis hyperplasti cizer; Y: Kuat tekan beton dan porositas	Penggunaan high volume fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen memberikan hasil optimum pada variasi fly ash 50% dengan penambahan hyperplasti cizer 0,35%, menghasilkan kuat	Berfokus pada kadar fly ash sangat tinggi (50%) untuk <i>Self Compacting Concrete</i> dengan kuat tekan rendah (± 19 MPa); belum mengkaji kadar substitusi rendah–sedang (5–15%) pada sistem beton mutu tinggi non-SCC dengan target

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penulis	Judul Penelitian	Variabel	Hasil	Kesenjangan Penelitian (Research Gap)
			tekan beton sebesar 19,46 MPa dan nilai porositas 0,19%. Peningkatan kadar fly ash yang terlalu tinggi cenderung menurunkan kuat tekan beton SCC.	kuat tekan 55 MPa.
Patria & Haikal	Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi, 2022	X: Variasi fly ash (0–40%); Y: Kuat tekan beton	Variasi substitusi fly ash memberikan pengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton mutu tinggi. Nilai kuat tekan optimum tercapai pada kadar fly ash sekitar 30% dengan kuat tekan mencapai 63,32 MPa pada umur pengujian 28 hari.	Menggunakan semen Portland konvensional tanpa kombinasi superplastisizer dosis tinggi; belum mengkaji interaksi fly ash dengan Hydraulic Cement maupun variasi dosis superplastisizer secara spesifik pada rentang substitusi rendah.
Wilson et al.	Pengaruh Substitusi Slag Nikel dan Fly Ash	X: Slag nikel dan fly ash; Y:	Kombinasi slag nikel dan fly ash dalam	Mengombinasikan fly ash dengan slag nikel untuk

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penulis	Judul Penelitian	Variabel	Hasil	Kesenjangan Penelitian (Research Gap)
	terhadap Kuat Tekan Beton sebagai Pemecah Gelombang, 2022	Kuat tekan beton	campuran beton meningkatkan performa mekanis serta memperbaiki struktur mikro beton melalui pembentukan produk hidrasi tambahan dari reaksi pozzolanik .	aplikasi struktur pemecah gelombang, bukan beton mutu tinggi struktural; tidak mengkaji efek tunggal fly ash-superplastizer maupun target kuat tekan 55 MPa.
Gyanti et al.	Alternatif Perencanaan Komposisi Campuran Beton dengan Gabungan Bahan Tambah Kimia, 2023	X: Bahan tambah kimia (admixture) ; Y: Workability dan kuat tekan beton	Penambahan bahan tambah kimia meningkatkan workability beton tanpa meningkatkan kadar air secara signifikan, sehingga campuran tetap mudah dikerjakan meskipun menggunakan nilai faktor air-semen yang rendah.	Berfokus pada kombinasi beberapa bahan tambah kimia tanpa substitusi semen menggunakan material pozzolan; tidak mengevaluasi pengaruh gabungan fly ash dan superplastizer terhadap kuat tekan pada beton mutu tinggi.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penulis	Judul Penelitian	Variabel	Hasil	Kesenjangan Penelitian (Research Gap)
Mohamad et al.	Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi 45 MPa dengan Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen, 2020	X: Variasi fly ash (25–40%); Y: Kuat tekan beton	Substitusi fly ash sebesar 25% menghasilkan kuat tekan beton sebesar 53,31 MPa, sedangkan peningkatan hingga 40% menyebabkan penurunan kuat tekan menjadi sekitar 41,08 MPa.	Rentang substitusi yang dikaji tergolong tinggi (25–40%) dengan target mutu 45 MPa; belum mengkaji rentang substitusi rendah (5–15%) pada target mutu yang lebih tinggi (55 MPa) yang menuntut FAS lebih rendah.
Fakoyede et al.	Comparison of Mix Design Methods (ACI dan DOE) pada Beton Mutu Tinggi, 2024	X: Metode perancangan campuran beton; Y: Kuat tekan beton	Metode perancangan campuran beton berdasarkan standar ACI menghasilkan proporsi campuran yang efektif untuk beton mutu tinggi dengan perkembangan kuat tekan yang stabil dibandingkan metode perancangan lainnya.	Berfokus pada perbandingan metode perancangan campuran (ACI vs DOE), bukan pada pengaruh substitusi fly ash dan superplastisizer; mendukung pemilihan metode ACI 211.4R pada penelitian ini, tetapi tidak mengkaji variabel bahan tambah.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penulis	Judul Penelitian	Variabel	Hasil	Kesenjangan Penelitian (Research Gap)
Robi Fernaldo, Lusman Sulaiman, Raditya, Galih Adyano, Taufik Haki m	Evaluasi Kekuatan Beton Mutu Tinggi dengan Menggunakan Kombinasi Fly Ash dan Silica Fume sebagai Substitusi Semen ORBITH, 2024	X: Variasi Admixture; Y: Kuat tekan beton mutu tinggi	Variasi 3 mencapai kuat tekan tertinggi 67,93 MPa atau meningkat 60% dari rancangan awal (42 MPa), diikuti oleh variasi 2 sebesar 63,03 MPa (meningkat 40,1%) dan variasi 1 sebesar 45,85 MPa (meningkat 8,6%). Hal ini menunjukkan peningkatan kadar substitusi fly ash dan silica fume dapat meningkatkan mutu beton dengan kadar maksimum yang ditetapkan oleh peraturan.	Menggabungkan fly ash dengan silica fume, bukan dengan superplastici zer sebagai bahan tambah kimia tunggal; tidak mengkaji pengaruh dosis superplastici zer secara terpisah terhadap kuat tekan pada rentang substitusi fly ash rendah.
Pito Pratama & Rita Anggraini	Pengaruh Penambahan Superplastici zer dan Fly Ash sebagai Substitusi Semen	X: Variasi Admixture; Y: Kuat tekan beton mutu tinggi	Penambahan fly ash menurunkan kuat tekan dibanding beton	Paling relevan dengan penelitian ini karena mengombinasikan fly ash

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penulis	Judul Penelitian	Variabel	Hasil	Kesenjangan Penelitian (Research Gap)
	terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi / e-Jurnal Universitas Bung Hatta, 2024		kontrol, tetapi menunjukkan tren kinerja material yang konsisten; variasi fly ash 10–15% menunjukkan efek kekuatan awal yang berdekatan .	dan superplastizer, namun belum menggunakan Hydraulic Cement, belum menguji dosis superplastizer 0,8% secara spesifik, dan belum melengkapi pengujian dengan slump flow serta kuat tarik belah dan kuat lentur secara menyeluruh.

Penelitian mengenai penggunaan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen pada beton mutu tinggi menunjukkan bahwa material ini memiliki peran signifikan dalam meningkatkan performa mekanis beton pada umur lanjut. (Patria & Haikal, 2022) meneliti variasi kadar *fly ash* sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20%, pada beton mutu rencana 55 MPa dengan penggunaan *high range water reducer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton umur 7 hari mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *fly ash*, namun pada umur 28 hari terjadi peningkatan signifikan.

Selain aspek kuat tekan, penggunaan *fly ash* juga berpengaruh terhadap karakteristik beton segar dan kepadatan mikrostruktur. Penelitian yang mengkaji variasi kadar *fly ash* pada beton menunjukkan bahwa partikel halus *fly ash* berfungsi sebagai pengisi rongga antar butiran agregat, sehingga porositas beton berkurang dan struktur internal menjadi lebih rapat (Patria & Haikal, 2022). Efek

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pengisian ini berkontribusi terhadap peningkatan kuat tekan pada umur 28 hari serta memperbaiki distribusi partikel dalam matriks beton. Namun demikian, apabila kadar *fly ash* terlalu tinggi, reaksi hidrasi awal dapat berkurang karena penurunan kandungan semen aktif.

Peran *superplasticizer* dalam beton mutu tinggi menjadi sangat penting terutama pada campuran dengan faktor air semen rendah. Penelitian (Andriansyah & Walujodjati, 2023) menunjukkan bahwa penggunaan *superplasticizer* mampu meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah melalui pengurangan kebutuhan air tanpa menurunkan *workability*. Mekanisme kerjanya adalah memisahkan partikel semen sehingga tidak terjadi penggumpalan, yang pada akhirnya menghasilkan pasta semen lebih homogen dan padat setelah pengerasan.

Pada penelitian (Wilson et al., 2022) menunjukkan bahwa dosis *superplasticizer* yang optimal sangat menentukan performa beton. Pada kadar tertentu, *superplasticizer* mampu meningkatkan kelecakan dan kuat tekan secara bersamaan, namun penggunaan berlebihan justru dapat menurunkan kekuatan akibat terjadinya *bleeding* atau segregasi. Temuan ini menegaskan bahwa optimasi dosis menjadi faktor penting dalam sistem beton mutu tinggi yang menggunakan bahan tambah kimia.

Integrasi antara *fly ash* dan *superplasticizer* dalam sistem beton mutu tinggi juga menunjukkan potensi peningkatan performa mekanis yang signifikan. Dalam penelitian beton dengan substitusi material pozzolan dan pengendalian FAS rendah (Sukarman et al., 2022), peningkatan kuat tekan terjadi akibat kombinasi kepadatan mikrostruktur dan kontrol distribusi partikel dalam campuran beton. Meskipun penelitian tersebut tidak secara spesifik memfokuskan pada beton mutu tinggi berbasis *clinker reduction*, hasilnya mengindikasikan bahwa sinergi antara bahan pozzolan dan pengendalian campuran mampu meningkatkan performa beton secara menyeluruh.

Secara keseluruhan, delapan penelitian pada Tabel 2.5 menunjukkan kesamaan pandangan bahwa substitusi *fly ash* dan penggunaan bahan tambah kimia mampu memperbaiki kepadatan mikrostruktur serta meningkatkan kuat

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

tekan beton apabila proporsinya dikendalikan secara tepat. Tren hasil penelitian memperlihatkan pola yang konsisten, yaitu kuat tekan cenderung meningkat pada kadar substitusi *fly ash* rendah hingga sedang, mencapai titik optimum tertentu, kemudian menurun apabila kadar substitusi melampaui batas optimum tersebut (Patria & Haikal, 2022; Mohamad et al., 2020). Perbedaan hasil antarpelitian, misalnya rentang kadar optimum yang bervariasi dari 25% hingga 50%, terutama disebabkan oleh perbedaan jenis semen yang digunakan, target mutu beton, jenis bahan tambah kimia pendamping, serta metode pengujian yang diterapkan pada masing-masing penelitian. Sebagian besar penelitian terdahulu juga masih membatasi kajian pada satu variabel utama, yaitu variasi kadar *fly ash* atau variasi bahan tambah kimia secara terpisah, sehingga interaksi antara kedua variabel tersebut pada rentang substitusi rendah (di bawah 20%) belum banyak dieksplorasi secara sistematis. Selain itu, sebagian besar penelitian masih menggunakan semen Portland konvensional atau Semen Portland Komposit, sedangkan penggunaan *Hydraulic Cement* sebagai bahan pengikat pada sistem substitusi *fly ash* dan *superplasticizer* dosis tinggi belum banyak dikaji. Keterbatasan tersebut menjadi dasar bagi penelitian ini untuk mengisi kesenjangan (*research gap*) berupa kajian interaksi substitusi *fly ash* bertingkat (5%, 10%, dan 15%) dengan *superplasticizer* berdosis 0,8% pada sistem beton mutu tinggi berbahan dasar *Hydraulic Cement* dengan target kuat tekan 55 MPa, disertai evaluasi menyeluruh terhadap sifat fisis dan mekanis beton yang dihasilkan.

2.8 Keterbaruan Penelitian (*Novelty*)

Keterbaruan penelitian ini terletak pada penggunaan *Hydraulic Cement* sebagai bahan pengikat utama yang dikombinasikan dengan substitusi parsial *fly ash* pada tiga tingkat kadar, yaitu 5%, 10%, dan 15%, serta penambahan *superplasticizer* sebesar 0,8% dari berat semen. Kombinasi ketiga variabel tersebut belum banyak dikaji secara bersamaan pada penelitian terdahulu sebagaimana disintesis pada Tabel 2.5, yang umumnya hanya mengkaji salah satu variabel secara terpisah, baik pengaruh kadar *fly ash* terhadap kuat tekan maupun efektivitas *superplasticizer* dalam menurunkan faktor air-semen. Penelitian ini menggabungkan ketiga variabel tersebut dalam satu rancangan campuran dengan target kuat tekan beton mutu tinggi sebesar 55 MPa, sehingga

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

interaksi di antara ketiganya dapat dianalisis secara menyeluruh terhadap kinerja beton.

Kebaruan kedua terletak pada cakupan pengujian yang dilakukan secara menyeluruh terhadap sifat fisis dan mekanis beton, meliputi pengujian *slump* dan *slump flow* untuk mengevaluasi *workability* campuran, pengujian berat isi beton untuk menilai keseragaman dan kestabilan campuran, serta pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur untuk mengevaluasi performa struktural beton yang dihasilkan. Cakupan pengujian yang lebih lengkap ini memungkinkan evaluasi hubungan antara sifat fisis beton segar dan sifat mekanis beton keras secara terintegrasi, yang pada sebagian besar penelitian terdahulu hanya dievaluasi pada aspek kuat tekan saja.

Kebaruan ketiga terletak pada fokus penelitian terhadap beton mutu tinggi dengan faktor air-semen rendah yang tetap mempertimbangkan aspek keberlanjutan. Substitusi semen menggunakan *fly ash* tidak hanya bertujuan meningkatkan kuat tekan umur lanjut, tetapi juga mengurangi penggunaan semen yang berkaitan langsung dengan penurunan *clinker factor*. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berorientasi pada performa mekanis, tetapi juga pada efisiensi material dan potensi pengurangan dampak lingkungan.

Keterbaruan lainnya adalah pada penentuan proporsi optimum kombinasi *fly ash* dan *superplasticizer* dalam sistem beton mutu tinggi ramah lingkungan. Penelitian ini berupaya menemukan komposisi campuran yang tidak hanya menghasilkan kuat tekan tinggi, tetapi juga memiliki kestabilan campuran dan efisiensi penggunaan semen. Dengan pendekatan tersebut, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi perancangan beton mutu tinggi yang lebih ekonomis, berkelanjutan, dan tetap memenuhi standar kinerja struktural.

2.9 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini disusun berdasarkan teori reaksi pozzolanik *fly ash* dan mekanisme kerja *superplasticizer* dalam sistem beton mutu tinggi dengan faktor air-semen rendah. Secara teoretis, *fly ash* bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) hasil hidrasi semen untuk membentuk

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan yang berperan meningkatkan kepadatan dan kuat tekan beton pada umur lanjut. Sementara itu, *superplasticizer* berfungsi mendispersikan partikel semen sehingga kebutuhan air dapat dikurangi tanpa menurunkan kelecakan campuran. Kombinasi kedua variabel tersebut diperkirakan mampu meningkatkan kinerja beton mutu tinggi, baik dari sisi sifat fisis maupun mekanis. Berdasarkan landasan teori tersebut, hipotesis penelitian dirumuskan sebagai berikut:

Hipotesis Nol (H_0)

Substitusi parsial semen hidraulis menggunakan *fly ash* dan penambahan *superplasticizer* tidak berpengaruh signifikan terhadap sifat fisis beton segar dan kuat tekan beton mutu tinggi.

Hipotesis Alternatif (H_a)

Substitusi parsial semen hidraulis menggunakan *fly ash* dan penambahan *superplasticizer* berpengaruh signifikan terhadap sifat fisis beton segar dan kuat tekan beton mutu tinggi.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua tempat, untuk pengadukkan dan pengujian beton segar dilakukan di PT Devian Chemical Construction yang berlokasi di Jl. Mangun Jaya No.36, Mangunjaya, Kecamatan Tambun Selatan, Kabupaten Bekasi, Provinsi Jawa Barat, Kode Pos 17510.

Untuk pengujian material dan pengujian beton keras dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta yang berlokasi di Jalan Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kelurahan Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Provinsi Jawa Barat, Kode Pos 16425. Seluruh rangkaian penelitian direncanakan berlangsung dari bulan Maret hingga Juni 2026, yang mencakup tahap persiapan, pelaksanaan pengujian, hingga analisis data.



Gambar 3. 1 Laboratorium Teknik Sipil PNJ

Sumber : [Google Maps](#)



Gambar 3. 2 PT Devian Chemical Construction

Sumber : [Google Maps](#)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.2 Alat Penelitian

Untuk menunjang penelitian ini, diperlukan beberapa peralatan dengan kondisi yang baik. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut. Berikut ini adalah peralatan yang akan digunakan dalam penelitian:

3.2.1 Alat Pengujian Material

- 1) Timbangan digital
Digunakan untuk menimbang semen PCC, fly ash, agregat, air, dan *superplasticizer* sesuai komposisi mix design dengan ketelitian tertentu.
- 2) Oven pengering
Berfungsi untuk menguji kadar air agregat agar dapat dilakukan koreksi air pada campuran beton.
- 3) Satu set saringan (*sieve analysis*) + mesin penggetar saringan Digunakan untuk mengetahui gradasi agregat halus dan kasar sesuai standar SNI.
- 4) Piknometer dan gelas ukur
Digunakan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan agregat.
- 5) Nampan, sekop, wadah uji, sendok spesi, dan troli dorong Digunakan sebagai alat bantu dalam proses pengujian material.

3.2.2 Alat Pembuatan dan Pencetakan Beton

- 1) *Concrete Mixer* (Molen)
Digunakan untuk mencampur seluruh material hingga homogen.
- 2) Ember dan wadah takar
Untuk menakar air dan bahan tambah sesuai dosis.
- 3) Cetakan silinder ($\varnothing 150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$)
Digunakan untuk benda uji kuat tekan dan tarik belah.
- 4) Cetakan balok beton ($150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$)
Digunakan untuk pengujian kuat lentur.
- 5) Batang pemadat (*tamping rod*)
Digunakan untuk memadatkan beton dalam cetakan agar tidak terdapat rongga udara berlebih.
- 6) Mistar perata dan palu karet
Digunakan untuk meratakan dan memastikan kepadatan beton dalam cetakan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.2.2 Alat Pengujian Beton Segar

- 1) Kerucut *Abrams (slump cone)*
Digunakan untuk mengukur nilai *slump* beton segar.
- 2) Pelat dasar *slump*
Sebagai alas saat pengujian *slump*.
- 3) Batang pemadat
Untuk pemadatan beton saat uji *slump*.
- 4) Penggaris/mistar ukur
Untuk mengukur tinggi penurunan *slump*.
- 5) Wadah ukur berat isi beton dan timbangan Digunakan untuk menghitung berat isi beton segar.

3.2.3 Alat Pengujian Beton Keras

- 1) *Compression Testing Machine (CTM)*
Digunakan untuk menguji kuat tekan beton hingga benda uji runtuh.
- 2) Mesin uji tarik belah
Digunakan untuk menentukan kuat tarik belah beton.
- 3) Mesin uji lentur (*flexural testing machine*)
Digunakan untuk mengukur kuat lentur beton.
- 4) Bak perendaman (*curing tank*)
Digunakan untuk merawat benda uji dalam air agar proses hidrasi berlangsung optimal.
- 5) Jangka sorong / alat ukur dimensi
Digunakan untuk mengukur diameter dan tinggi benda uji sebelum pengujian.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.3 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Semen Hidraulis
Semen jenis portland tipe I dengan merek Gresik yang digunakan dalam pembuatan beton. Semen harus disimpan dalam penyimpanan yang sesuai agar kualitasnya tidak menurun
2. Agregat Halus
Berperan sebagai pengisi rongga dan pembentuk struktur beton yang padat, harus bersih dan memenuhi standar gradasi.
3. Agregat kasar (batu pecah)
Berperan sebagai pengisi rongga dan pembentuk struktur beton yang padat, harus bersih dan memenuhi standar gradasi
4. *Flyash*
Material pozzolan berbentuk serbuk halus yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen. Berfungsi memperbaiki struktur beton dan mengurangi penggunaan semen.
5. *Superplasticizer*
Bahan tambah kimia untuk meningkatkan *workability* tanpa menambah air, sehingga beton tetap mudah dikerjakan dengan rasio air-semen rendah.
6. Air
Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta dan PT Devian Chemical Construction.

3.4 Rancangan Penelitian

Pada penelitian yang saya lakukan terdapat dua variabel, yaitu variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y).

