



The 7<sup>th</sup> Conference on Innovation and Application of Science and Technology  
(CIASTECH)

Website Ciastech 2024 : <https://ciastech.net>  
Open Conference Systems : <https://ocs.ciastech.net>  
Proceeding homepage : <https://ciastech.net>

P-ISSN : 2622-1276  
E-ISSN: 2622-1284

## KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS PENGGUNAAN FLY ASH PLTU PAMA 1 SEBAGAI MATERIAL SURFACE JALAN ANGKUT BATUBARA

Ringko Allansi Tenlima

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

### INFORMASI ARTIKEL

**Data Artikel :**

Naskah masuk, 20 November 2024  
Direvisi, 6 Desember 2024  
Diterima, 20 Desember 2024

**Email Korespondensi :**

ringko04@gmail.com

### ABSTRAK

PT. Kalimantan Prima Persada adalah sebuah perusahaan yang menyediakan jasa penambangan terintegrasi, dalam proses pengangkutan batubara, daya dukung jalan untuk hauling menjadi faktor penting yang biasanya menggunakan batuan split murni, namun di Kalimantan Tengah ketersediaannya sangat terbatas, sehingga perusahaan beralih ke batu Metasedimen. Namun, batu Metasedimen memiliki kelemahan karena tidak cukup kuat dalam menghadapi tekanan dan perubahan cuaca. Oleh karena itu, Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Penggunaan Fly Ash Pltu Pama 1 Sebagai Material Surface Jalan Angkut Batubara dengan variasi penambahan 10%, 20%, 30%, 40% dari berat semen, dan menggunakan mutu 20 Mpa. Metode yang penelitian yang digunakan adalah eksperimental. Hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran batu meta dan flyash pada nilai kuat tekan tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan yang dihasilkan, dengan nilai kuat tekan sebesar 12,7 MPa. Modulus elastisitas tidak berpengaruh signifikan terhadap modulus elastisitas yang dihasilkan, dengan dengan presentase kenaikan hingga 70% dibandingkan dengan beton normal.

**Kata Kunci :** Flyash (FA), Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Jalan Angkut Batubara

### 1. PENDAHULUAN

Sektor pertambangan merupakan kontributor signifikan bagi perekonomian Indonesia, khususnya dalam pendapatan devisa negara. Hal ini dibuktikan dengan pencapaian Pendapatan Negara Bukan Pajak (PNBP) dari sektor pertambangan yang mencapai 173,5 triliun rupiah pada Desember 2022, melampaui target awal 101,8 triliun rupiah [1]. Sebagai salah satu sektor yang memiliki dampak besar terhadap perekonomian, industri pertambangan di Indonesia terus

berkembang, dengan banyak perusahaan yang terlibat dalam berbagai aspek operasionalnya, mulai dari eksplorasi hingga pengolahan hasil tambang.

Salah satu perusahaan yang aktif dalam industri pertambangan batubara adalah