Variabel Bebas (X):
Presentase Substitusi
Semen

Variasi Presentase *Fly*
Ash (10%, 15%, dan
20%)

Variabel Terikat (Y)

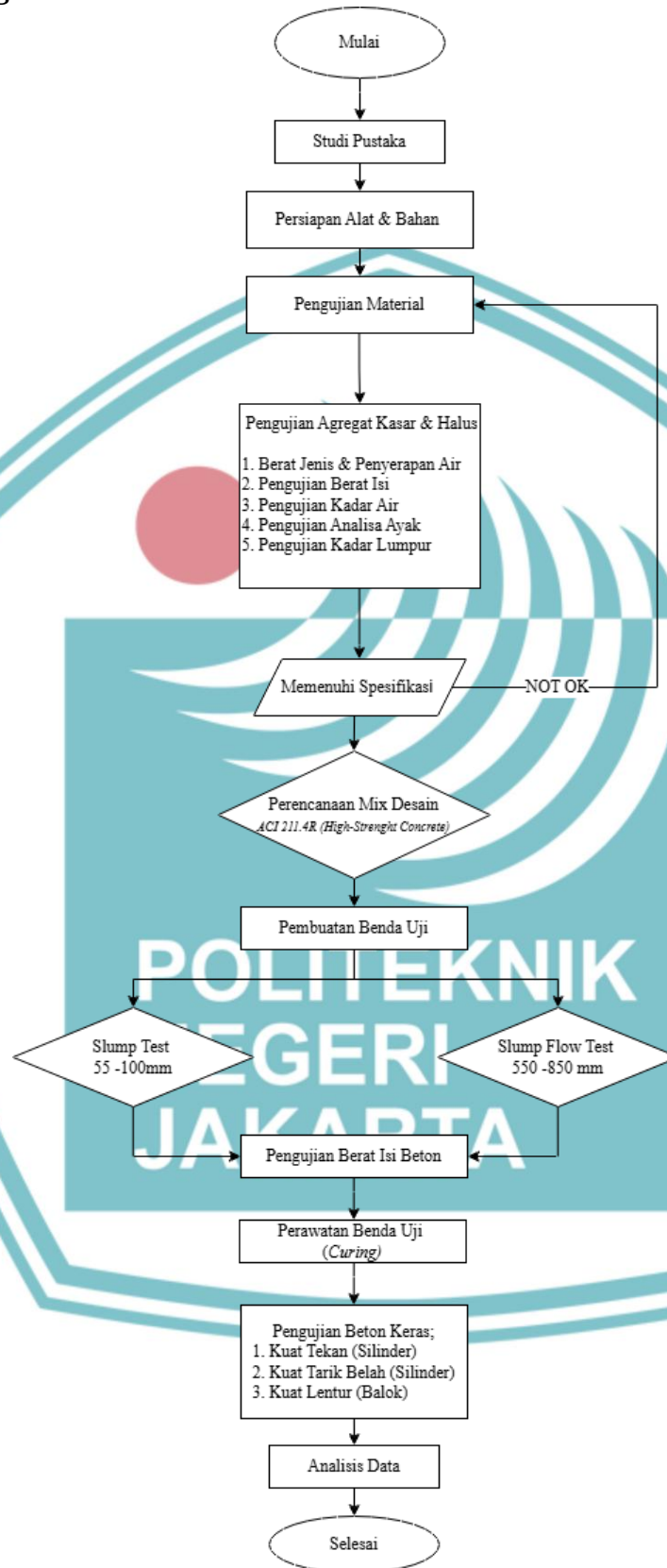
- a. Nilai Kuat Tekan Beton
- b. Nilai Kuat Tatik Beton
- c. Nilai Kuat Lentur

Variabel Kontrol:

Penambahan
Superplasticizer
sebanyak 0,8%

3.5 Bagan Alir Peneitian

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 3 Bagan Alir Penelitian

3.6 Teknik Pengumpulan Data

Sumber data dan teknik pengumpulan data terbagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder.

3.6.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh melalui proses observasi langsung dan serangkaian percobaan yang dilakukan di laboratorium. Adapun data yang berhasil dikumpulkan dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.6.1.1 Persiapan Bahan

3.6.1.2 Pengujian Agregat Kasar dan Halus

A. Uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

- 1) Pencucian agregat dengan air bersih;
- 2) Perendaman agregat dalam air selama 24 ± 4 jam agar kondisi jenuh permukaan kering (SSD) tercapai;
- 3) Penirisan agregat dengan kain lembab atau serbet hingga air bebas tidak tampak di permukaan;
- 4) Pengeringan dengan handuk atau melalui pengangin-anginan hingga kondisi jenuh permukaan kering (SSD) tercapai;
- 5) Penimbangan keranjang kawat kosong dilakukan dalam air (W1);
- 6) Pengeringan Agregat SSD ke dalam keranjang kawat, penimbangan dalam air (W2).
- 7) Pengambilan agregat dari keranjang kawat, pengeringan dalam oven pada suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ selama minimal 24 jam atau hingga beratnya konstan;
- 8) Pendinginan agregat dalam desikator atau di udara hingga mencapai suhu kamar.
- 9) Penimbangan agregat yang telah kering (W3).

Perhitungan:

$$\text{Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)} = \frac{W_3}{W_{SSD} - W_{air}} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Berat Jenis Kering Oven (Apparent Specific Gravity)} = \frac{W_3}{W_3 - W_{air}} \dots\dots(2)$$

$$\text{Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)} = \frac{W_{SSD}}{W_{SSD} - W_{air}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Penyerapan Air (Absorption)} = \frac{W_{SSD} - W_3}{W_3} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

B. Uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dalam penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada SNI 1970:2008

- 1) Merendam benda uji selama ± 24 jam;
- 2) Menghilangkan kelebihan air dengan hati-hati untuk menghindari hilangnya butiran yang halus, kemudian memasukkan benda uji ke dalam wajan kering dan masak menggunakan kompor hingga tercapai kondisi jenuh kering permukaan (SSD);
- 3) Memeriksa kondisi SSD dengan meletakan benda uji ke dalam kerucut terpancung;
- 4) Benda uji yang sudah dimasukan ke dalam keruncut terpancung, kemudian ditumbuk dengan menggunakan batang penumbuk sebanyak 25 kali dibagi menjadi 3 lapisan;
- 5) Keadaan SSD tercapai ketika kerucut diangkat dan benda uji mengalami keruntuhan namun tingginya masih tetap;
- 6) Setelah tercapai keadaan SSD, benda uji dimasukkan sebanyak 500 ± 10 gram (W_2) ke dalam piknometer;
- 7) Memberikan air suling ke dalam piknometer sebanyak 90% volume piknometer, kemudian putar dan guncangkan piknometer sampai mengeluarkan udara yang terperangkap sehingga air mengisi keseluruhan celah pada benda uji;
- 8) Kemudian masukkan air sampai pada batas pembacaan piknometer;
- 9) Menimbang berat total dari piknometer, air, dan benda uji (W_{12});
- 10) Benda uji dikeluarkan dari piknometer kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven dengan temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga mencapai berat tetap. Setelah mencapai berat tetap, benda uji didinginkan pada temperatur ruang selama $(1,0 \pm 0,5)$ jam dan ditimbang beratnya (W_1);
- 11) Menimbang berat piknometer berisi air sampai batas yang sama pada suhu $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ (W_{13}).

Perhitungan:

$$\text{Berat jenis (bulk specific gravity)} = \frac{W_1}{W_2 + W_{13} - W_{12}} \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan (SSD)} = \frac{W_2}{W_2 + W_{13} - W_{12}} \dots \dots \dots (6)$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Berat jenis jenuh semu (apparent surface dry)} = \frac{W_1}{W_2 + W_{13} - W_{12}} \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{Penyerapan air (absorption)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

W1 = Berat benda uji kering oven (gram)

W2 = Berat benda uji SSD (gram)

W12 = Berat benda uji + piknometer + air (gram)

W13 = Berat piknometer + air (gram)

C. Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Agregat Halus

Pengujian bobot isi dan rongga udara mengacu pada SNI 03-4804-1998.

Berat isi keadaan lepas:

- 1) Menimbang baja silinder (W1), lalu ukur volume baja silinder (V) yang akan digunakan sebagai wadah pengujian;
- 2) Memasukkan benda uji ke dalam wadah baja silinder;
- 3) Meratakan silinder yang telah terisi dengan mistar perata;
- 4) Menimbang berat baja silinder beserta isinya (W2);
- 5) Menghitung berat benda uji dalam baja silinder (W3=W2-W1).

Berat isi keadaan padat:

- 1) Menimbang tabung silinder (W1) lalu ukur volume tabung silinder (V) yang akan digunakan sebagai wadah pengujian;
- 2) Mengisi silinder dalam tiga lapis sama tebal secara bertahap dengan benda uji;
- 3) Memadatkan setiap lapisan benda uji secara bertahap dengan cara menusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata;
- 4) Meratakan silinder yang telah terisi dengan mistar perata;
- 5) Menimbang berat agregat beserta isinya (W4);
- 6) Menghitung berat benda uji dalam tabung silinder (W5 = W4).

Perhitungan:

$$\text{Berat Isi Lepas} = \frac{W_3}{v} \dots \dots \dots (9)$$

$$\text{Berat Isi Padat} = \frac{W_3}{v} \times 10 \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{Rongga Udara} = \frac{[(S \times W) - M \times 100]}{(S \times W)} \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

W3 = berat agregat dalam keadaan lepas (gram)

W5 = berat agregat dalam kondisi dipadatkan (gram)

V = volume tabung silinder pada saat pengujian (m³)

S = berat jenis agregat (bulk specific density)

M = berat isi agregat (kg/m³)

W = kerapatan air (998 kg/m³)

D. Pengujian Analisa Ayak

Pengujian analisis ayak agregat dalam penelitian ini didasarkan pada ASTM C 136:2012. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian analisis ayak sebagai berikut:

- 1) Memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai benda uji mencapai berat tetap;
- 2) Menimbang benda uji sesuai dengan berat yang disyaratkan;
- 3) Menyusun saringan dengan saringan terbesar pada bagian atas dan pada bagian bawah susunan;
- 4) Memasukkan ayakan dari bagian atas, lalu tutup bagian atas saringan dengan penutup saringan;
- 5) Meletakkan susunan saringan tersebut di atas mesin shieve shaker;
- 6) Menjalankan mesin selama ± 15 menit;
- 7) Memisahkan benda uji yang tertahan pada saringan dengan menggunakan kuas atau sikat halus;
- 8) Menimbang benda uji pada masing – masing saringan.

Adapun pengolahan data yang harus dilakukan setelah melakukan pengujian ayak sebagai berikut:

- 1) Menghitung persentase berat benda uji yang tertahan di masing-masing saringan terhadap berat total;
- 2) Menghitung persentase berat tertahan kumulatif benda uji;
- 3) Menghitung angka kehalusan (*Fineness Modulus*), yaitu jumlah persentase tertahan kumulatif dari suatu seri saringan yang disusun kelipatan dua mulai dari saringan 0,15 mm dibagi 100 ($\sum \%W_{\text{tertahan}}$);
- 4) Menghitung persentase lolos kumulatif;

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 5) Gambarkan grafik gradasi agregat kemudian masukkan ke dalam spesifikasi batas zona gradasi berdasarkan SNI 03-2834-2002.

E. Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur pada agregat kasar dalam penelitian ini merujuk pada SNI 4142-1996. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian kadar lumpur sebagai berikut:

- 1) Memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai benda uji mencapai berat tetap, lalu timbang (W6);
- 2) Menimbang wadah yang akan digunakan untuk pengujian (W1);
- 3) Memasukkan benda uji ke dalam wadah;
- 4) Mencuci benda uji dalam wadah dengan air;
- 5) Mengaduk benda uji sehingga lumpur pada benda uji terlepas, kemudian menuangkan air cucian tersebut ke dalam susunan No. 16 secara hati-hati agar bahan kasar tidak ikut tertuang;
- 6) Mengulang proses pencucian sampai air cucian terlihat bersih;
- 7) Mengembalikan benda uji yang berada pada saringan No.16 ke dalam wadah benda uji;
- 8) Memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai benda uji mencapai berat tetap, lalu timbang (W7)

Perhitungan:

$$\text{Berat benda uji setelah pencucian (W8)} = W7 - W1 \text{ .(13)}$$

Keterangan:

W1 = Berat wadah (gram)

W6 = Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gram)

W7 = Berat benda uji kering oven setelah pencucian + wadah (gram)

W8 = Berat benda uji kering oven setelah pencucian (gram)

F. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air pada agregat kasar dalam penelitian ini berdasarkan SNI 1971-2011. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian kadar air sebagai berikut:

- 1) Menimbang berat wadah yang akan digunakan pada saat proses pengujian (W1);

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 2) Memasukkan benda uji ke dalam wadah, lalu timbang (W2);
- 3) Menghitung berat benda uji ($W3 = W2 - W1$);
- 4) Memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai benda uji mencapai berat tetap, lalu timbang (W11);
- 5) Menghitung berat benda uji dalam keadaan kering ($W5 = W4 - W1$)

Perhitungan:

$$\text{Kadar Air Agregat} = \frac{W3-W5}{W5} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan:

W10 = Berat benda uji awal (gram)

W11 = Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gram)

Pengujian kadar lumpur pada agregat kasar dalam penelitian ini merujuk pada SNI 4142-1996. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian kadar lumpur sebagai berikut:

- 9) Memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai benda uji mencapai berat tetap, lalu timbang (W6);
- 10) Menimbang wadah yang akan digunakan untuk pengujian (W1);
- 11) Memasukkan benda uji ke dalam wadah;
- 12) Mencuci benda uji dalam wadah dengan air;
- 13) Mengaduk benda uji sehingga lumpur pada benda uji terlepas, kemudian menuangkan air cucian tersebut ke dalam susunan No. 16 secara hati-hati agar bahan kasar tidak ikut tertuang;
- 14) Mengulang proses pencucian sampai air cucian terlihat bersih;
- 15) Mengembalikan benda uji yang berada pada saringan No.16 ke dalam wadah benda uji;
- 16) Memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai benda uji mencapai berat tetap, lalu timbang (W7)

Perhitungan:

$$\text{Berat benda uji setelah pencucian (W8)} = W7 - W1$$

Keterangan:

W1 = Berat wadah (gram)

W6 = Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gram)

W7 = Berat benda uji kering oven setelah pencucian + wadah (gram)

W8 = Berat benda uji kering oven setelah pencucian (gram)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

G. Pengujian kadar air

Pengujian kadar air pada agregat kasar dalam penelitian ini berdasarkan SNI 1971-2011. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian kadar air sebagai berikut:

- 6) Menimbang berat wadah yang akan digunakan pada saat proses pengujian (W1);
- 7) Memasukkan benda uji ke dalam wadah, lalu timbang (W2);
- 8) Menghitung berat benda uji ($W3 = W2 - W1$);
- 9) Memasukkan benda uji ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai benda uji mencapai berat tetap, lalu timbang (W11);
- 10) Menghitung berat benda uji dalam keadaan kering ($W5 = W4 - W1$)

Perhitungan:

$$\text{Kadar Air Agregat} = \frac{W3-W5}{W5} \times 100\%$$

Keterangan:

W10 = Berat benda uji awal (gram)

W11 = Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gram)

3.6.1.3 Pengujian Semen

A. Berat jenis semen

Pengujian berat jenis semen bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis semen *Portland* yang akan digunakan dalam pekerjaan konstruksi, sesuai dengan standar SNI 15-2531-1991. Agar memenuhi ketentuan standar, semen *Portland* harus memiliki berat jenis dalam kisaran 3,00–3,20 (t/m^3).

- 1) Membersihkan tabung *Le Chatelier* hingga bersih, kemudian mengisinya dengan kerosene hingga mencapai skala antara 0,0 ml–1,0 ml pada leher tabungnya;
- 2) Meletakkan tabung yang berisi kerosene ke tempat yang memiliki suhu konstan (20°C) selama 30 menit, lalu membaca volume awal kerosene pada tabung (V_1 ml);
- 3) Kemudian menimbang berat semen sebanyak ± 64 gram;
- 4) Memasukkan semen ke dalam tabung *Le Chatelier*, perhatikan agar tidak ada yang tumpah keluar dari tabung. Apabila terdapat semen yang menempel pada dinding tabung, maka semen tersebut didorong menggunakan kawat keccil agar seluruh semen terendam dalam kerosene;

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 5) Menggoyangkan tabung Le Chatelier;
- 6) Meletakkan tabung selama 30 menit di tempat yang memiliki suhu konstan (20° C);
- 7) Kemudian membaca volume kerosene dengan semen pada tabung Le Chatelier (V₂ ml).

Perhitungan:

$$\text{Berat Jenis Semen} = \frac{W}{(V_2 - V_1)} \times d$$

Keterangan:

W = Berat semen (gram)

V₁ = Pembacaan awal volume kerosene (ml)

V₂ = Pembacaan volume kerosene + semen (ml)

d = Berat isi air pada suhu 4° C = 1 gr/ml

3.6.1.4 Pengujian Beton Segar

A. *Slump test*

Pengujian slump beton dilakukan sesuai dengan SNI 1972-2008. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan kerja (*workability*) beton yang telah dicampur, dengan rentang nilai slump yang diharapkan antara 75-100 mm.

- 1) Menyiapkan peralatan dan bahan yang diperlukan;
- 2) Membasahi kerucut dan meletakkan pada permukaan datar yang tidak menyerap air;
- 3) Memasukkan adukan beton ke dalam kerucut secara merata sambil menekannya ke bawah;
- 4) Memasukkan beton dalam tiga lapisan dengan ketebalan seragam dan ditusuk setiap lapisannya sebanyak 25 kali menggunakan tongkat baja untuk memadatkannya;
- 5) Menambahkan beton pada lapisan atas hingga melebihi cetakan sebelum memadatkannya;
- 6) Meratakan permukaan beton pada bagian atas cetakan dengan menggelindingkan tongkat penusuk di atasnya setelah pemadatan;
- 7) Membersihkan beton yang jatuh di sekitar kerucut dengan hati-hati;
- 8) Kemudian cetakan dibuka secara vertikal dengan hati-hati hingga ketinggian 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan lateral atau putaran.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

9) Seluruh tahapan pengujian, dari pengisian hingga pelepasan cetakan, dalam waktu 2½ menit tanpa gangguan.

10) Ukur penurunan puncak kerucut dari tinggi semula.

$$\text{Nilai slump} = \text{Tinggi cetakan} - \text{tinggi rata-rata benda uji}$$

B. Pengujian bobot isi dan kadar udara

Pengujian bobot isi beton segar bertujuan untuk mengetahui berat isi beton guna memastikan keseragaman mutu dalam perencanaan campuran. Prosedur pengujian ini dilakukan berdasarkan standar SNI 1973-2008.

- 1) Menimbang tabung silinder yang akan digunakan pada pengujian (W1);
- 2) Menghitung volume tabung silinder;
- 3) Memasukkan beton ke dalam tabung silinder secara bertahap (3 lapis);
- 4) Memadatkan beton dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali pada setiap lapisannya;
- 5) Meratakan permukaan tabung dengan mistar perata;
- 6) Menimbang benda uji yang telah dipadatkan pada tabung silinder (W2).

Perhitungan:

$$\text{Bobot Isi (W)} = \frac{W2-W1}{V}$$

$$\text{Yield (Y)} = \frac{W3}{W}$$

$$\text{Kadar Udara} = \frac{Y-V1}{Y} \times 100\%$$

Keterangan:

W = Berat isi beton (gr/liter atau kg/liter)

Y = Yield

W1 = Berat tabung silinder (gram)

W2 = Berat tabung silinder + benda uji dipadatkan (gram)

V = Volume tabung silinder (m³)

V1 = Volume bahan yang dimasukkan (m³)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.6.1.6 Pengujian Beton Keras

A. Kuat tekan beton

Kuat tekan beton merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan beton dalam menahan beban per satuan luas sebelum mengalami kerusakan akibat gaya tekan. Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin tekan sesuai dengan

SNI 1974-2011.

- 1) Menyiapkan benda uji berbentuk silinder yang ingin diuji;
- 2) Mengukur diameter, tinggi benda uji, dan hitung luasnya;
- 3) Capping benda uji menggunakan belerang agar permukaan benda uji rata dengan cara:
 - a. Memanaskan belerang sampai cair,
 - b. Menyiapkan cetakan yang sudah dilumasi pelumas yang tipis,
 - c. Menuangkan cairan belerang ke atas cetakan, lalu segera letakkan benda uji ke atas cairan belerang tersebut, diamkan sebentar,
 - d. Mengambil benda uji yang telah di-capping dengan cara memutar benda uji.
- 4) Menimbang benda uji;
- 5) Membawa benda uji ke mesin tekan yang telah diatur ketinggian alas dengan mesin tekannya;
- 6) Mengatur jarum penunjuk pada mesin tekan pada skala 0 dengan cara diputar;
- 7) Menyalakan mesin kuat tekan dengan menekan tombol start lalu menekan tombol *rapid approach* agar benda uji terangkat sampai jarum penunjuk sedikit bergerak;
- 8) Melepas tombol *rapid approach* sehingga mesin bergerak dengan sendirinya dengan mengatur kecepatan pembebanan *load rate* antara 0,14 – 0,34 MPa/detik;
Mencatat beban maksimum pada saat jarum pembaca berhenti dan kembali pada angka nol (0);
- 9) Mematikan mesin kuat tekan.

Perhitungan:

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P \text{ maks}}{A}$$

Keterangan:

Pmaks = Beban maksimum (Newton)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

A = Luas bidang permukaan tekan benda uji (mm² atau cm²)

3.6.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa jurnal yang berhubungan dengan beton.

3.7 Metode Analisis Data

3.7.1 Analisis Kuantitatif

Penelitian ini menggunakan dua perangkat lunak untuk mendukung proses analisis data, yaitu *Microsoft Excel* dan *IBM SPSS Statistics*. *Microsoft Excel* digunakan untuk mengelola dan memproses data awal, seperti hasil pengujian kuat tekan beton pada berbagai persentase zat aditif, perhitungan dasar, pembuatan tabel, dan visualisasi data melalui grafik. Adapun *SPSS* digunakan untuk melakukan analisis regresi guna mengetahui pengaruh variasi *fly ash* dan *superplasticizer* terhadap parameter beton segar dan beton keras.

Sebelum data hasil pengujian dianalisis menggunakan regresi linear sederhana maupun regresi linear berganda, terlebih dahulu dilakukan serangkaian uji asumsi klasik. Uji asumsi ini penting dilakukan karena model regresi linear hanya menghasilkan estimasi yang valid (*best linear unbiased estimator*/BLUE) apabila data yang dianalisis memenuhi asumsi normalitas, homogenitas ragam, tidak terjadi multikolinearitas antarvariabel bebas, serta residual model bersifat acak dan tidak menunjukkan pola sistematis. Apabila asumsi-asumsi tersebut tidak diuji dan tidak terpenuhi, maka nilai koefisien regresi, taraf signifikansi, maupun interpretasi koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan berpotensi bias dan tidak dapat dipertanggungjawabkan secara statistik. Oleh karena itu, uji normalitas, uji homogenitas, uji multikolinearitas, dan uji asumsi residual dilakukan terhadap seluruh data pengujian sebelum data tersebut diolah lebih lanjut menggunakan regresi linear sederhana maupun regresi linear berganda pada BAB IV.

A. Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah data hasil pengujian (variabel terikat maupun residual model regresi) berdistribusi normal atau tidak. Uji ini menjadi dasar penting sebelum analisis regresi karena metode regresi linear dengan pendekatan *ordinary least squares* (OLS) mengasumsikan bahwa

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

residual model menyebar normal agar uji t dan uji F yang digunakan untuk menentukan signifikansi koefisien regresi dapat diinterpretasikan secara valid.

Dasar teori uji normalitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji *Shapiro-Wilk*, yang direkomendasikan untuk ukuran sampel kecil ($n < 50$), sesuai dengan jumlah sampel pada tiap variasi campuran dalam penelitian ini ($n = 3$ per variasi).

Hipotesis yang digunakan dalam uji normalitas adalah sebagai berikut.

- H_0 : data berasal dari populasi yang berdistribusi normal.
- H_1 : data berasal dari populasi yang tidak berdistribusi normal.

Kriteria pengambilan keputusan: apabila nilai signifikansi (*p-value*) hasil uji *Shapiro-Wilk* lebih besar dari taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka H_0 diterima sehingga data dinyatakan berdistribusi normal. Sebaliknya, apabila nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05, maka H_0 ditolak dan data dinyatakan tidak berdistribusi normal, sehingga diperlukan transformasi data atau penggunaan metode statistik nonparametrik.

Uji normalitas dilakukan terlebih dahulu sebelum analisis regresi karena estimasi parameter regresi dengan metode OLS bersifat *best linear unbiased estimator* (BLUE) hanya jika residualnya menyebar normal. Apabila asumsi ini dilanggar, nilai *p* pada uji t dan uji F dapat menjadi tidak akurat sehingga kesimpulan mengenai signifikansi pengaruh variasi *fly ash* dan *superplasticizer* terhadap sifat mekanis beton berpotensi keliru.

B. Uji Homogenitas

Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah varians (ragam) data pada setiap kelompok variasi campuran bersifat homogen (sama) atau tidak. Uji ini penting dilakukan karena regresi linear berganda mengasumsikan varians error yang konstan pada setiap tingkat variabel bebas (asumsi *homoscedasticity*).

Dasar teori yang digunakan adalah uji *Levene*, yang dipilih karena tidak mensyaratkan data berdistribusi normal secara ketat dan cukup *robust* terhadap penyimpangan kecil dari normalitas.

Hipotesis yang digunakan dalam uji homogenitas adalah sebagai berikut.

- H_0 : varians data pada setiap kelompok variasi adalah homogen (sama).
- H_1 : varians data pada setiap kelompok variasi tidak homogen (berbeda).

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kriteria pengambilan keputusan: apabila nilai signifikansi uji *Levene* lebih besar dari 0,05, maka H_0 diterima sehingga varians data dinyatakan homogen. Apabila nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05, maka H_0 ditolak dan varians data dinyatakan tidak homogen (terjadi *heteroscedasticity*).

Uji homogenitas dilakukan sebelum analisis regresi karena apabila varians error tidak konstan (*heteroscedasticity*), maka standar *error* dari koefisien regresi akan menjadi bias, sehingga uji signifikansi (uji t) terhadap koefisien regresi *fly ash* dan *superplasticizer* dapat menghasilkan kesimpulan yang tidak tepat, meskipun nilai koefisien regresinya sendiri tetap tidak bias.

C. Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas bertujuan untuk mendeteksi ada tidaknya korelasi yang tinggi antarvariabel bebas dalam model regresi linear berganda. Dalam penelitian ini, uji multikolinearitas menjadi relevan pada model regresi yang melibatkan dua variabel bebas sekaligus, yaitu variasi persentase *fly ash* dan penambahan *superplasticizer*, terhadap satu variabel terikat, seperti pada analisis berat isi beton segar, kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur.

Dasar teori yang digunakan adalah nilai *Tolerance* dan *Variance Inflation Factor* (VIF). Nilai *Tolerance* menggambarkan proporsi varians suatu variabel bebas yang tidak dapat dijelaskan oleh variabel bebas lainnya, sedangkan VIF merupakan kebalikan dari nilai *Tolerance* yang menunjukkan seberapa besar varians koefisien regresi meningkat akibat adanya korelasi antarvariabel bebas.

Hipotesis yang digunakan dalam uji multikolinearitas adalah sebagai berikut.

- H_0 : tidak terjadi multikolinearitas antarvariabel bebas dalam model regresi.
- H_1 : terjadi multikolinearitas antarvariabel bebas dalam model regresi.

Kriteria pengambilan keputusan: apabila nilai *Tolerance* $> 0,10$ dan nilai VIF < 10 , maka H_0 diterima sehingga model dinyatakan bebas dari multikolinearitas. Apabila nilai *Tolerance* $\leq 0,10$ dan/atau VIF ≥ 10 , maka H_0 ditolak dan model dinyatakan mengalami multikolinearitas.

Uji multikolinearitas dilakukan sebelum analisis regresi berganda karena apabila terjadi korelasi tinggi antara variasi *fly ash* dan penambahan *superplasticizer*, maka koefisien regresi masing-masing variabel menjadi tidak

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

stabil dan sulit diinterpretasikan secara individual, sehingga kesimpulan mengenai variabel mana yang lebih dominan memengaruhi sifat mekanis beton dapat menyesatkan. Dalam penelitian ini, kedua variabel bebas dirancang secara ortogonal melalui rancangan campuran pada Tabel 3.2, sehingga risiko multikolinearitas dapat diminimalkan sejak tahap perancangan penelitian.

D. Uji Asumsi Residual

Uji asumsi residual bertujuan untuk memastikan bahwa residual (selisih antara nilai amatan dan nilai prediksi) dari model regresi bersifat acak, memiliki rata-rata mendekati nol, tidak menunjukkan pola tertentu (linearitas terpenuhi), dan tidak mengalami autokorelasi antarresidual.

Dasar teori yang digunakan meliputi pemeriksaan plot residual (*scatterplot* antara *predicted value* dan residual) untuk menilai linearitas dan *homoscedasticity* residual, serta uji *Durbin-Watson* untuk mendeteksi autokorelasi pada data yang memiliki urutan (runtun).

Hipotesis yang digunakan dalam uji asumsi residual adalah sebagai berikut.

- H_0 : tidak terdapat autokorelasi antarresidual (residual bersifat independen).
- H_1 : terdapat autokorelasi antarresidual.

Kriteria pengambilan keputusan: nilai statistik *Durbin-Watson* (d) dibandingkan dengan nilai tabel d_L dan d_U pada taraf signifikansi 5%. Apabila nilai d berada di antara d_U dan $(4 - d_U)$, maka H_0 diterima sehingga tidak terdapat autokorelasi. Untuk pemeriksaan pola residual, apabila titik-titik pada *scatterplot* residual tersebar secara acak di sekitar garis nol tanpa membentuk pola tertentu (misalnya pola melengkung atau corong), maka asumsi linearitas dan *homoscedasticity* residual dinyatakan terpenuhi.

Uji asumsi residual dilakukan sebagai tahap akhir sebelum hasil regresi diinterpretasikan, karena keempat uji asumsi klasik ini (normalitas, homogenitas, multikolinearitas, dan asumsi residual) saling melengkapi dalam memastikan validitas model regresi linear yang digunakan untuk menjelaskan pengaruh variasi *fly ash* dan *superplasticizer* terhadap karakteristik beton segar dan beton keras pada BAB IV.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.7.2 Analisis Deskriptif

A. Langkah-langkah pencetakan beton

1. Persiapan cetakan

Bersihkan cetakan silinder ukuran $\varnothing 15 \text{ cm} \times$ tinggi 30 cm, lalu olesi bagian dalam cetakan dengan pelumas tipis agar beton tidak menempel saat dibongkar.

2. Pengisian beton ke cetakan

Adukan beton segar dimasukkan ke dalam cetakan dalam tiga lapisan dengan tinggi yang merata. Setiap lapisan diisi secara bertahap dan segera dilakukan pemadatan.

3. Pemadatan beton

Setiap lapisan dipadatkan menggunakan tongkat pemadat baja dengan 25 kali tusukan secara merata di seluruh permukaan untuk menghindari rongga udara (voids).

4. Perataan permukaan

Setelah lapisan terakhir dimasukkan dan dipadatkan, permukaan atas beton diratakan dengan mistar baja hingga rata dengan bibir cetakan.

5. Pemberian label

Setiap cetakan diberi label yang menunjukkan persentase zat aditif dan umur pengujian (7, atau 28 hari) untuk memudahkan identifikasi selama curing dan pengujian.

6. Penyimpanan awal

Beton yang telah dicetak disimpan di tempat terlindung selama 24 jam sebelum dilepas dari cetakan dan masuk ke tahap perawatan (curing).

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

A. Langkah-langkah perawatan beton (*curing*)

1. Pelepasan benda uji dari cetakan (*demoulding*)

Setelah proses pencetakan selesai, benda uji didiamkan selama 24 jam dalam kondisi terlindung. Setelah itu, beton dikeluarkan dari cetakan secara hati-hati agar tidak rusak.

2. Perendaman dalam air

Benda uji yang sudah dilepas langsung direndam dalam bak berisi air bersih. Seluruh permukaan beton harus terendam penuh selama masa perawatan.

3. Menjaga Suhu dan Kelembaban

Selama proses curing, suhu air harus dijaga stabil, dan kondisi lembab harus dipertahankan agar proses hidrasi semen berlangsung optimal.

Jika dilakukan di ruang terbuka, usahakan bak curing tidak terkena sinar matahari langsung.

4. Durasi perawatan sesuai umur uji

Benda uji direndam hingga mencapai umur yang ditentukan untuk pengujian kuat tekan, yaitu pada: hari ke-7, dan hari ke-28.

5. Pengangkatan benda uji untuk pengujian

Setelah mencapai umur uji, benda uji diangkat dari air, dibersihkan dari sisa air di permukaan, lalu dibawa ke mesin uji kuat tekan.

B. Langkah-langkah uji kuat tekan beton

1. Persiapan benda uji

Ambil benda uji silinder beton berukuran $\varnothing 15 \text{ cm} \times$ tinggi 30 cm dari tempat perawatan (*curing*) setelah mencapai umur yang ditentukan (7, dan 28 hari), lalu keringkan permukaan beton dari air atau kelembapan berlebih dengan kain bersih.

2. Pengukuran dimensi benda uji

Ukur tinggi dan diameter benda uji menggunakan mistar atau jangka sorong untuk menghitung luas penampang tekan (A).

3. Capping permukaan (ratakan permukaan benda uji)

Lakukan capping menggunakan belerang cair untuk meratakan kedua ujung permukaan benda uji jika belum rata, caranya dengan menuangkan belerang cair

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pada cetakan logam, lalu tempelkan ujung benda uji di atas belerang sampai mengeras.

4. Penimbangan benda uji

Timbang benda uji menggunakan timbangan digital untuk pencatatan berat beton jika diperlukan.

5. Penempatan pada mesin uji tekan

Letakkan benda uji secara vertikal dan simetris pada mesin uji kuat tekan, pastikan pusat benda uji berada tepat di bawah plat penekan.

6. Pengaturan mesin uji

Atur jarum indikator mesin tekan ke angka 0, lalu atur laju pembebanan sesuai standar, yaitu antara 0,14 – 0,34 MPa/detik.

7. Pelaksanaan pengujian

Nyalakan mesin uji dan mulai beri beban tekan secara perlahan dan terus-menerus hingga benda uji mengalami kerusakan (pecah). Catat beban maksimum (P_{max}) yang ditunjukkan oleh mesin sebelum benda uji hancur.

8. Perhitungan kuat tekan

Gunakan rumus:

$$f_c = \frac{P_{maks}}{A}$$

f_c = Kuat tekan beton (MPa)

P_{max} = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang tekan benda uji (mm^2)

9. Pencatatan hasil

Catat hasil uji untuk masing-masing variasi zat aditif dan umur beton, ulangi minimal 3 kali untuk tiap variasi agar data valid.

3.8 Rancangan Benda Uji

Rancangan benda uji ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton pada beberapa umur pengujian berdasarkan variasi campuran yang digunakan. Rincian variasi dan jumlah benda uji disajikan pada table berikut.

Tabel 3.1 Rancangan Benda Uji

Variasi	Persentase	Umur (hari)	Kuat Tekan	Silinder Tarik Belah	Balok Kuat Lentur
HC (Kontrol)	HC 100%	7	3		
		28	3	3	3
HC + Fly Ash	HC 95% Fly Ash	7	3		
	5%	28	3	3	3
PCC+ Fly Ash	HC 90% Fly Ash	7	3		
	10%	28	3	3	3
PCC+ Fly Ash	HC 85% Fly Ash	7	3		
	15%	28	3	3	3
PCC+ Fly Ash +SP	HC 95% Fly Ash	7	3		
	5% SP 0,8%	28	3	3	3
PCC+ Fly Ash +SP	HC 90% Fly Ash	7	3		
	10% SP 0,8%	28	3	3	3
PCC+ Fly Ash +SP	HC 85% Fly Ash	7	3		
	15% SP 0,8%	28	3	3	3
			42	21	21
				84	

Sumber: Olahan Peneliti, 2026

3.9 Tahapan Penelitian

1. Persiapan alat dan bahan

Menyiapkan semua perlengkapan yang dibutuhkan seperti:

- 1) Alat uji (kerucut abrams, cetakan beton, molen, oven, mesin tekan, dll.), dan
- 2) Material (semen, agregat kasar, agregat halus, air, *fly ash*, dan *superplasticizer*).

2. Pengujian material

Sebelum membuat campuran beton, semua bahan diuji terlebih dahulu untuk mengetahui sifat fisik dan mekanisnya.

1) Pengujian agregat halus

- Berat jenis dan penyerapan air, untuk mengetahui densitas dan daya serap pasir,
- Bobot isi dan rongga udara, untuk menghitung volume padat dan rongga antar butir,
- Analisa ayak, untuk menentukan gradasi ukuran butiran pasir,
- Kadar lumpur, untuk mengukur kadar partikel halus yang bisa mengganggu ikatan semen,
- Kadar air, untuk menyesuaikan jumlah air yang digunakan dalam campuran beton.

2) Pengujian agregat kasar

Langkahnya hampir sama dengan agregat halus, dilakukan untuk memastikan kerikil memiliki kualitas dan ukuran sesuai standar.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Mix design (perancangan campuran beton)

Campuran beton dirancang berdasarkan hasil uji material untuk mencapai mutu beton yang diinginkan. Variabel utama di penelitian ini adalah penggunaan zat aditif dengan kadar 5%, 10%, dan 15%.
4. Pengadukan beton

Proses mencampurkan semua material (semen, agregat, air, aditif) menggunakan molen untuk menghasilkan adukan beton segar yang homogen.
5. Uji *slump* (rentang 75–100 mm).
6. Mengukur kemampuan kerja (*workability*) beton segar dengan alat kerucut abrams (mengacu SNI 1972-2008).
 - Jika tidak sesuai, dilakukan penyesuaian campuran, dan
 - Jika sesuai, dilanjut ke proses berikutnya.
7. Pengujian beton segar

Dilakukan setelah *slump* test:

 - Berat isi, mengukur massa jenis beton segar;
 - *Slump* test, pengujian ulang jika diperlukan untuk verifikasi *workability*.
8. Pencetakan benda uji

Beton dimasukkan ke cetakan silinder ($\varnothing 15 \text{ cm} \times \text{tinggi } 30 \text{ cm}$) untuk kemudian diuji kuat tekannya setelah waktu tertentu.
9. Perawatan benda uji (*curing*)

Cetakan disimpan dalam air atau ruang lembab untuk memastikan proses hidrasi berjalan sempurna. Uji dilakukan pada umur 28 hari.
10. Pengujian beton keras

Dilakukan dengan mesin tekan untuk mengetahui kuat tekan beton pada masing-masing umur benda uji, sesuai dengan SNI 1974-2011.
11. Analisis data

Data hasil uji dicatat dan diolah menggunakan Excel untuk perhitungan dasar dan grafik, serta SPSS untuk uji regresi linier guna mengetahui pengaruh zat aditif terhadap kuat tekan beton.
12. Selesai

Menarik kesimpulan dari seluruh proses pengujian dan analisis sebagai luaran penelitian (skripsi dan artikel ilmiah).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.10 Luaran

Luaran yang diharapkan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Rekomendasi proporsi campuran yang optimal antara semen hidrolik dan *fly ash* sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam mengurangi emisi CO₂ di sektor konstruksi.
2. Dapat menghasilkan artikel ilmiah yang dapat dipublikasikan di jurnal teknik sipil atau materia



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data Pengujian Bahan Penyusun Beton

Bab ini menyajikan data hasil pengujian seluruh bahan penyusun beton yang digunakan dalam penelitian, meliputi semen hidraulis, agregat kasar, dan agregat halus. Selanjutnya dipaparkan prosedur perancangan campuran beton (*mix design*) yang mengacu pada standar ACI 211.4R untuk beton mutu *tinggi* (*High-Strength Concrete*).

Penelitian ini menggunakan *fly ash* sebagai bahan substitusi parsial semen hidraulis dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen, serta penambahan *superplasticizer* dengan dosis tetap 0,8% dari berat semen. Target kuat tekan yang direncanakan adalah $f'_c = 55$ MPa pada umur 28 hari. Seluruh pengujian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta mengacu pada standar SNI dan ASTM yang berlaku.

4.1.1 Pengujian Agregat Kasar

1) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan mengacu pada SNI 1969-2008 dengan menggunakan tiga sampel. Contoh perhitungan untuk Sampel I adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	Satuan	Sampel			Rata-rata
			I	II	III	
Berat Benda Uji Kering Oven	W1	gram	1460,1	1485,9	1458,5	1468,17
Berat Benda Uji SSD	W2	gram	1500,6	1500,1	1500,7	1500
Berat Benda Uji dalam Air	W3	gram	916,7	923,3	922,8	921
Hasil Perhitungan						
Berat Jenis	Sd		2,50	2,58	2,52	2,53
Berat Jenis SSD	Ss		2,57	2,60	2,60	2,59
Berat Jenis Semu	Sa		2,69	2,64	2,72	2,68
Penyerapan Air	Sw	%	2,77%	0,96%	2,89%	2,215%

Sumber: Olahan Peneliti, 2026

Dari data pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai:

$$\text{Berat Jenis (Bulk Specific Gravity) } S_d = \frac{W_1}{(W_2 - W_3)}$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Sampel 1 = $S_d = \frac{W_1}{(W_2 - W_3)} = \frac{1460,1}{(1500,6 - 916,7)} = 2,50$
- Sampel 2 = $S_d = \frac{W_1}{(W_2 - W_3)} = \frac{1485,9}{(1500,1 - 923,3)} = 2,58$
- Sampel 3 = $S_d = \frac{W_1}{(W_2 - W_3)} = \frac{1458,8}{(1500,7 - 922,8)} = 2,52$

Nilai rata-rata ketiga sampel adalah = **2,53**

Berat Jenis Kering Permukaan SSD (*Saturated Surface Dry*) = $\frac{W_2}{(W_2 - W_3)}$

- Sampel 1 = $S_s = \frac{W_2}{(W_2 - W_3)} = \frac{1500,6}{(1500,6 - 916,7)} = 2,57$
- Sampel 2 = $S_s = \frac{W_2}{(W_2 - W_3)} = \frac{1500,1}{(1500,1 - 923,3)} = 2,60$
- Sampel 3 = $S_s = \frac{W_2}{(W_2 - W_3)} = \frac{1500,7}{(1500,7 - 922,8)} = 2,60$

Nilai rata-rata ketiga sampel adalah = **2,59**

Berat Jenis Semu (*Apparent Surface Dry Specific*) = $\frac{W_1}{(W_1 - W_3)}$

- Sampel 1 = $S_a = \frac{W_1}{W_1 - W_3} = \frac{1460,1}{1460,1 - 916,7} = 2,69$
- Sampel 2 = $S_a = \frac{W_1}{W_1 - W_3} = \frac{1485,9}{1485,9 - 923,3} = 2,64$
- Sampel 3 = $S_a = \frac{W_1}{W_1 - W_3} = \frac{1458,8}{1458,8 - 922,8} = 2,72$

Nilai rata-rata ketiga sampel adalah = **2,68**

Penyerapan Air (*Absorption*) = $\frac{W_1}{(W_1 - W_3)} \times 100\%$

- Sampel 1 = $S_w = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 = \frac{1500,6 - 1460,1}{1460,1} \times 100\% = 2,77\%$
- Sampel 2 = $S_w = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 = \frac{1500,1 - 1485,9}{1485,9} \times 100\% = 0,96\%$
- Sampel 3 = $S_w = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 = \frac{1500,7 - 1458,5}{1458,5} \times 100\% = 2,89\%$

Nilai rata-rata ketiga sampel adalah = **2,21%**

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata berat jenis agregat kasar sebesar 2,53, berat jenis permukaan (SSD) sebesar 2,59, dan berat jenis

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

semu (S_a) sebesar 2,68. Menurut SNI 1969-2008, agregat untuk campuran beton disyaratkan memiliki nilai berat jenis antara 2,2 hingga 2,9. Dengan demikian, nilai berat jenis agregat kasar yang diperoleh memenuhi syarat tersebut. Nilai penyerapan air rata-rata sebesar 2,21%. Berdasarkan (SNI-1969, 2008), nilai maksimum penyerapan air agregat kasar pada beton adalah 5%. Karena nilai penyerapan air tersebut berada di bawah batas maksimum, maka dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi standar SNI.

2) Pengujian Berat Isi Lepas dan Rongga Udara Agregat Kasar

Tabel 4. 2 Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar

Pengukuran	Notasi	Lepas			Padat		
		Sampel			Sampel		
		I	II	III	I	II	III
Berat Tabung Silinder (kg)	W_4	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79
Volume Tabung (m ³)	V	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072
Berat Tabung + Agregat (kg)	W_5	15,36	15,79	15,76	15,63	15,98	16,13
Berat Asli Agregat (kg)	$W_6 = W_5 - W_4$	10,57	11,00	10,97	10,84	11,19	11,34
Berat Isi Lepas (kg/m ³)	kg/m ³	1466,56	1525,81	1521,65	1504,02	1552,32	1573,55
Berat Isi Lepas Rata – Rata (kg/m³)	kg/m³	1.504,67			1.543,55		
Rongga Udara	%	40,49			38,96		

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

Pengujian bobot isi dan rongga udara dilakukan berdasarkan ASTM C29/C29M-97 untuk kondisi lepas dan padat. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.2.

$$\text{Berat Isi Lepas} = \frac{W_6}{V}$$

- Sampel 1 = $\frac{W_6}{V} = \frac{10,57}{0,0072} = 1466,56$
- Sampel 2 = $\frac{W_6}{V} = \frac{11,00}{0,0072} = 1525,81$
- Sampel 3 = $\frac{W_6}{V} = \frac{10,97}{0,0072} = 1521,65$

Nilai rata-rata dari ketiga sampel adalah **1.504,67**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rongga Udara Berat Isi Lepas

$$\text{Voids} = \frac{[(S \times W) - M] \times 100}{(S \times w)} = \frac{[(2,53 \times 998) - 1504,67] \times 100}{(2,53 \times 998)} = 40,49\%$$

$$\text{Berat Isi Padat} = \frac{W_6}{V}$$

$$\begin{aligned} \text{Sampel 1} &= \frac{W_6}{V} = \frac{10,84}{0,0072} = 1504,02 \\ \text{Sampel 2} &= \frac{W_6}{V} = \frac{11,19}{0,0072} = 1552,32 \\ \text{Sampel 3} &= \frac{W_6}{V} = \frac{11,34}{0,0072} = 1573,55 \end{aligned}$$

Nilai rata-rata dari ketiga sampel adalah **1.543,30**

Rongga Udara Berat Isi Padat

$$\text{Voids} = \frac{[(S \times W) - M] \times 100}{(S \times w)} = \frac{[(2,53 \times 998) - 1543,30] \times 100}{(2,53 \times 998)} = 38,96\%$$

Menurut (SNI 03-1971, 2008) agregat untuk beton harus memiliki berat isi lebih dari 1.200 hingga 1.750 kg/m³. Berdasarkan Tabel 4.2 diketahui bahwa rata-rata berat isi lepas agregat kasar adalah 1504,67 kg/m³, sedangkan rata-rata berat isi padatnya mencapai 1543,30 kg/m³. Dari data tersebut, agregat kasar memenuhi syarat untuk digunakan sebagai campuran beton.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3) Pengujian Analisa Ayak Agregat Kasar

Analisis ayak dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran agregat kasar dan menghitung nilai modulus kehalusan (FM). Hasil analisis ayak disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Analisa Ayak Agregat Kasar

No. Saringan	Lubang Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	%Berat Tertahan	% Berat Tertahan Kumulatif	% Lolos Kumulatif	Spec (1/2 in)
3/4"	19	0	0	0	100	-
1/2"	12,5	109,4	5,46	5,46	94,54	100 %
3/8"	9,5	575,5	28,73	34,19	65,81	90 - 100 %
No.4	4,75	1097,5	54,78	88,97	11,03	-
No.8	2,36	139,6	6,97	95,94	4,06	0 - 55%
No.16	1,18	65	3,24	99,19	0,81	0 - 10%
No.30	0,6	2,1	0,10	99,29	0,71	0 - 5%
No.50	0,3	1,5	0,07	99,37	0,63	-
No.100	0,15	3,7	0,18	99,55	0,45	-
No.200	0,075	1	0,05	99,60	0,40	-
Pan		8	0,40	100,00	0,00	-
Jumlah		2003,3	100,00	821,56		

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026



Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Agregat Kasar

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Perhitungan Modulus Kehalusan (FM) Agregat Kasar:

$$FM = \frac{\Sigma \% \text{ berat tertahan kumulatif di atas ayakan } 0,15 \text{ dan kelipatannya}}{100}$$

$$FM = \frac{(5,46+34,19+88,97+95,94+99,19+99,29+99,37+99,55)-5,46}{100} = 6,16$$

Berdasarkan **Tabel 4.3** hasil analisis ayakan terhadap agregat kasar menunjukkan bahwa distribusi butirannya sesuai dengan batas presentase lolos untuk ukuran maksimum 20 mm yaitu berada dalam kisaran 6,0 – 7,0 sesuai dengan (SII No.52 Tahun 1980, 1980). Nilai angka kehalusan yang diperoleh adalah 6,16. Gambar 4.1 gradasi agregat kasar berada dalam rentang grafik zona gradasi untuk ukuran maksimum 25 mm, sehingga nilai kehalusannya memenuhi ketentuan yang disyaratkan dan dapat digunakan dalam campuran beton.

4) Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian kadar air agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-1971-2011 dengan tiga sampel. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Kadar Air Agregat Kasar

Pengukuran	Notasi	Satuan	Sampel		
			I	II	III
Berat Talam	W1	gram	282	285	283
Berat Talam + Agregat	W2	gram	1782,6	1785,1	1783,4
Berat Agregat Asli	A	gram	1500,6	1500,1	1500,4
Berat Talam + Agr. Kering Oven	W3	gram	1760	1771	1765
Berat Agr. Kering oven	B	gram	1478	1486	1482
Kadar Air		%	1,53	0,95	1,24
Kadar Air Rata - rata		%	1,24		

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

$$\text{Perhitungan Kadar Air Agregat Kasar} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

- Sampel 1 = $\frac{1500,6-1478}{1478} \times 100 = 1,53\%$
- Sampel 2 = $\frac{1500,1-1486}{1486} \times 100 = 0,95\%$
- Sampel 3 = $\frac{1500,4-1482}{1482} \times 100 = 1,24\%$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Persentase rata-rata ketiga sampel adalah **1,24%**

Kadar air rata-rata agregat kasar diperoleh sebesar 1,24%. Mengacu pada SNI 03-1971-2011, kisaran kadar air yang diperkenankan untuk agregat kasar berada antara 0,5% hingga 2%. Dengan demikian, kadar air agregat kasar yang digunakan memenuhi ketentuan yang disyaratkan dan nilai ini lebih kecil dari nilai penyerapan agregat kasar sebesar 3,074%, yang menunjukkan bahwa agregat kasar berada dalam kondisi kering.

5) Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengujian kadar lumpur agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-4142-1996. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengukuran	No tasi	Sat uan	Sampel		
			I	II	III
Berat Benda Uji Kering Oven	W 1	gra m	10 03	100 8	101 2
Berat Benda Uji Setelah Pencucian	W 2	gra m	99 8, 5	100 1,9	100 4,1
Kadar Lumpur		%	0, 42 9	0,6 05	0,8 00
Kadar Lumpur Rata Rata		%	0,611		

Sumber: Data Hasil Peneletian, 2026

$$\text{Perhitungan Lumpur Agregat Kasar} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

- Sampel 1 = $\frac{1003 - 998,5}{1003} \times 100\% = 0,429\%$
- Sampel 2 = $\frac{1008 - 1001,9}{1008} \times 100\% = 0,605\%$
- Sampel 3 = $\frac{1012 - 1004,1}{1012} \times 100\% = 0,800\%$

Presentase kadar lumpur dari ketiga sampel adalah **0,611%**

Kadar lumpur rata-rata agregat kasar diperoleh sebesar 0,61%. SNI 03-4142-1996 menetapkan bahwa kadar lumpur maksimum untuk agregat kasar adalah 1%. Dengan demikian, kadar lumpur agregat kasar yang diperoleh memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

4.1.2 Data Semen Hidraulis

Karakteristik semen hidraulis mengacu pada data teknis yang tercantum dalam katalog resmi Semen Tiga Roda, yang telah memenuhi standar SNI 8912-2020

4.1.3 Pengujian Agregat Halus

1) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus

Berikut merupakan data pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus.

Tabel 4. 6 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus

Pengujian	Notasi	Satuan	Sampel			Rata-rata
			I	II	III	
Berat Benda Uji Kondisi SSD	W1	gram	504	504	503	504
Berat Piknometer + Air + Benda Uji	W2	gram	1563	1635	1599	1599
Berat Benda Uji Kering Oven	W3	gram	500	502	501	501
Berat Piknometer + Air	W4	gram	1256	1314	1327	1299
Hasil Perhitungan						
Berat Jenis	Sd		2,542	2,746	2,167	2,485
Berat Jenis SSD	Ss		2,562	2,760	2,177	2,500
Berat Jenis Semu	Sa		2,593	2,785	2,190	2,523
Penyerapan Air	Sw	%	0,780	0,499	0,500	0,593

Dari data pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai:

$$\text{Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)} = \frac{W3}{(W4+W1)-W2} \text{ Sumber: Data Hasil Penelitian, 2026}$$

- Sampel 1 = $S_d = \frac{W3}{(W4+W1)-W2} = \frac{500}{(1256+504)-1563} = 2,542$
- Sampel 2 = $S_d = \frac{W3}{(W4+W1)-W2} = \frac{502}{(1314+504)-1635} = 2,746$
- Sampel 3 = $S_d = \frac{W3}{(W4+W1)-W2} = \frac{501}{(1327+503)-1599} = 2,167$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Nilai rata-rata dari ketiga sampel adalah **2,485**

$$\text{Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)} = \frac{W_1}{(W_4+W_1)-W_2}$$

- Sampel 1 = $S_s = \frac{W_1}{(W_4+W_1)-W_2} = \frac{504}{(1256+504)-1563} = 2,562$
- Sampel 2 = $S_s = \frac{W_1}{(W_4+W_1)-W_2} = \frac{504}{(1314+504)-1653} = 2,760$
- Sampel 3 = $S_s = \frac{W_1}{(W_4+W_1)-W_2} = \frac{503}{(1327+503)-1599} = 2,177$

Nilai rata-rata dari ketiga sampel adalah **2,500**

$$\text{Berat Jenis Semu (Apparent Surface Dry)} = \frac{W_3}{(W_4+W_3)-W_2}$$

- Sampel 1 = $S_a = \frac{W_3}{(W_4+W_3)-W_2} = \frac{500}{(1256+500)-1563} = 2,593$
- Sampel 2 = $S_a = \frac{W_3}{(W_4+W_3)-W_2} = \frac{502}{(1314+502)-1635} = 2,785$
- Sampel 3 = $S_a = \frac{W_3}{(W_4+W_3)-W_2} = \frac{501}{(1327+501)-1599} = 2,190$

Nilai rata-rata dari ketiga sampel adalah **2,523**

$$\text{Penyerapan Air (Absorption)} = \frac{(W_1-W_3)}{W_3} \times 100\%$$

- Sampel 1 = $S_w = \frac{(W_1-W_3)}{W_3} \times 100\% = \frac{(504-500)}{500} \times 100\% = 0,780\%$
- Sampel 2 = $S_w = \frac{(W_1-W_3)}{W_3} \times 100\% = \frac{(504-502)}{502} \times 100\% = 0,499\%$
- Sampel 3 = $S_w = \frac{(W_1-W_3)}{W_3} \times 100\% = \frac{(503-501)}{501} \times 100\% = 0,500\%$

Nilai rata-rata dari ketiga sampel adalah **0,59%**

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata berat jenis agregat halus sebesar 2,485, berat jenis kering permukaan (SSD) sebesar 2,500, dan berat jenis semu sebesar 2,523. Menurut (SNI 1970-2008), agregat untuk campuran beton disyaratkan memiliki nilai berat jenis antara 2,3 hingga 2,6, sehingga nilai yang diperoleh memenuhi syarat.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Menurut (SNI-03-2834, 2000) agregat halus dengan nilai penyerapan air kurang dari 3% termasuk dalam kategori mutu yang layak digunakan untuk beton structural. Nilai penyerapan air agregat halus sebesar 0,593% sehingga memenuhi syarat dan dapat digunakan pada campuran beton

2) Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Halus

Berikut merupakan hasil pengujian berat isi dan rongga udara pada agregat halus, yang mencakup pengujian berat isi dalam kondisi lepas dan dalam kondisi padat

Tabel 4. 7 Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Halus

Pengukuran	Notasi	Satuan	Lepas			Padat		
			Sampel			Sampel		
			I	II	III	I	II	III
Berat Tabung Silinder	A	kg		3,268			3,268	
Volume Air Pada Tabung	V	m ³		0,0039			0,0039	
Berat Tabung + Agregat	E	kg	8,022	7,882	7,924	8,473	8,599	8,284
Berat Asli Agregat	F	kg	4,754	4,614	4,656	5,205	5,331	5,016
Berat Isi Lepas	M	kg/m ³	1.231	1.195	1.206	1.348	1.380	1.299
Berat Isi Lepas Rata - Rata		kg/m³		1.210,426			1.342,31	
Rongga Udara		%		51,19%			45,87%	

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

Berat Isi Lepas (M)

- Sampel 1 = $\frac{F}{V} = \frac{4,753}{0,0039} = 1,231$
- Sampel 2 = $\frac{F}{V} = \frac{4,614}{0,0039} = 1,195$
- Sampel 3 = $\frac{F}{V} = \frac{4,656}{0,0039} = 1,206$

Nilai rata-rata dari ketiga sampel adalah **1.210,426**

Perhitungan Rongga Udara (%)

- Voids = $\frac{[(S \times W) - M] \times 100}{(S \times W)} = \frac{[(2,485 \times 998) - 1,210,426] \times 100}{(2,485 \times 998)} = 51,19\%$

Berat Isi Padat

- Sampel 1 = $\frac{F}{V} = \frac{5,025}{0,0039} = 1,348$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Sampel 2 = $\frac{F}{V} = \frac{5,331}{0,0039} = 1,380$
- Sampel 3 = $\frac{F}{V} = \frac{5,061}{0,0039} = 1,299$

Perhitungan Rongga Udara (%)

- Voids = $\frac{[(S \times W) - M] \times 100}{(S \times W)} = \frac{[(2,485 \times 998) - 1,342,31] \times 100}{(2,485 \times 998)} = 45,87\%$

Bobot isi lepas rata-rata 1210,43 kg/m³ dan bobot isi padat 1342,31 kg/m³, keduanya berada pada rentang 1200–1700 kg/m³ (SNI 03-1971, 2008) sehingga memenuhi persyaratan.

3) Pengujian Analisa Ayak Agregat Halus

Dari pengujian analisa ayak yang telah dilakukan, didapatkan data pengujian sebagai berikut.

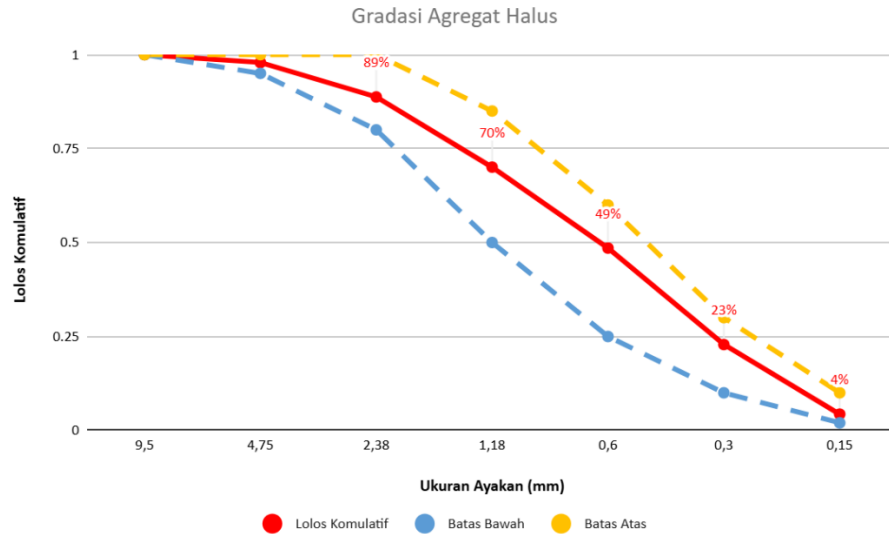
Tabel 4. 8 Data Hasil Pengujian Berat Isi Padat pada Agregat Halus

No. Saringan	Lubang Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	% Berat Tertahan	% Berat Tertahan Kumulatif	% Lolos Kumulatif
3/4"	9,5				100
1/2"	4,75	20,85	2,09	2,09	97,91
3/8"	2,38	91,6	9,16	11,25	88,75
No.4	1,18	187,1	18,71	29,96	70,04
No.8	0,6	215,2	21,52	51,48	48,52
No.30	0,3	256,7	25,67	77,15	22,85
No.50	0,15	185,6	18,56	95,71	4,29
Pan		42,9	4,29	100,00	
Jumlah		999,95	100,00	267,62	

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2026

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Agregat Halus

Sumber: Data Hasil Penelitian, 2026

Berdasarkan **Gambar 4.2**, seluruh nilai lolos kumulatif agregat halus berada dalam rentang Gradasi No. 2. Oleh karena itu, agregat halus yang digunakan termasuk kategori pasir sedang dan dinyatakan memenuhi syarat sebagai bahan penyusun beton.

Perhitungan Modulus Kehalusan (FM) Agregat Halus:

$$FM = \frac{\sum \% \text{ berat tertahan kumulatif di atas ayakan } 0,15 \text{ dan kelipatannya}}{100}$$

$$FM = \frac{6,55 + 19,52 + 36,74 + 53,26 + 79,18 + 90,57 + 100}{100} = 2,68\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai modulus kehalusan agregat halus sebesar 2,68 Rentang nilai yang disyaratkan untuk agregat halus adalah antara 1,5 hingga 3,8 sesuai dengan (SII No.52 Tahun 1980, 1980). Dengan demikian, nilai tersebut telah memenuhi ketentuan standar dan layak digunakan dalam campuran beton. Gambar 4.2 gradasi agregat kasar berada dalam rentang grafik zona gradasi untuk ukuran maksimum 20 mm, sehingga nilai kehalusannya memenuhi ketentuan yang disyaratkan dan dapat digunakan dalam campuran beton.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4) Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Dari pengujian kadar air yang telah dilakukan, didapatkan data pengujian sebagai berikut.

Tabel 4. 9 Data Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Halus

Pengukuran	Notasi	Satuan	Sampel		
			I	II	III
Berat Talam	W1	gram	286	285	284
Berat Talam + Agregat	W2	gram	786	785	784
Berat Agregat Asli	A	gram	500	500	500
Berat Talam + Agr. Kering Oven	W3	gram	778	767	774
Berat Agr. Kering oven	B	gram	492	482	490
Kadar Air		%	1,63	3,73	2,04
Kadar Air Rata - rata		%		2,47	

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

$$\text{Perhitungan Kadar Air Agregat} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

$$\text{- Sampel 1} = \frac{500-492}{492} \times 100\% = 1,63\%$$

$$\text{- Sampel 2} = \frac{500-482}{482} \times 100\% = 3,73\%$$

$$\text{- Sampel 3} = \frac{500-490}{490} \times 100\% = 2,04\%$$

Persentase rata-rata ketiga sampel adalah **2,47%**

Kadar air rata-rata agregat halus 2,47%. Mengacu pada SNI 1971-2011, rentang kadar air yang diperkenankan untuk agregat halus adalah 2%–8%, sehingga kadar air yang diperoleh memenuhi ketentuan.

5) Kadar Lumpur Agregat Halus

Dari pengujian kadar lumpur agregat halus yang telah dilakukan, didapatkan data pengujian sebagai berikut.

Tabel 4. 10 Data Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengukuran	Notasi	Satuan	Sampel		
			I	II	III
Berat Benda Uji Kering Oven	W1	gram	500	500	500
Berat Benda Uji Setelah Pencucian	W2	gram	486	491	488
Kadar Lumpur		%	2,80	1,80	2,40
Kadar Lumpur Rata Rata		%	2,33		

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

$$\text{Perhitungan Lumpur Agregat Kasar} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

- Sampel 1 = $\frac{500-486}{500} \times 100 = 2,80\%$
- Sampel 2 = $\frac{500-491}{500} \times 100 = 1,80\%$
- Sampel 3 = $\frac{500-488}{500} \times 100 = 2,40\%$

Presentase rata-rata dari ketiga sampel adalah **2,33%**

Kadar lumpur rata-rata agregat halus diperoleh sebesar 2,33%. Mengacu pada SNI 03-6820-2002, batas maksimum kadar lumpur yang diperkenankan untuk agregat halus adalah 5%. Dengan demikian, kadar lumpur agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2 Perancangan Campuran Beton (*Mix Design* ACI 211.4R)

Perancangan campuran beton mutu tinggi dalam penelitian ini mengacu pada ACI 211.4R – *Standard Practice for Selecting Proportions for High-Strength Concrete*. Metode ini dipilih karena secara khusus dirancang untuk beton dengan kuat tekan rencana di atas 41 MPa (6.000 psi), yang sesuai dengan target $f'_c = 55$ MPa pada penelitian ini.

4.2.1 Data Perencanaan

Data-data yang digunakan dalam perancangan campuran adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 11 *Mix Design*

Parameter	Nilai
Mutu Beton Rencana (f'_c)	55 MPa = $55 \times 145,038 = 7977,09$ psi
F'_{cr}	$(1,1 \times 7977,09) + 700 = 9474,799$ psi = 65,32 Mpa
Nilai Slump Rencana With HRWR	25 – 50 mm / 1 – 2 inch
Nilai Slump Rencana Without HRWR	50 – 100 mm / 2 – 3 inch
Ukuran Agregat Kasar Maksimum	12,5 mm

Sumber: Data Penelitian, 2026

Data pengujian bahan penyusun beton untuk rancangan campuran beton (*mix design*) ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 12 Data Pengujian Bahan

Pengukuran	Satuan	Agregat Halus	Agregat Kasar
Modulus Kehalusan	%	2,68%	6,16%
Berat Jenis SSD	gram	2,50	2,59
Penyerapan Air	%	0,59	2,21
Kadar Air	%	2,47	1,24
Kadar Lumpur	%	2,33	0,611

Sumber: Data Penelitian, 2026

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.2 Pemilihan Nilai Slump

Pada penelitian ini nilai slump yang ditargetkan dalam penelitian ini adalah 25 - 50 mm untuk with HRWR dan 5-100 mm untuk without HRWR . Untuk nilai slump yang disyaratkan ACI 211.4R-08 (*High Strength Concrete*) dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4. 13 Data Pemilihan Nilai Slump

<i>Concrete made using HRWRA</i>	
<i>Slump before adding HRWRA</i>	25 -50 mm
<i>Concrete made without HRWRA</i>	
<i>Slump</i>	50 - 100 mm

Sumber: ACI 211.4R-08

4.2.3 Pemilihan Ukuran Butir Agregat Maksimum

Pada penelitian ini digunakan ukuran butir agregat kasar maksimum sebesar 12,5 mm.

Tabel 4. 14 Data Pemilihan Butir Agrgegat Kasar

<i>Required concrete strength, Mpa</i>	<i>Suggested maximum-size coarse aggregate, mm.</i>
<62,05 Mpa	19,05 – 25 mm
>62,05 Mpa	9,5 - 12,5 mm*

Sumber: ACI 211.4R-08

Saat menggunakan HRWRA dan agregat kasar terpilih, kekuatan tekan beton dalam kisaran 62,05 hingga 82,7 MPa dapat dicapai dengan menggunakan agregat kasar berukuran lebih besar dari ukuran maksimum nominal yang direkomendasikan, hingga 25 mm.

4.2.4 Perkiraan Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton

Tabel 4. 15 Perkiraan Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton

Kandungan agregat kasar optimum untuk ukuran maksimum nominal agregat yang akan digunakan dengan agregat halus dengan modulus kehalusan 2,5 hingga 3,2				
Ukuran maksimum nominal, mm	9,5	12,5	19,05	25
Volume fraksional* agregat kasar yang dikeringkan dalam oven dan dipadatkan (VCA)	0.65	0.68	0.72	0.75

Sumber: ACI 211.4R-08

*Volume didasarkan pada agregat dalam kondisi kering oven dan dipadatkan seperti yang dijelaskan dalam ASTM C29/C29M untuk massa satuan atau densitas curah agregat.

4.2.5 Menghitung Massa Kering Agregat Kasar per Yard kubik (Wdry)

Nilai massa kering agregat kasar per yard kubik dihitung menggunakan rumus yang tertera dibawah ini. Berdasarkan rumus tersebut didapatkan nilai Wdry sebesar 1768, 89 lb.

$$\text{Mass of coarse aggregate} = \text{VCA} \times \text{bulk density} \times 27$$

Keterangan:

$$1 \text{ Yard} = 27 \text{ ft}^3$$

$$\text{VCA (kadar agregat optimum)} = 0,68$$

$$\text{Bulk density (berat isi agr kasar)} = 1543,3 \text{ kg/m}^3$$

$$= 96,34 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Wdry} = \text{VCA} \times \text{bulk density} \times 27$$

$$= 0,68 \times 96,34 \times 27$$

$$= 1768, 89 \text{ lb}$$

4.2.6 Menghitung Kandungan Rongga Agregat Halus (V)

Nilai rongga agregat halus dihitung menggunakan rumus yang tertera dibawah ini. Berdasarkan rumus tersebut didapatkan nilai V sebesar 46,30 %.

$$\text{Void content } C, \% = \left(1 - \frac{\text{bulk density}}{\text{relative density} \times 62,4} \right) \times 100$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Keterangan:

$$\text{Relative density (Berat Jenis Agr Halus)} = 2,50$$

$$\text{Berat Isi Air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$= 62,4 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Bulk density (berat isi agr halus)} = 1342,31 \text{ kg/m}^3$$

$$= 83,80 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Rongga Agregat Halus (V),\%} = \left(1 - \frac{\text{bulk density}}{\text{relative density} \times 62,4}\right) \times 100$$

$$= \left(1 - \frac{83,80}{2,50 \times 62,4}\right) \times 100$$

$$= 46,30 \%$$

4.2.7 Menghitung Penyesuaian Pencampuran Air

Ketika agregat halus dengan kandungan rongga selain 35%, maka akan dilakukan penyesuaian pencampuran air. Nilai penyesuaian pencampuran air dihitung menggunakan rumus yang tertera dibawah ini. Dari rumus tersebut menghasilkan penyesuaian air sebesar 8 lb/yd³ setiap 1% penyimpangan dari kandungan rongga 35 %. Maka didapatkan nilai penyesuain air sebesar 90,41 lb/yd³

$$\text{Mixing water adjustment, } \frac{\text{lb}}{\text{yd}^3} = (V - 35) \times 8$$

$$\text{Mixing water adjustment, } \frac{\text{lb}}{\text{yd}^3} = (46,30 - 35) \times 8$$

$$\text{Mixing water adjustment, } \frac{\text{lb}}{\text{yd}^3} = 90,41$$

4.2.8 Perkiraan Air Pencampuran Dan Kandungan Udara Beton Segar

Tabel 4. 16 Data Perkiraan Air Campuran dan Kandungan Udara Pada Beton Segar

Slump, in.	Mixing water, lb/yd ³ *			
	Maximum-size coarse aggregate, in.			
	3/8	1/2	3/4	1
1 to 2	310	295	285	280
2 to 3	320	310	295	290
3 to 4	330	320	305	300
Entrapped air content	3 (2.5) [†]	2.5 (2.0) [†]	2 (1.5) [†]	1.5 (1.0) [†]

Sumber: Data Penelitian, 2026

Berdasarkan pedoman *American Concrete Institute* (ACI), Tabel 4.16 digunakan untuk memperkirakan kebutuhan air pencampuran (*mixing water*) dan kandungan udara terperangkap (*entrapped air content*) pada beton segar. Penentuan nilai tersebut didasarkan pada target *slump* dan ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan dalam campuran. Tabel ini disusun dengan asumsi bahwa agregat halus memiliki nilai rongga (*voids*) sebesar 46,30%. Apabila hasil pengujian menunjukkan nilai rongga agregat halus berbeda dari asumsi tersebut, maka kebutuhan air pencampuran perlu dikoreksi menggunakan persamaan yang disajikan pada persamaan berikut.

$$\text{Void content } V, \% = \left(1 - \frac{\text{bulk density}}{\text{relative density} \times 62.4} \right) \times 100 \quad (6-2)$$

$$\text{Penyesuaian air pencampuran, lb/yd}^3 = (V - 35) \times 8 \quad (6-3)$$

Pada Tabel 4.16, perhitungan dilakukan dengan menggunakan agregat kasar berukuran maksimum ½ inci. Untuk campuran beton yang menggunakan High Range Water Reducing Admixture (HRWRA) dengan target *slump* 1–2 inci, diperoleh kebutuhan air pencampuran (*mixing water*) sebesar 295 lb/yd³. Sementara itu, pada campuran tanpa HRWRA dengan target *slump* 2–4 inci, kebutuhan air pencampuran meningkat menjadi 320 lb/yd³. Selain kebutuhan air, tabel tersebut juga menunjukkan kandungan udara terperangkap (*entrapped air content*), yaitu sebesar 2,0% untuk campuran dengan HRWRA dan 2,5% untuk campuran tanpa HRWRA.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.9 Pemilihan Rasio Air – Semen Maksimum Untuk Beton Mutu Tinggi

Tabel 4. 17 Hubungan Antara Rasio Air-Semen (W/C) Dan Kekuatan Beton

Required average compressive strength f'_c *, Mpa	w/cm							
	Maximum-size coarse aggregate, in.							
		3/8	1/2	3/4	1			
		with HRWRA	without HRWRA	with HRWRA	without HRWRA	with HRWRA	without HRWRA	with HRWRA
48,26	28-day	0.50	0.42	0.48	0.41	0.45	0.40	0.43
	56-day	0.55	0.46	0.52	0.45	0.48	0.44	0.46
55,15	28-day	0.44	0.35	0.42	0.34	0.40	0.33	0.38
	56-day	0.48	0.38	0.45	0.37	0.42	0.36	0.40
62,05	28-day	0.38	0.30	0.36	0.29	0.35	0.29	0.34
	56-day	0.42	0.33	0.39	0.32	0.37	0.31	0.36
68,94	28-day	0.33	0.26	0.32	0.26	0.31	0.25	0.30
	56-day	0.37	0.29	0.35	0.28	0.33	0.27	0.32
75,84	28-day	0.30	—	0.29	—	0.27	—	0.27
	56-day	0.33	—	0.31	—	0.29	—	0.29
82,73	28-day	0.27	—	0.26	—	0.25	—	0.25
	56-day	0.30	—	0.28	—	0.27	—	0.26

Sumber:ACI 211.4R-08

$$*f'_c = 1,10f'_c + 4,82 \text{ mpa}$$

Nilai rasio air semen ditentukan pada **Tabel 4.17**. Berdasarkan tabel tersebut didapatkan informasi berupa rasio air semen ditentukan berdasarkan fcr dan ukuran agregat kasar yang dipakai. Dikarenakan tidak ada angka yang sama dengan fcr yang kita pakai yaitu sebesar 9474,8 psi, maka diharuskan perhitungan menggunakan interpolasi dari angka yang sudah ditandai pada **Tabel 4.17** tersebut. Dari angka yang sudah didapatkan dari tabel tersebut maka hasil interpolasi yang didapat untuk beton menggunakan *admixture* sebesar 0,341 dan untuk beton tanpa menggunakan *admixture* sebesar 0,276.

Perhitungan Interpolasi:

1) Beton Menggunakan *Admixture*

Titik 1(X1,Y1) : fcr = 9000, fas = 0,36

Titik 2(X2,Y2) : fcr = 10000, fas = 0,32

Nilai dicari (X) : Fcr = 9474,8

$$y = y1 + \frac{x-x1}{x2-x1} x (y2 - y1)$$

$$y = 0,29 + \frac{9474,8 - 9000}{10000 - 9000} x (0,32 - 0,36)$$

$$y = 0,341$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2) Beton tanpa Menggunakan *Admixture*

Titik 1(X1,Y1) : fcr = 9000, fas = 0,29

Titik 2(X2,Y2) : fcr = 10000, fas = 0,26

Nilai dicari (X) : Fcr = 9474,8

$$y = y1 + \frac{x - x1}{x2 - x1} x (y2 - y1)$$

$$y = 0,29 + \frac{9474,8 - 9000}{10000 - 9000} x (0,26 - 0,29)$$

$$y = 0,276$$

4.2.10 Menghitung Perkiraan Kadar Semen

Setelah nilai rasio air-semen (*w/cm*) diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung kadar semen yang digunakan. Perhitungan kadar semen dilakukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Kadar Semen} = \frac{\text{Kebutuhan Air}}{\text{Rasio Air Semen}}$$

Berdasarkan rumus di atas maka kadar semen di bagi menjadi dua, yaitu kadar semen beton menggunakan *admixture* dan beton tanpa *admixture*. Berikut perhitungan dari kadar semen yang diperlukan

Maka,

$$\text{Kadar Air Semen Without HRWRA} = \frac{410,41}{0,272} = 1488,32 \text{ lb} = 882,98 \text{ Kg}$$

$$\text{Kadar Air Semen With HRWRA} = \frac{385,41}{0,341} = 1130,22 \text{ lb} = 670,53 \text{ Kg}$$

4.2.11 Menghitung Perkiraan Kadar Agregat Halus

Untuk mendapatkan perkiraan kadar agregat halus dibutuhkan Total Volume Per Satuan Beton dan dikonversikan dengan data berat jenis agregat halus agar dapat memperkirakan berat agregat halus 1 m³ beton.

Tabel 4. 18 Data Perkiraan Kadar Agregat Halus Tanpa HRWR

Semen	7,67	ft ³
Agregat Kasar	10,94	ft ³
Air	6,57	ft ³
Udara	0,68	ft ³
Volume Total	25,86	ft ³

Sumber: Data Penelitian, 2026

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 19 Data Perkiraan Kadar Agregat Halus Menggunakan HRWR

Semen	5,82	ft ³
Agregat Kasar	10,94	ft ³
Air	6,17	ft ³
Udara	0,54	ft ³
Volume Total	23,48	ft ³

Sumber: Data Penelitian, 2026

Berdasarkan Tabel 4.19 Data Diatas Total Volume adalah 25,86 ft³

Sehingga :

$$= \frac{\text{berat semen without admixture}}{\text{BJ semen} \times \text{berat isi air}} = \frac{1488,32}{3,11 \times 62,4} = 7,67 \text{ ft}^3$$

$$\text{Agregat Kasar} = \frac{\text{berat agr kasar}(W_{dry})}{\text{BJ agr kasar} \times \text{berat isi air}} = \frac{1768,89}{2,59 \times 62,4} = 10,94 \text{ ft}^3$$

$$= \frac{\text{kebutuhan air without admixture}}{\text{berat isi air}} = \frac{410,41}{62,4} = 6,57 \text{ ft}^3$$

$$\text{Udara} = \text{udara terjebak\%} \times 27 = 2,5\% \times 27 = 0,68 \text{ ft}^3$$

$$\text{Total Volume} = \text{semen} + \text{agr kasar} + \text{air} + \text{udara} = 25,86 \text{ ft}^3$$

Maka Berat Agregat Halus = $27 - V_{total} = 27 - 25,76 = 1,24 \text{ ft}^3$, Maka

$$\begin{aligned} \text{Agregat Halus} &= V_{agr halus} \times \text{berat isi air} \times \text{BJ agr halus} = 1,14 \times 62,4 \times 2,5 \\ &= 178,12 \text{ lb/yd}^3 = 105,67 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Maka diperoleh data volume per yd³ tanpa HRWRA berikut

Tabel 4. 20 Data Proporsi Campuran Dasar Tanpa HRWRA

Semen	7,67	ft ³
Agregat Kasar	10,94	ft ³
Air	6,57	ft ³
Udara	0,68	ft ³
Volume Total	25,76	ft ³
Agregat Halus	1,14	ft ³
Konversi Masa Agregat Halus	178,12	lb

Sumber: Data Penelitian, 2026

Maka diperoleh data volume per yd³ atau kg tanpa HRWRA berikut

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 21 Data Total Proporsi Campuran Dasar Tanpa HRWRA

Bahan – Bahan	Jumlah	Satuan	Jumlah	Satuan
Total Semen	1488,32	lb	882,92	kg
Total Agregat Kasar	1768,89	lb	1049,44	kg
Total Agregat Halus	178,12	lb	105,67	kg
Total Air	410,41	lb	243,49	kg

Sumber: Data Penelitian, 2026

Perkiraan 1 m3 Beton Tanpa HRWRA Setelah Dikoreksi

Tabel 4. 22 Data Proporsi 1 m3 Tanpa HRWRA Setelah Dikoreksi

	Dry Masses	Batch Weight	
Semen	882,98	882,98	kg
Kerikil	1049,44	1062,45	kg
Pasir	105,67	108,28	kg
Air	243,49	251,68	kg

Sumber: Data Penelitian, 2026

Berdasarkan Tabel 4.22 Data Diatas Total Volume adalah 20,51 ft³

Sehingga :

$$\text{Semen} = \frac{\text{berat semen with admixture}}{\text{BJ semen} \times \text{berat isi air}} = \frac{1130,22}{3,11 \times 62,4} = 5,82 \text{ ft}^3$$

$$\text{Agregat Kasar} = \frac{\text{berat agr kasar}(W_{dry})}{\text{BJ agr kasar} \times \text{berat isi air}} = \frac{1768,89}{2,59 \times 62,4} = 10,94 \text{ ft}^3$$

$$\text{Air} = \frac{\text{kebutuhan air with admixture}}{\text{berat isi air}} = \frac{385,41}{62,4} = 6,17 \text{ ft}^3$$

$$\text{Udara} = \text{udara terjebak\%} \times 27 = 2\% \times 27 = 0,54 \text{ ft}^3$$

$$\text{Total} = \text{semen} + \text{agr kasar} + \text{air} + \text{udara} = 23,48 \text{ ft}^3$$

$$\text{Berat Agregat Halus} = 27 - V_{total} = 27 - 23,40 = 3,52 \text{ ft}^3, \text{ Maka}$$

$$\text{Masa Agregat Halus} = V_{agr halus} \times \text{berat isi air} \times \text{BJ agr halus} = 3,60 \times 62,4 \times 2,5$$

$$549,51 \text{ lb/yd}^3 = 326,01 \text{ kg/m}^3$$

Maka diperoleh data volume per yd³ menggunakan HRWRA berikut

Tabel 4. 23 Data Proporsi Campuran Dasar Menggunakan HRWRA

Semen	5,82	ft3
Agregat Kasar	10,94	ft3
Air	6,17	ft3

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Udara	0,54	ft3
Volume Total	23,48	ft3
Agregat Halus	3,52	ft3
Konversi Masa Agregat Halus	549,51	lb

Sumber: Data Penelitian, 2026

Maka diperoleh data volume per yd atau kg menggunakan HRWRA berikut

Tabel 4. 24 Data Total Proporsi Campuran Dasar Menggunakan HRWRA

Bahan – Bahan	Jumlah	Satuan	Jumlah	Satuan
Total Semen	1130,22	lb	670,53	kg
Total Agregat Kasar	1768,89	lb	1049,44	kg
Total Agregat Halus	549,51	lb	326,01	kg
Total Air	385,41	lb	228,66	kg

Sumber: Data Penelitian, 2026

Perkiraan 1 m³ Beton Menggunakan HRWRA Setelah Dikoreksi

Tabel 4. 25 Data Proporsi 1 m³ Menggunakan HRWRA Setelah Dikoreksi

	Dry Masses	Batch Weight	
Semen	670,53	670,53	kg
Kerikil	1049,44	1062,45	kg
Pasir	326,01	334,06	kg
Air	228,66	232,72	kg

Sumber: Data Penelitian, 2026

Berdasarkan *American Concrete Institute*, perhitungan awal *mix design* dilakukan pada kondisi agregat kering oven (*oven dry condition*). Namun pada kondisi aktual di lapangan, agregat umumnya masih mengandung kadar air alami (*moisture content*). Oleh karena itu, diperlukan koreksi terhadap berat agregat dan jumlah air pencampuran agar proporsi campuran beton tetap sesuai dengan rancangan awal dan nilai *water-cementitious ratio* (w/cm) tidak berubah.

Koreksi dilakukan karena kadar air yang terkandung dalam agregat akan ikut menyumbang air pencampuran ke dalam beton. Apabila koreksi tidak dilakukan, maka jumlah air aktual dalam campuran dapat melebihi nilai rencana sehingga mempengaruhi *workability*, *slump*, dan kuat tekan beton.

4.2.12 Penyesuaian Proporsi Campuran

Berdasarkan hasil perhitungan rancangan campuran beton per 1 m³,

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

selanjutnya dapat ditentukan jumlah kebutuhan material yang digunakan untuk pembuatan benda uji di laboratorium.

Tabel 4. 26 Data Volume Benda Uji

Volume Benda Uji			
Volume Silinder	$\pi \times r^2 \times t = 3,15 \times 0,0752 \times 0,3$	0,0053	m ³
Volume Silinder Per Variasi	9 Silinder x Volume	0,048	m ³
Volume Balok	$p \times l \times t = 0,15 \times 0,15 \times 0,6$	0,0135	m ³
Volume Balok Pervariasi	3 Balok x Volume	0,0405	m ³

Berdasarkan perhitungan volume benda uji yang digunakan dalam penelitian, selanjutnya dapat dihitung kebutuhan material untuk masing-masing variasi campuran beton di laboratorium.

Tabel 4. 27 Proporsi Campuran per Variasi

Proporsi Campuran Per Variasi (kg)							
NO	Variasi	HC	FA	Kerikil	Pasir	Air	SP
1	HC 100%	77,87	-	93,70	10,36	22,18	-
2	HC 95% + FA 5%	73,98	3,89	93,70	10,36	22,18	-
3	HC 90% + FA 10%	70,08	7,79	93,70	10,36	22,18	-
4	HC 85% + FA 15%	66,19	11,68	93,70	10,36	22,18	-
5	HC 95% + FA 5% + SP 0,8% Berat Semen	56,18	2,96	93,70	30,08	20,51	0,47
6	HC 90% + FA 10% + SP 0,8% Berat Semen	53,22	5,91	93,70	30,08	20,51	0,47
7	HC 85% + FA 15% + SP 0,8% Berat Semen	50,26	8,87	93,70	30,08	20,51	0,47
8	Total Kebutuhan	447,78	41,10	655,88	131,69	150,25	1,42

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.28 menunjukkan proporsi campuran material beton untuk masing-masing variasi campuran yang digunakan dalam penelitian. Variasi campuran terdiri dari beton normal menggunakan Semen Hidraulis 100% tanpa penambahan *High Range Water Reducing Admixture* (HRWRA) sebagai kontrol, serta beton dengan substitusi sebagian semen menggunakan *Fly Ash* dan penambahan *superplasticizer* sebesar 0,8% terhadap berat semen. Perhitungan kebutuhan material dilakukan berdasarkan hasil *mix design* yang kemudian dikonversi ke kebutuhan bahan untuk pembuatan benda uji di laboratorium. Material yang digunakan meliputi semen hidraulis, *fly ash*, kerikil, pasir, air, dan *superplasticizer* (SP).

4.3 Analisis Data Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar dilakukan segera setelah pencampuran untuk mengevaluasi karakteristik beton sebelum mengeras. Parameter yang diuji meliputi nilai slump (*workability*) dan berat isi beton segar

4.3.1 Pengujian Slump

Berdasarkan hasil pengujian slump pada beton segar, diperoleh nilai *slump* untuk masing-masing variasi campuran sebagai berikut.

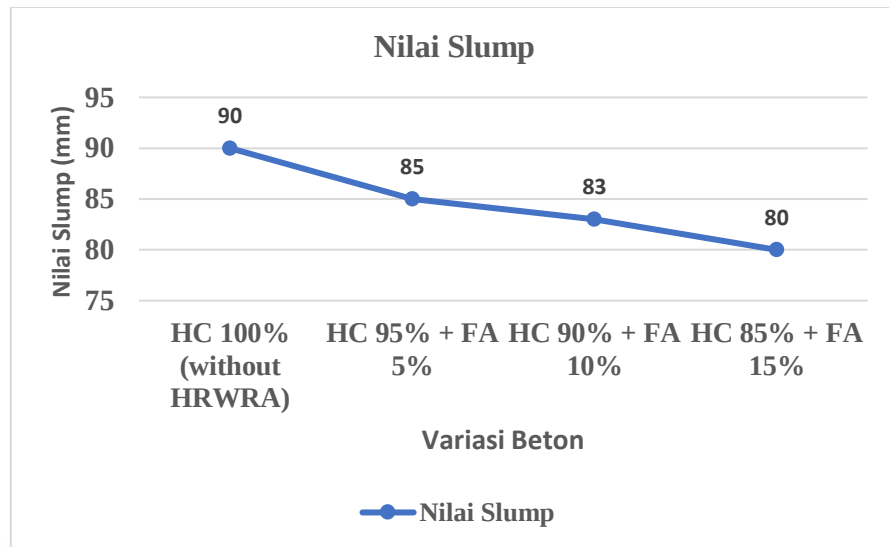
Tabel 4. 28 Hasil Pengujian *Slump* dan *Slump Flow* Beton Segar

N O	Variasi	Slump (mm)	Slump Rencana (mm)	Keterangan
1	HC 100%	90	50 -100	Memenuhi Syarat ACI 211.4R-08
2	HC 95% + FA 5%	85		
3	HC 90% + FA 10%	83		
4	HC 85% + FA 15%	80	550 – 850	Tidak Memenuhi Syarat ACI 211.4R-08 (25 – 50 mm)
5	HC 95% + FA 5% + SP 0,8% Berat Semen	790		
6	HC 90% + FA 10% + SP 0,8% Berat Semen	805		
7	HC 85% + FA 15% + SP 0,8% Berat Semen	818		

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

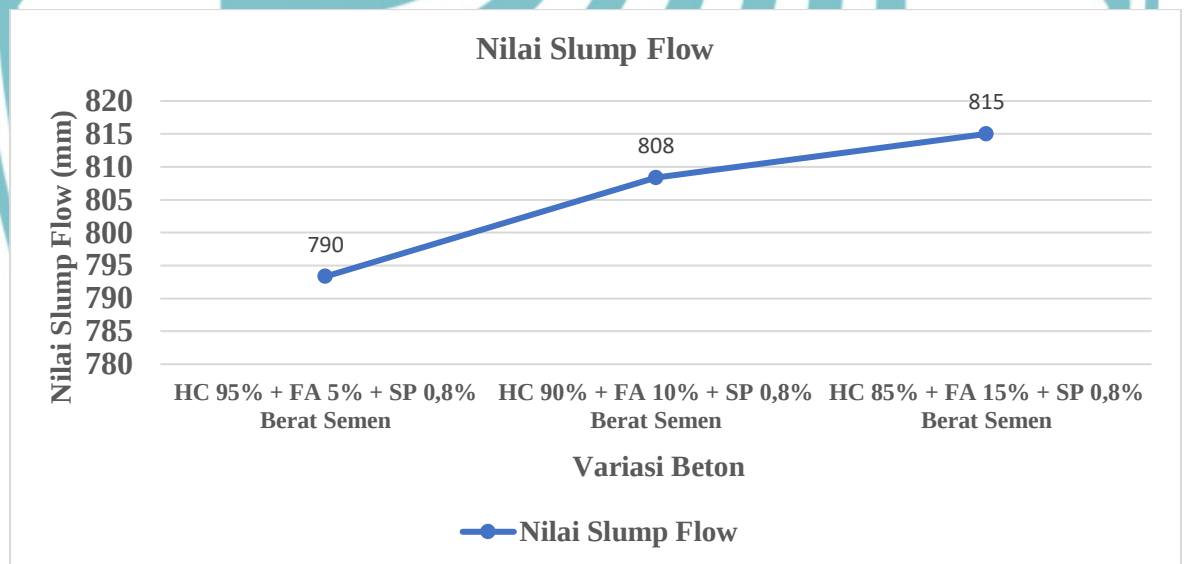
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 3 Hasil Grafik *Slump Test* Beton Segar tanpa *Admixture*

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026



Gambar 4. 4 Hasil Grafik *Slump Flow* Beton Segar dengan *Admixture*

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability* beton segar pada setiap variasi campuran. Hasil pengujian *slump* menunjukkan bahwa campuran beton kontrol (HC 100%) menghasilkan nilai *slump* sebesar 90 mm. Pada campuran dengan substitusi *fly ash* sebesar 5%, 10%, dan 15%, nilai *slump* berturut-turut menurun menjadi 85 mm, 83 mm, dan 80 mm.

Sementara itu, pada campuran yang menggunakan *superplasticizer* sebesar 0,8% dari berat semen, nilai *slump* yang diperoleh pada variasi HC 95% + FA 5%, HC 90% + FA 10%, dan HC 85% + FA 15% menggunakan metode

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

slump flow test. Metode ini dipilih karena adanya penambahan *superplasticizer* yang dapat memengaruhi *workability* serta memperbesar diameter penyebaran campuran beton segar. Mengacu pada BS EN 12350-8:2010, nilai *slump flow* yang digunakan berada pada kisaran 550–850 mm sehingga dapat di gunakan untuk elemen dengan tulangan rapat, bentuk kompleks, atau pengecoran sulit seperti pada table 4.29 berikut;

Tabel 4. 29 Klasifikasi yang digunakan bersama BS EN 12350-8

Kelas	Slump Flow (mm)	Implementasi
SF1	550–650 mm	Elemen tanpa atau sedikit tulangan
SF2	660–750 mm	Struktur bangunan umum
SF3	760–850 mm	Elemen dengan tulangan rapat, bentuk kompleks, atau pengecoran sulit

Sumber: <https://sl1nk.com/e0ppesc>

Untuk menganalisis pengaruh substitusi *fly ash* serta penambahan *hyperplasticizer* terhadap karakteristik beton segar berdasarkan hasil pengujian *slump test* dan *slump flow test*, dilakukan pengolahan data menggunakan aplikasi SPSS dengan metode regresi linear sederhana. Hasil analisis yang diperoleh disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. 30 *Coefficients Slump Test Beton Segar*

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	89.300	.794		.000
	VARIASI	-.640	.085	-.983	.017

a. Dependent Variable: NILAI SLUMP

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.30 diperoleh nilai konstanta regresi (a) sebesar 89,300 dan koefisien regresi (B) untuk variabel persentase *fly ash* sebesar -640. Dari hasil tersebut dapat dirumuskan persamaan regresi linear sebagai berikut.

$$Y = a + b x$$

$$Y = 89.300 - 640x$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Persamaan regresi tersebut menunjukkan bahwa nilai konstanta sebesar 89,300 merupakan nilai *slump* beton segar pada saat persentase *fly ash* sebesar 0%. Sedangkan nilai koefisien regresi sebesar -640 menunjukkan bahwa setiap penambahan kadar *fly ash* sebesar 1% dapat menurunkan nilai *slump* sebesar 640 mm.

Pada tabel di atas juga diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,017 < 0,05$, maka dapat disimpulkan bahwa variasi penggunaan *fly ash* berpengaruh signifikan terhadap nilai *slump* beton segar.

Tabel 4. 31 Model Summary Hasil Uji Slump Beton Segar

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.983 ^a	.966	.949	.949

a. Predictors: (Constant), VARIASI

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.31 Nilai koefisien determinasi (*R Square*) sebesar 0,966 menunjukkan bahwa 96,6% variasi nilai *slump* dapat dijelaskan oleh variasi penggunaan *fly ash* dalam model regresi yang digunakan. Sementara itu, 3,4% sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model penelitian, seperti kadar air efektif, karakteristik agregat, proses pencampuran, maupun kondisi pelaksanaan pengujian.

Tabel 4. 32 Coefficients Slump FlowBeton Segar

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	783.333		157.016	.004
	FA + SP 0,8%	2.200	.462	4.763	.132

a. Dependent Variable: SLUMP FLOW

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan hasil analisis regresi linear sederhana pada Tabel 4.31,

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

diperoleh nilai konstanta (*Constant*) sebesar 783,333 dan koefisien regresi variabel penggunaan *fly ash* dengan penambahan *superplasticizer* sebesar 2,200. Berdasarkan nilai tersebut, diperoleh persamaan regresi sebagai berikut:

$$Y = a + b x$$

$$Y = 783.333 + 2.200$$

Persamaan regresi tersebut menunjukkan bahwa nilai *slump flow* diperkirakan sebesar 783,333 mm ketika variasi penggunaan *fly ash* berada pada kondisi awal penelitian. Koefisien regresi sebesar 2,200 menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1% penggunaan *fly ash* dengan penambahan *superplasticizer* sebesar 0,8% dari berat semen akan meningkatkan nilai *slump flow* sebesar 2,200 mm. Koefisien regresi yang bernilai positif menunjukkan adanya hubungan searah antara variasi penggunaan *fly ash* dan nilai *slump flow*, sehingga semakin tinggi variasi *fly ash*, maka nilai *slump flow* cenderung meningkat.

Tabel 4. 33 Model Summary Hasil Uji Slump Flow Beton Segar

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.979 ^a	.958	.916	3.266

a. Predictors: (Constant), FA + SP 0,8%

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.32 Nilai koefisien determinasi (*R Square*) sebesar 0,958 menunjukkan bahwa 95,8% variasi nilai *slump* dapat dijelaskan oleh variasi penggunaan *fly ash* dalam model regresi yang digunakan. Sementara itu, 4,2% sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model penelitian, seperti kadar air efektif, karakteristik agregat, proses pencampuran, maupun kondisi pelaksanaan pengujian.

4.3.2 Pengujian Berat Isi

Berikut merupakan data hasil pengujian berat isi pada beton segar, didapatkan nilai berat isi tiap variasi sebagai berikut.

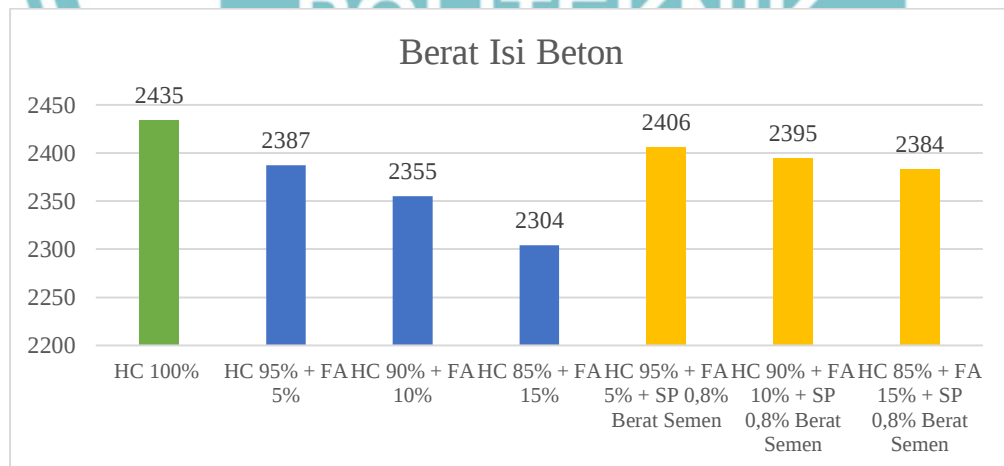
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 34 Hasil Pengujian Berat Isi Beton Segar

No	Variasi	Berat Cetakan Silinder (Kg)	Berat Cetakan Silinder + Air (Kg)	Volume Cetakan Silinder (m ³)	Berat Cetakan Silinder + Beton Segar (Kg)	Berat Beton (Kg)	Berat Isi Beton (Kg/m ³)
1	HC 100%	1,16	6,46	0,0053	14,06	12,90	2435
2	HC 95% + FA 5%	1,16	6,46	0,0053	13,81	12,65	2387
3	HC 90% + FA 10%	1,16	6,46	0,0053	13,64	12,48	2355
4	HC 85% + FA 15%	1,16	6,46	0,0053	13,37	12,21	2304
5	HC95% + FA 5% + SP 0,8% Berat Semen	1,16	6,46	0,0053	13,91	12,75	2406
6	HC 90% + FA 10% + SP 0,8% Berat Semen	1,16	6,46	0,0053	13,85	12,69	2395
7	HC 85% + FA 15% + SP 0,8% Berat Semen	1,16	6,46	0,0053	13,79	12,63	2384

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026



Gambar 4. 5 Grafik Berat Isi Beton Segar

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

Berdasarkan Gambar 4.7., menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar *fly ash* yang digunakan, maka berat isi beton cenderung mengalami penurunan. Beton kontrol (HC 100%) memiliki berat isi sebesar 2435 kg/m³, kemudian

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menurun menjadi 2387 kg/m³, 2355 kg/m³, dan 2304 kg/m³ pada variasi *fly ash* 5%, 10%, dan 15%. Penurunan tersebut terjadi karena *fly ash* memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan *hydraulic cement*, sehingga massa beton per satuan volume menjadi lebih kecil. Selain itu, hasil pengujian *slump* yang mengalami penurunan dari 90 mm menjadi 80 mm menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih kaku (*stiff*), sehingga proses pemadatan menjadi kurang optimal dan berpotensi meningkatkan rongga udara (*air void*) di dalam beton. Kondisi ini sejalan dengan penelitian (Awal et al., n.d.) yang menyatakan bahwa penggunaan *fly ash* memengaruhi *workability* beton segar serta menghasilkan beton yang lebih padat apabila proses pemadatan berlangsung dengan baik.

Pada campuran dengan penambahan *superplasticizer* sebesar 0,8% dari berat *hydraulic cement*, berat isi beton meningkat menjadi 2406 kg/m³, 2395 kg/m³, dan 2384 kg/m³. Hal ini menunjukkan bahwa *superplasticizer* mampu meningkatkan kelecakan (*workability*) sehingga proses pemadatan menjadi lebih baik dan menghasilkan beton yang lebih padat. Meskipun demikian, berat isi beton tetap menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya kadar *fly ash*, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh berat jenis *fly ash* tetap menjadi faktor dominan terhadap perubahan berat isi beton.

Pengaruh penggunaan variasi *fly ash* dan *superplasticizer* terhadap berat isi beton selanjutnya dianalisis menggunakan aplikasi SPSS dengan metode regresi linear, sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut

Tabel 4. 35 *Coefficients* Berat Isi Beton Segar

Coefficients ^a					
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	
Model		B	Std. Error	Beta	t
1	(Constant)	2420.500	14.545		166.409
	Variasi Fly Ash	-6.700	1.455	-.896	-4.606
	Penambahan Superplasticizer	51.875	18.924	.533	2.741
					Sig.

a. Dependent Variable: Berat Isi

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan hasil analisis regresi linear berganda pada Tabel 4.35, diperoleh nilai konstanta (*Constant*) sebesar 2420,500, koefisien regresi variasi *fly ash* sebesar -6,700, dan koefisien regresi penambahan *superplasticizer* sebesar 51,875. Berdasarkan nilai tersebut, diperoleh persamaan regresi sebagai berikut:

$$Y = b_0 - b_1X_1 + b_2X_2$$

$$Y = 2420,500 - 6,700X_1 + 51,875X_2$$

Nilai koefisien *fly ash* sebesar -6,700 menunjukkan bahwa setiap peningkatan penggunaan *fly* menunjukkan bahwa hubungan antara variasi *fly ash* dan berat isi beton bersifat negatif. Sebaliknya, nilai koefisien *superplasticizer* sebesar 51,875 menunjukkan bahwa penggunaan *superplasticizer* dapat meningkatkan berat isi beton sebesar 51,875 kg/m³, yang disebabkan oleh peningkatan kelecakan dan kepadatan beton.

Nilai Beta menunjukkan bahwa *fly ash* memiliki pengaruh negatif yang kuat (-0,896), sedangkan *superplasticizer* memiliki pengaruh positif sedang (0,533).

Hasil uji t menunjukkan bahwa *fly ash* berpengaruh signifikan terhadap berat isi beton (Sig. 0,010 < 0,05), sedangkan *superplasticizer* belum signifikan (Sig. 0,052 > 0,05), meskipun cenderung meningkatkan berat isi beton.

Tabel 4. 36 Model Summary Hasil Berat Isi Beton Segar

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.926 ^a	.857	.786	19.242

a. Predictors: (Constant), Penambahan Superplasticizer, Variasi Fly Ash

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.36, diperoleh nilai koefisien korelasi (*R*) sebesar 0,926 yang menunjukkan hubungan sangat kuat antara variasi *fly ash* dan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

penambahan *superplasticizer* terhadap berat isi beton. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,857 menunjukkan bahwa 85,7% variasi berat isi beton dapat dijelaskan oleh kedua variabel tersebut, sedangkan 14,3% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian. Dengan demikian, variasi *fly ash* dan penambahan *superplasticizer* memberikan kontribusi yang besar terhadap perubahan berat isi beton.

4.4 Analisis Data Pengujian Beton Keras

Pengujian beton keras dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* dan *superplasticizer* terhadap kekuatan beton. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian kuat tekan, kuat lentur dan kuat tarik belah. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui perubahan kekuatan beton pada setiap variasi campuran serta hubungan antara persentase *fly ash* dengan parameter yang diuji.

4.4.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Umur 7 hari digunakan untuk mengevaluasi kuat tekan awal beton, sedangkan umur 28 hari digunakan sebagai acuan kuat tekan beton pada umur rencana.

1) Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Dari hasil perhitungan yang ditampilkan pada tabel di bawah, diperoleh data mengenai kuat tekan beton pada umur 7 hari, yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 37Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 7 hari

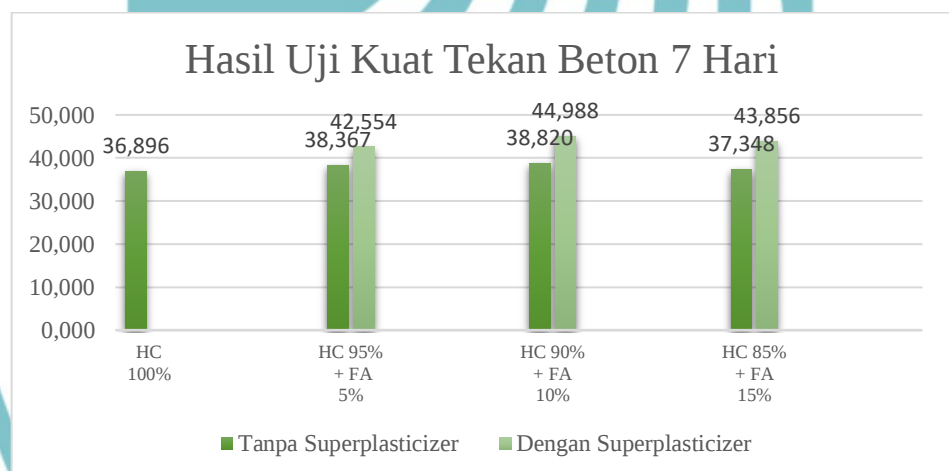
Variasi Campuran	Sampe l	Beban Maksimu m (Kn)	Beban Maksimu m (N)	Diamete r (mm)	Luas Penampan g (mm ²)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata Rata (N/mm ²)
HC 100%	I	694	694000	150	17671,459	39,272	36,858
	II	608	608000	150	17671,459	34,406	
	III	652	652000	150	17671,459	36,896	
HC 95% + FA 5%	I	689	689000	150	17671,459	38,989	38,574
	II	678	678000	150	17671,459	38,367	

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

	III	678	678000	150	17671,459	38,367	
HC 90% + FA 10%	I	676	676000	150	17671,459	38,254	38,612
	II	685	685000	150	17671,459	38,763	
	III	686	686000	150	17671,459	38,820	
HC 85% + FA 15%	I	653	653000	150	17671,459	36,952	37,160
	II	657	657000	150	17671,459	37,179	
	III	660	660000	150	17671,459	37,348	
HC 95% + FA 5% + SP 0,8 Berat Semen	I	731	731000	150	17671,459	41,366	42,554
	II	735	735000	150	17671,459	41,592	
	III	790	790000	150	17671,459	44,705	
HC 90% + FA 10% + SP 0,8 Berat Semen	I	792	792000	150	17671,459	44,818	44,988
	II	793	793000	150	17671,459	44,875	
	III	800	800000	150	17671,459	45,271	
HC 85% + FA 15% + SP 0,8 Berat Semen	I	782	782000	150	17671,459	44,252	43,856
	II	765	765000	150	17671,459	43,290	
	III	778	778000	150	17671,459	44,026	

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026



Gambar 4. 6 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Sumber: Olahan Data Pribadi, 2026

Berdasarkan Gambar 4.10, kuat tekan beton umur 7 hari pada campuran kontrol (HC 100%) sebesar 36,896 MPa. Penambahan *fly ash* sebesar 5% dan 10% tanpa *superplasticizer* meningkatkan kuat tekan menjadi 38,367 MPa dan 38,820 MPa, sedangkan pada kadar *fly ash* 15% kuat tekan menurun menjadi 37,348 MPa. Setelah ditambahkan *superplasticizer* sebesar 0,8% dari berat *hydraulic cement*, kuat tekan meningkat menjadi 42,554 MPa, 44,988 MPa, dan 43,856 MPa pada masing-masing variasi *fly ash* 5%, 10%, dan 15%. Variasi HC 90% + *fly ash* 10% + *superplasticizer* menghasilkan kuat tekan tertinggi pada umur 7 hari, yaitu sebesar 44,988 MPa.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai substitusi sebagian *hydraulic cement* dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton umur 7 hari selanjutnya dianalisis menggunakan aplikasi SPSS dengan metode regresi linear berganda. Hasil analisis tersebut disajikan pada gambar berikut.

Tabel 4. 38 *Coefficients* Kuat Tekan Beton 7 Hari

		Coefficients^a				
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
Model		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	37420.857	851.284		43.958	.000
	Variasi Fly Ash	50.686	85.128	.084	.595	.584
	Penambahan Superplasticizer	7339.524	1107.556	.938	6.627	.003

a. Dependent Variable: Kuat Tekan

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan hasil analisis regresi linear berganda pada Tabel 4.38, nilai signifikansi variabel *fly ash* sebesar 0,584 dan variabel *superplasticizer* sebesar 0,003. Dengan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$), variabel *fly ash* tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton umur 7 hari karena memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Sebaliknya, variabel *superplasticizer* berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton umur 7 hari karena nilai signifikansinya lebih kecil dari 0,05.

Selain itu, diperoleh nilai konstanta regresi (b_0) sebesar 37420,857, koefisien regresi *fly ash* (b_1) sebesar 50,686, dan koefisien regresi *superplasticizer* (b_2) sebesar 7339,524. Berdasarkan hasil tersebut, persamaan regresi linear berganda yang diperoleh adalah:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$$

$$Y = 37420,857 + 50,686X_1 + 7339,524X_2$$

Nilai koefisien *fly ash* sebesar 50,686 menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan *fly ash* cenderung meningkatkan kuat tekan beton umur 7 hari. Namun demikian, berdasarkan hasil uji parsial (*uji t*), pengaruh tersebut tidak

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

signifikan secara statistik. Sementara itu, koefisien *superplasticizer* sebesar 7339,524 menunjukkan bahwa penggunaan *superplasticizer* memberikan kecenderungan peningkatan kuat tekan beton umur 7 hari dan terbukti berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton.

Berdasarkan nilai Beta terstandarisasi (*Standardized Coefficients Beta*), variabel *superplasticizer* memiliki pengaruh yang lebih dominan terhadap kuat tekan beton umur 7 hari (Beta = 0,938) dibandingkan variasi *fly ash* (Beta = 0,084).

Tabel 4. 39 Model Summary Kuat Tekan Beton 7 Hari

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.962 ^a	.925	.887	1126.143

a. Predictors: (Constant), Penambahan Superplasticizer, Variasi Fly Ash

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.39 diperoleh nilai koefisien korelasi (*R*) sebesar 0,962 yang menunjukkan hubungan sangat kuat antara variasi *fly ash* dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton umur 7 hari. Nilai koefisien determinasi (*R*²) sebesar 0,925 menunjukkan bahwa 92,5% variasi kuat tekan beton umur 7 hari dapat dijelaskan oleh kedua variabel tersebut, sedangkan 7,5% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian.

2) Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Dari hasil perhitungan yang ditampilkan pada tabel di bawah, diperoleh data mengenai kuat tekan beton pada umur 7 hari, yang dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4. 40 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 hari

Variasi Campuran	Sampel	Beban Maksimu m (Kn)	Beban Maksimu m (N)	Diamete r (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata Rata (N/mm ²)
HC 100%	I	972	972000	150	17671,45868	55,004	52,910
	II	900	900000	150	17671,45868	50,930	
	III	933	933000	150	17671,45868	52,797	
HC 95% + FA 5%	I	1021	1021000	150	17671,45868	57,777	57,305
	II	1005	1005000	150	17671,45868	56,871	
	III	1012	1012000	150	17671,45868	57,267	
HC 90% + FA 10%	I	1071	1071000	150	17671,45868	60,606	60,644

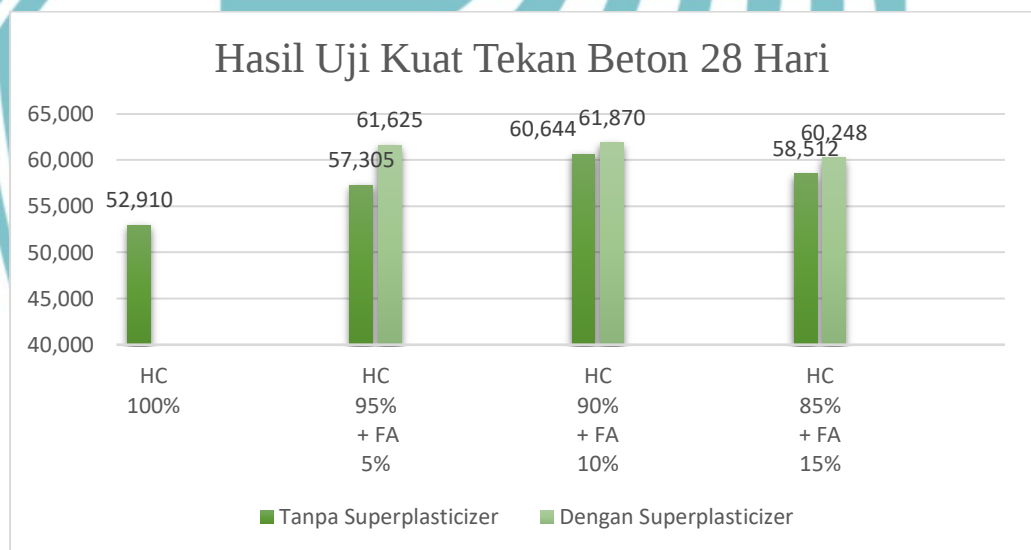
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Variasi Campuran	Sampel	Beban Maksimu m (Kn)	Beban Maksimu m (N)	Diamete r (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (N/mm ²)	Rata Rata (N/mm ²)
HC 85% + FA 15%	II	1064	1064000	150	17671,45868	60,210	58,512
	III	1080	1080000	150	17671,45868	61,115	
	I	1021	1021000	150	17671,45868	57,777	
	II	1045	1045000	150	17671,45868	59,135	
	III	1036	1036000	150	17671,45868	58,626	
HC 95% + FA 5% + SP 0,8 Berat Semen	I	1142	1142000	150	17671,45868	64,624	61,625
	II	1035	1035000	150	17671,45868	58,569	
	III	1090	1090000	150	17671,45868	61,681	
HC 90% + FA 10% + SP 0,8 Berat Semen	I	1150	1150000	150	17671,45868	65,077	61,870
	II	1035	1035000	150	17671,45868	58,569	
	III	1095	1095000	150	17671,45868	61,964	
HC 85% + FA 15% + SP 0,8 Berat Semen	I	1100	1100000	150	17671,45868	62,247	60,248
	II	1021	1021000	150	17671,45868	57,777	
	III	1073	1073000	150	17671,45868	60,719	

Sumber; Olahan Data Pribadi

Sumber; Olahan Data Pribadi



Gambar 4. 7 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Berdasarkan Gambar 4.13, kuat tekan beton umur 28 hari pada campuran kontrol (HC 100%) sebesar 52,910 MPa. Penambahan *fly ash* sebesar 5% dan 10% tanpa *superplasticizer* meningkatkan kuat tekan menjadi 57,305 MPa dan 60,644 MPa, sedangkan pada kadar *fly ash* 15% kuat tekan mengalami sedikit penurunan menjadi 58,512 MPa. Setelah ditambahkan *superplasticizer* sebesar 0,8% dari berat *hydraulic cement*, kuat tekan kembali meningkat menjadi 61,625 MPa, 61,870 MPa, dan 60,248 MPa pada masing-masing variasi *fly ash* 5%, 10%, dan 15%. Variasi HC 90% + *fly ash* 10% + *superplasticizer* menghasilkan kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari, yaitu sebesar 61,870 MPa.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Peningkatan kuat tekan hingga variasi *fly ash* 10% menunjukkan bahwa reaksi pozzolanik berlangsung secara optimal sehingga menghasilkan tambahan senyawa *Calcium Silicate Hydrate (C-S-H)* yang mampu memperbaiki kepadatan pasta semen dan memperkuat ikatan antar material penyusun beton. Namun, pada variasi *fly ash* 15% terjadi sedikit penurunan kuat tekan karena jumlah *hydraulic cement* yang tersedia untuk proses hidrasi mulai berkurang, sehingga pembentukan produk hidrasi primer tidak lagi mampu mengimbangi peningkatan kadar *fly ash*. Hasil penelitian ini sejalan dengan (Bahar et al., 2024) yang menyatakan bahwa penggunaan *fly ash* mampu meningkatkan kuat tekan beton hingga kadar optimum, kemudian cenderung menurun apabila persentase *fly ash* terus ditingkatkan akibat berkurangnya jumlah semen yang berperan dalam proses hidrasi. Selain itu, (Awal et al., n.d.) juga menjelaskan bahwa penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan jangka panjang melalui reaksi pozzolanik yang menghasilkan struktur beton lebih padat serta meningkatkan durabilitas beton.

Pengaruh persentase *fly ash* dan penggunaan *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton umur 28 hari juga dapat dianalisis menggunakan aplikasi SPSS dengan metode regresi linear berganda, sebagaimana ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 41 *Coefficients* Kuat Tekan Beton 28 Hari

		Coefficients^a				
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
Model		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	55479.429	1798.548		30.847	.000
	Variasi Fly Ash	248.443	179.855	.439	1.381	.239
	Penambahan Superplasticizer	4104.762	2339.986	.557	1.754	.154

a. Dependent Variable: Kuat Tekan 28 Hari

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.41, nilai signifikansi variabel *fly ash* sebesar 0,239 dan variabel *superplasticizer* sebesar 0,154. Dengan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$), kedua variabel memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi *fly ash* maupun penambahan *superplasticizer* tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton umur 28 hari.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Selain itu, diperoleh nilai konstanta regresi (b_0) sebesar 55479,429, koefisien regresi *fly ash* (b_1) sebesar 248,443, dan koefisien regresi *superplasticizer* (b_2) sebesar 4104,762. Berdasarkan hasil tersebut, persamaan regresi linear berganda yang diperoleh adalah:

$$Y = b_0 - b_1X_1 + B_2X_2$$

$$Y = 55479,429 + 248,443X_1 + 4104,762X_2$$

Nilai koefisien *fly ash* sebesar 248,443 menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan *fly ash* cenderung meningkatkan kuat tekan beton umur 28 hari. Sementara itu, koefisien *superplasticizer* sebesar 4104,762 menunjukkan bahwa penggunaan *superplasticizer* juga memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat tekan beton umur 28 hari. Berdasarkan nilai *Standardized Beta*, variabel *superplasticizer* (0,557) memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan variasi *fly ash* (0,439) terhadap kuat tekan beton umur 28 hari.

Tabel 4. 42 *Model Summary* Kuat Tekan Beton 28 Hari

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.787 ^a	.620	.430	2379.256

a. Predictors: (Constant), Penambahan Superplasticizer, Variasi Fly Ash

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.13, nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,787 menunjukkan hubungan yang kuat antara variasi *fly ash* dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton umur 28 hari. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,620 menunjukkan bahwa sebesar 62,0% variasi kuat tekan beton umur 28 hari dapat dijelaskan oleh kedua variabel tersebut, sedangkan 38,0% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian. Dengan demikian, variasi *fly ash* dan penambahan *superplasticizer* memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap kuat tekan beton umur 28 hari.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.2 Pengujian Kuat Tarik Belah

Data hasil pengujian kuat tarik belah pada beton keras menggunakan benda uji berbentuk silinder disajikan dalam tabel berikut.

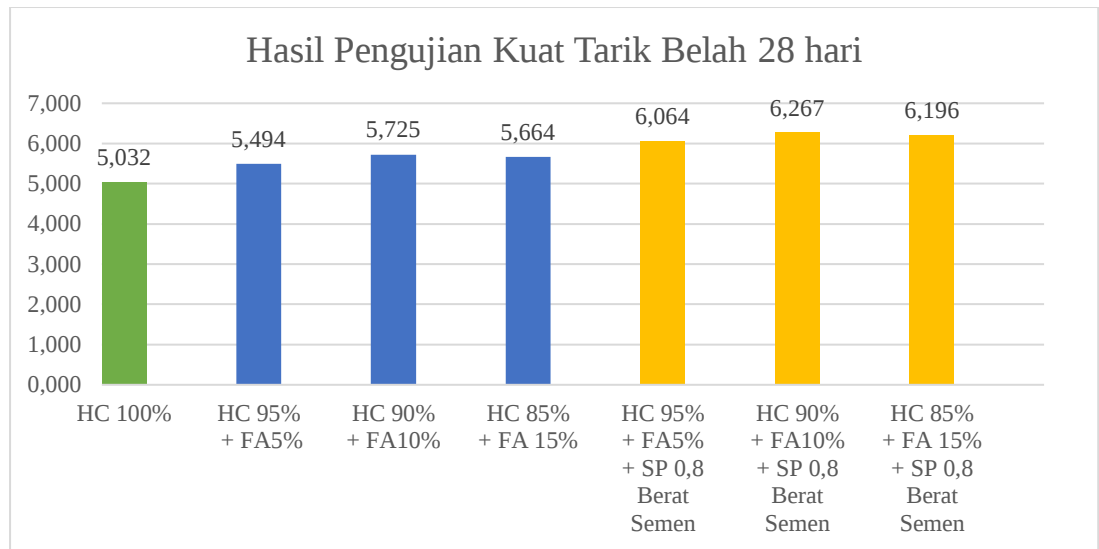
Tabel 4. 43 Hasil Uji Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 hari

Variasi Campuran	Sampel	Beban Maksimum (Kn)	Beban Maksimum (N)	Diameter (mm)	L (m)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tarik Belah (N/mm ²)	Kuat Tarik Belah (N/mm ²)
HC 100%	I	352	352000	150	300	141371,67	4,980	5,032
	II	375	375000	150	300	141371,67	5,305	
	III	340	340000	150	300	141371,67	4,810	
HC 95% + FA5%	I	386	386000	150	300	141371,67	5,461	5,494
	II	413	413000	150	300	141371,67	5,843	
	III	366	366000	150	300	141371,67	5,178	
HC 90% + FA10%	I	406	406000	150	300	141371,67	5,744	5,725
	II	383	383000	150	300	141371,67	5,418	
	III	425	425000	150	300	141371,67	6,013	
HC 85% + FA 15%	I	404	404000	150	300	141371,67	5,715	5,664
	II	402	402000	150	300	141371,67	5,687	
	III	395	395000	150	300	141371,67	5,588	
HC 95% + FA5% + SP 0,8 Berat Semen	I	428	428000	150	300	141371,67	6,055	6,064
	II	410	410000	150	300	141371,67	5,800	
	III	448	448000	150	300	141371,67	6,338	
HC 90% + FA10% + SP 0,8 Berat Semen	I	440	440000	150	300	141371,67	6,225	6,267
	II	464	464000	150	300	141371,67	6,564	
	III	425	425000	150	300	141371,67	6,013	
HC 85% + FA 15% + SP 0,8 Berat Semen	I	420	420000	150	300	141371,67	5,942	6,196
	II	431	431000	150	300	141371,67	6,097	
	III	463	463000	150	300	141371,67	6,550	

Sumber; Olahan Data Pribadi

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 8 Grafik Pengujian Kuat Tarik Belah 28 Hari

Sumber; Olahan Data Pribadi

Berdasarkan Gambar 4.8, terlihat bahwa nilai kuat tarik belah beton umur 28 hari mengalami peningkatan pada setiap variasi campuran hingga variasi *fly ash* sebesar 10%. Beton kontrol (HC 100%) menghasilkan kuat tarik belah sebesar 5,032 MPa. Substitusi *fly ash* sebesar 5% dan 10% tanpa *superplasticizer* meningkatkan kuat tarik belah menjadi 5,494 MPa dan 5,725 MPa, sedangkan pada variasi *fly ash* 15% kuat tarik belah sedikit menurun menjadi 5,664 MPa. Penambahan *superplasticizer* sebesar 0,8% dari berat *hydraulic cement* memberikan peningkatan kuat tarik belah lebih lanjut, yaitu menjadi 6,064 MPa, 6,267 MPa, dan 6,196 MPa pada masing-masing variasi *fly ash* 5%, 10%, dan 15%. Nilai kuat tarik belah tertinggi diperoleh pada campuran HC 90% + *fly ash* 10% + *superplasticizer* 0,8% dari berat *hydraulic cement*, yaitu sebesar 6,267 MPa.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* yang dikombinasikan dengan *superplasticizer* mampu meningkatkan kuat tarik belah beton secara efektif hingga kadar *fly ash* optimum sebesar 10%. Peningkatan tersebut terjadi karena reaksi pozzolanik *fly ash* menghasilkan tambahan senyawa *Calcium Silicate Hydrate (C-S-H)* yang memperkuat ikatan antara pasta semen dan agregat serta menghasilkan struktur beton yang lebih rapat. Namun, pada variasi *fly ash* 15% terjadi sedikit penurunan kuat tarik belah. Hal ini diduga disebabkan oleh semakin berkurangnya jumlah *hydraulic cement*

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

yang berperan dalam proses hidrasi sehingga pembentukan produk hidrasi primer tidak lagi mampu mengimbangi peningkatan kadar *fly ash*. Akibatnya, meskipun reaksi pozzolanik tetap berlangsung, peningkatan kuat tarik belah tidak sebesar pada variasi *fly ash* 10%. Fenomena ini sejalan dengan hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari yang juga menunjukkan nilai optimum pada variasi *fly ash* 10%, sehingga menunjukkan bahwa kadar *fly ash* sebesar 10% merupakan komposisi yang paling efektif dalam meningkatkan sifat mekanis beton pada penelitian ini.

Pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai substitusi sebagian *hydraulic cement* dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tarik belah beton umur 28 hari selanjutnya dianalisis menggunakan metode regresi linear berganda dengan bantuan aplikasi SPSS. Hasil analisis tersebut disajikan pada gambar berikut.

Tabel 4. 44 *Coefficients* Kuat Tarik Belah Beton 28 Hari

Coefficients ^a					
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	
Model		B	Std. Error	Beta	t
1	(Constant)	5222,571	126.392		41.320
	Variasi Fly Ash	34.157	12.639	.434	2.702
	Penambahan Superplasticizer	764.405	164.442	.747	4.648

a. Dependent Variable: Kuat Tarik Belah 28 Hari

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.44, nilai signifikansi variabel *fly ash* sebesar 0,054 dan variabel *superplasticizer* sebesar 0,010. Dengan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$), variabel *fly ash* tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik belah beton umur 28 hari karena memiliki nilai signifikansi sedikit lebih besar dari 0,05. Sebaliknya, variabel *superplasticizer* berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik belah beton umur 28 hari karena memiliki nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05.

Selain itu, diperoleh nilai konstanta regresi (b_0) sebesar 5222,571, koefisien regresi *fly ash* (b_1) sebesar 34,157, dan koefisien regresi

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

superplasticizer (b_2) sebesar 764,405. Berdasarkan hasil tersebut, persamaan regresi linear berganda yang diperoleh adalah:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$$

$$Y = 5222,571 + 34,157X_1 + 764,405X_2$$

Nilai koefisien *fly ash* sebesar 34,157 menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan *fly ash* cenderung meningkatkan kuat tarik belah beton umur 28 hari. Namun demikian, berdasarkan hasil uji parsial (*uji t*), pengaruh tersebut belum signifikan secara statistik. Sementara itu, koefisien *superplasticizer* sebesar 764,405 menunjukkan bahwa penggunaan *superplasticizer* memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat tarik belah beton umur 28 hari. Berdasarkan nilai *Standardized Coefficients Beta*, penambahan *superplasticizer* (0,747) memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan variasi *fly ash* (0,434) terhadap kuat tarik belah beton umur 28 hari.

Tabel 4. 45 *Model Summary* Kuat Tarik Belah Beton 28 Hari

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.950 ^a	.903	.854	167.201

a. Predictors: (Constant), Penambahan Superplasticizer, Variasi Fly Ash

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.45, diperoleh nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,950 yang menunjukkan hubungan sangat kuat antara variasi *fly ash* dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tarik belah beton umur 28 hari. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,903 menunjukkan bahwa 90,3% variasi kuat tarik belah beton umur 28 hari dapat dijelaskan oleh kedua variabel tersebut, sedangkan 9,7% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian. Nilai *Adjusted R Square* sebesar 0,854 menunjukkan bahwa setelah dilakukan penyesuaian terhadap jumlah sampel dan jumlah variabel bebas, model regresi masih mampu menjelaskan 85,4% variasi kuat tarik belah beton umur 28 hari. Dengan demikian, variasi *fly ash* dan penambahan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

superplasticizer memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap kuat tarik belah beton umur 28 hari.

4.4.3 Pengujian Kuat Lentur

Dari hasil perhitungan yang ditampilkan pada tabel di bawah, diperoleh data mengenai kuat lentu beton pada umur 28 hari, yang dapat dilihat pada tabel berikut.

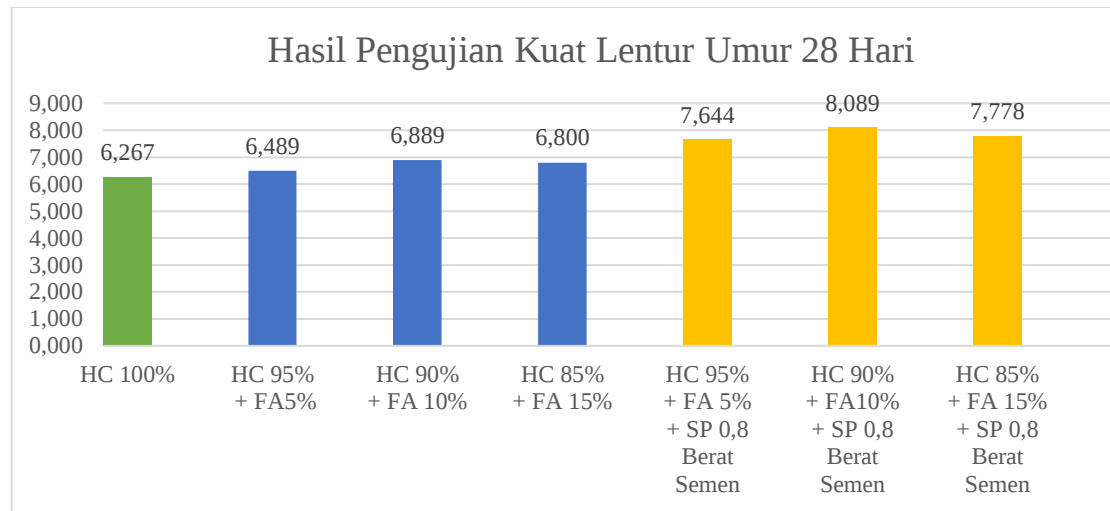
Tabel 4. 46 Hasil Uji Kuat Lentur Beton Umur 28 hari

Variasi Campuran	Sampel	Beban Maksimum (Kn)	b (mm)	d (mm)	L (mm)	Kuat Lentur (N/mm ²)	Kuat Lentur (N/mm ²)
HC 100%	I	57	150	150	450	7,60	6,267
	II	45	150	150	450	6,00	
	III	39	150	150	450	5,20	
HC 95% + FA5%	I	52	150	150	450	6,93	6,489
	II	49	150	150	450	6,53	
	III	45	150	150	450	6,00	
HC 90% + FA 10%	I	51	150	150	450	6,80	6,889
	II	50	150	150	450	6,67	
	III	54	150	150	450	7,20	
HC 85% + FA 15%	I	55	150	150	450	7,33	6,800
	II	47	150	150	450	6,27	
	III	51	150	150	450	6,80	
HC 95% + FA 5% + SP 0,8 Berat Semen	I	59	150	150	450	7,87	7,644
	II	58	150	150	450	7,73	
	III	55	150	150	450	7,33	
HC 90% + FA10% + SP 0,8 Berat Semen	I	61	150	150	450	8,13	8,089
	II	57	150	150	450	7,60	
	III	64	150	150	450	8,53	
HC 85% + FA 15% + SP 0,8 Berat Semen	I	71	150	150	450	9,47	7,778
	II	50	150	150	450	6,67	
	III	54	150	150	450	7,20	

Sumber; Olahan Data Pribadi

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 9 Grafik Pengujian Kuat Lentur 28 Hari

Sumber; Olahan Data Pribadi

Berdasarkan Gambar 4.9 terlihat bahwa nilai kuat lentur beton umur 28 hari mengalami peningkatan hingga variasi *fly ash* sebesar 10%. Beton kontrol (HC 100%) menghasilkan kuat lentur sebesar 6,267 MPa. Substitusi *fly ash* sebesar 5% dan 10% tanpa *superplasticizer* meningkatkan kuat lentur menjadi 6,489 MPa dan 6,889 MPa, sedangkan pada variasi *fly ash* 15% kuat lentur sedikit menurun menjadi 6,800 MPa. Penambahan *superplasticizer* sebesar 0,8% dari berat *hydraulic cement* memberikan peningkatan kuat lentur lebih lanjut, yaitu menjadi 7,644 MPa, 8,089 MPa, dan 7,778 MPa pada masing-masing variasi *fly ash* 5%, 10%, dan 15%. Nilai kuat lentur tertinggi diperoleh pada campuran HC 90% + *fly ash* 10% + *superplasticizer* 0,8% dari berat *hydraulic cement*, yaitu sebesar 8,089 MPa.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* yang dikombinasikan dengan *superplasticizer* mampu meningkatkan kuat lentur beton secara efektif hingga kadar *fly ash* optimum sebesar 10%. Peningkatan kuat lentur terjadi karena reaksi pozzolanik *fly ash* menghasilkan tambahan senyawa *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) yang memperkuat ikatan antara pasta semen dan agregat serta meningkatkan kepadatan struktur beton. Selain itu, penggunaan *superplasticizer* meningkatkan kelecakan (*workability*) campuran sehingga proses pemadatan berlangsung lebih optimal dan menghasilkan beton dengan jumlah rongga yang lebih sedikit. Namun, pada

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

variasi *fly ash* 15% terjadi sedikit penurunan kuat lentur yang diduga disebabkan oleh berkurangnya jumlah *hydraulic cement* yang berperan dalam proses hidrasi sehingga pembentukan produk hidrasi primer tidak lagi mampu mengimbangi peningkatan kadar *fly ash*. Fenomena ini sejalan dengan hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton umur 28 hari yang juga menunjukkan nilai optimum pada variasi *fly ash* 10%, sehingga menunjukkan bahwa kadar *fly ash* sebesar 10% merupakan komposisi yang paling efektif dalam meningkatkan sifat mekanis beton pada penelitian ini.

Pengaruh persentase *fly ash* dan penggunaan *superplasticizer* terhadap kuat lentur beton umur 28 hari juga dapat dianalisis menggunakan aplikasi SPSS dengan metode regresi linear berganda, sebagaimana ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 47 *Coefficients* Kuat Lentur Beton 28 Hari

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	6368.357	154.417		.000
	Variasi Fly Ash	32.386	15.442	.258	.104
	Penambahan Superplasticizer	1430.982	200.903	.876	.002

a. Dependent Variable: Kuat Tarik Lentur 28 Hari

Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.47, nilai signifikansi variabel *fly ash* sebesar 0,104 dan variabel *superplasticizer* sebesar 0,002. Dengan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$), variabel *fly ash* tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat lentur beton umur 28 hari karena memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Sebaliknya, variabel *superplasticizer* berpengaruh signifikan terhadap kuat lentur beton umur 28 hari karena memiliki nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05.

Selain itu, diperoleh nilai konstanta regresi (b_0) sebesar 6368,357, koefisien regresi *fly ash* (b_1) sebesar 32,386, dan koefisien regresi *superplasticizer* (b_2) sebesar 1430,982. Berdasarkan hasil tersebut, persamaan regresi linear berganda yang diperoleh adalah:

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$$

$$Y = 6368,357 + 32,386X_1 + 1430,982X_2$$

Nilai koefisien *fly ash* sebesar 32,386 menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan *fly ash* cenderung meningkatkan kuat lentur beton umur 28 hari. Namun demikian, berdasarkan hasil uji parsial (*uji t*), pengaruh tersebut belum signifikan secara statistik. Sementara itu, koefisien *superplasticizer* sebesar 1430,982 menunjukkan bahwa penggunaan *superplasticizer* memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat lentur beton umur 28 hari. Berdasarkan nilai *Standardized Coefficients Beta*, penambahan *superplasticizer* (0,876) memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan variasi *fly ash* (0,258) terhadap kuat lentur beton umur 28 hari.

Tabel 4. 48 Model Summary Kuat Lentur Beton 28 Hari

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.971 ^a	.943	.914	204.275

a. Predictors: (Constant), Penambahan Superplasticizer, Variasi Fly Ash
Sumber: Olahan Data SPSS

Berdasarkan Tabel 4.47, diperoleh nilai koefisien korelasi (*R*) sebesar 0,971 yang menunjukkan hubungan sangat kuat antara variasi *fly ash* dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat lentur beton umur 28 hari. Nilai koefisien determinasi (*R*²) sebesar 0,943 menunjukkan bahwa 94,3% variasi kuat lentur beton umur 28 hari dapat dijelaskan oleh kedua variabel tersebut, sedangkan 5,7% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian. Nilai *Adjusted R Square* sebesar 0,914 menunjukkan bahwa setelah dilakukan penyesuaian terhadap jumlah sampel dan jumlah variabel bebas, model regresi masih mampu menjelaskan 91,4% variasi kuat lentur beton umur 28 hari. Dengan demikian, variasi *fly ash* dan penambahan *superplasticizer* memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap kuat lentur beton umur 28 hari.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



LAMPIRAN

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Hak Cipta :

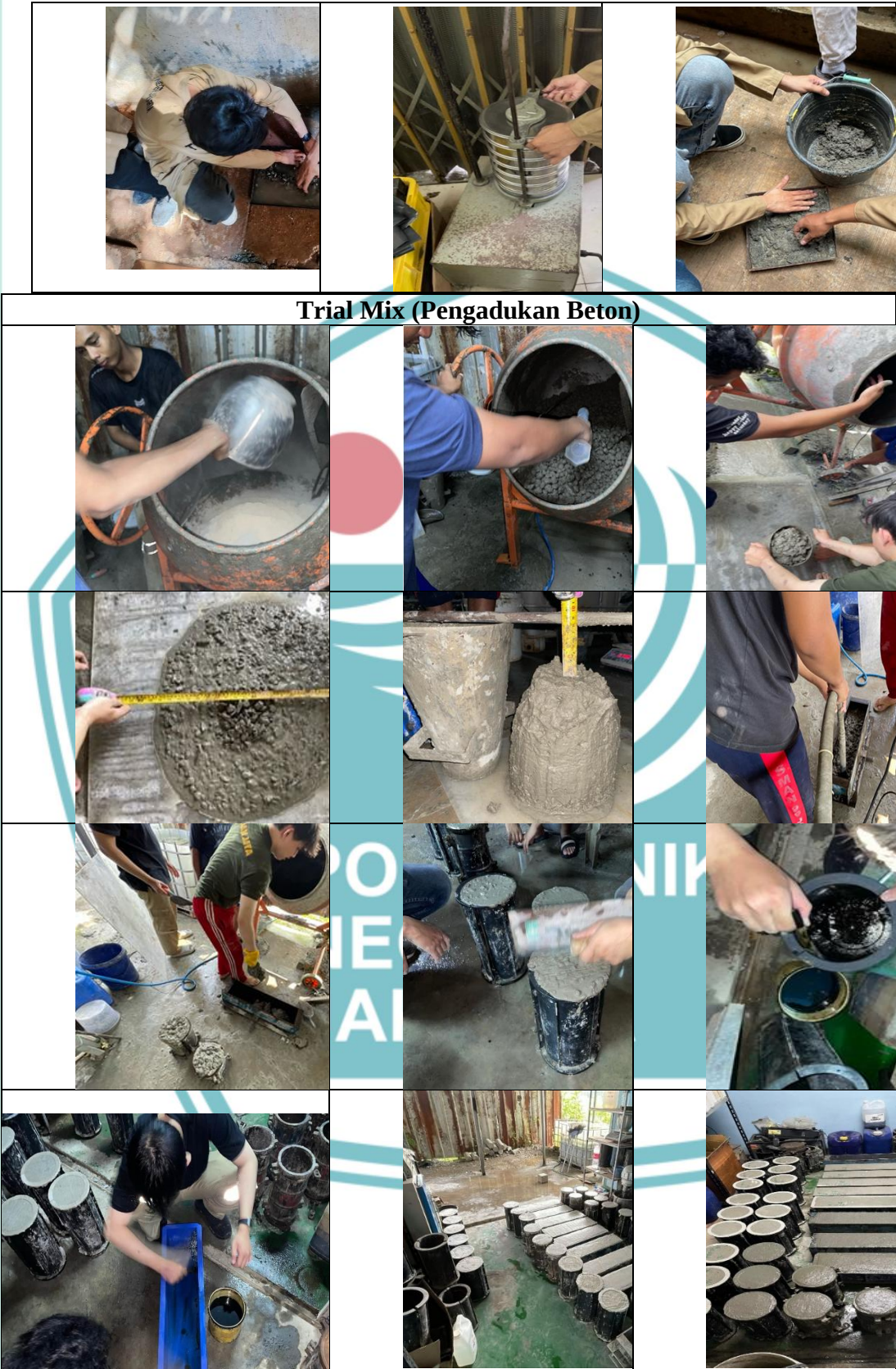
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN 1 DOKUMENTASI



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



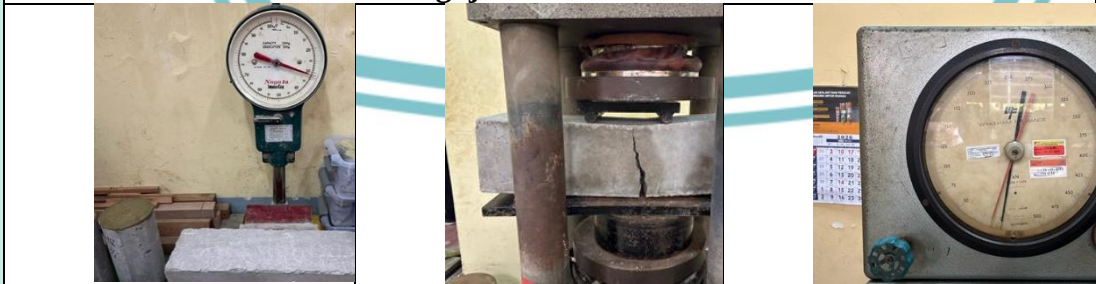
Pengujian Kuat Tekan Beton



Pengujian Kuat Tarik Belah Beton



Pengujian Kuat Lentur Beton





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN 2 FORM SI-1

(Pernyataan Calon Pembimbing)

	KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI POLITEKNIK NEGERI JAKARTA JURUSAN TEKNIK SIPIL	<i>Formulir SI-1</i>
---	---	--------------------------

PERNYATAAN CALON PEMBIMBING

Yang bertanda tangan di bawah ini :

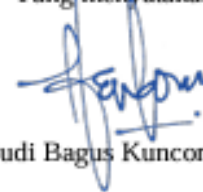
Nama : Hendrian Budi Bagus Kuncoro, S.T.,M.Eng

NIP : 198905272022031004

Dengan ini menyatakan bersedia menjadi Calon Pembimbing Skripsi untuk mahasiswa sebagai berikut:

1. Naufal Purnagalih Widyatama Iman NIM : 2201421043
Program Studi : D-IV Teknik Konstruksi Gedung
KBK : Struktur dan Material
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Substitusi Parsial Semen Hidraulis dengan *Flyash* terhadap Beton Mutu Tinggi dan Penambahan *Superplasticizer* 0,8%

Depok, 2 Maret 2026
Yang menyatakan,



(Hendrian Budi Bagus Kuncoro, S.T.,M.Eng)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN 3 FORM 2 SI – 2

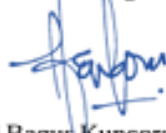
(Lembar Pengesahan)

	KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI POLITEKNIK NEGERI JAKARTA JURUSAN TEKNIK SIPIL	Formulir SI-2
---	--	--------------------------------

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Parsial Semen Hidraulis dengan *Flyash* terhadap Beton Mutu Tinggi dan Penambahan *Superplasticizer* 0,8%
 Subjek Skripsi : Struktur dan Material
 Nama Mahasiswa : Naufal Purnagalih W.I
 NIM Mahasiswa : 2201421043
 Program Studi : D-IV Teknik Konstruksi Gedung

Pembimbing 1,



(Hendrian Budi Bagus Kuncoro, S.T., M.Eng)
NIP 198905272022031004)

Pembimbing 2,



(Senditia Dilang R. AlMd, S.T.)
PT. Devian Chemical Construction

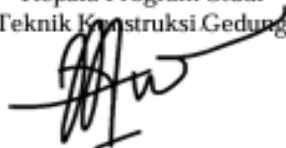
Depok, 2 Maret 2026
Mahasiswa,



(Naufal Purnagalih W.I)
NIM 2201421043

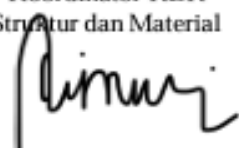
Mengetahui,

Kepala Program Studi
Teknik Konstruksi Gedung



(Mudiono Kasmuri, S.T., M.Eng., Ph.D)
NIP 198012042020121001

Koordinator KBK
Struktur dan Material



(Rinawati, S.T., M.T.)
NIP 197505102005012001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN 4 FORM SI – 3

(Lembar Asistensi)

	KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI POLITEKNIK NEGERI JAKARTA JURUSAN TEKNIK SIPIL	<i>Formulir</i> <i>SI-3</i>
---	---	--------------------------------

LEMBAR ASISTENSI

Nama	: Naufal Purnagalih Widyatama Iman
NIM	: 2201421043
Program Studi	: Teknik Konstruksi Gedung
KBK	: Struktur dan Material
Judul Skripsi	: Pengaruh Substitusi Parsial Semen Hidroulis dengan Fly Ash dan penambahan Superplasticizer pada Beton Mutu Tinggi
Pembimbing	: Hendrian Budi Bagus Kuncoro, S.T., M.Eng.

No.	Tanggal	Uraian	Paraf
1	27/01/26	Diskusi mengenai pemilihan topik skripsi serta identifikasi permasalahan penelitian di bidang beton.	
2	28/02/26	Pembahasan penyusunan proposal meliputi latar belakang, rumusan masalah, manfaat, dan tujuan penelitian.	
3	28/02/26	Revisi proposal skripsi berdasarkan arahan pembimbing serta penyempurnaan referensi penelitian.	
4	10/03/26	Asistensi sebelum seminar proposal serta perbaikan materi presentasi dan naskah proposal	
5	11/03/26	Seminar Proposal Saran dari Pak Sukarman: 1. Sesuaikan lagi antara batasan masalah, rumusan masalah, dan tujuan. 2. Perbaiki penulisan yang "rancu" Saran dari Bu Lilla: 1. Perbaiki draft skripsi, terutama bagian Bab 3 Saran dari Pak Eko: 1. Tambahkan tipe <i>Fly ash</i> apa yang di gunakan pada penelitian.	
6	26/03/26	Konsultasi perkembangan penyusunan draft skripsi serta perbaikan Bab I dan Bab III, serta Penggantian JUDUL.	



LAMPIRAN 5 FORM SI – 4

(Persetujuan Pembimbing)

	KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI POLITEKNIK NEGERI JAKARTA JURUSAN TEKNIK SIPIL	<i>Formulir</i> <i>SI-4</i>
---	---	--

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hendrian Budi Bagus Kuncoro, S.T., M.Eng.

NIP : 198905272022031004

Jabatan : Pembimbing Skripsi

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa di bawah ini:

1. Naufal Purnagali Widyatama Iman NIM : 2201421043

Program Studi : Teknik Konstruksi Gedung

KBK : Struktur dan Material

Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Parsial Semen Hidraulis dengan Fly

Ash dan penambahan Superplasticizer 0,8% pada Beton Mutu Tinggi



Sudah dapat mengikuti Ujian Sidang Skripsi



Sudah dapat menyerahkan Revisi Naskah Skripsi

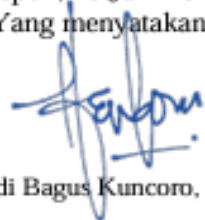
Keterangan:



Beri tanda cek (✓) untuk
pilihan yang dimaksud

Depok, 10 Juni 2026

Yang menyatakan,



(Hendrian Budi Bagus Kuncoro, S.T., M.Eng.)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta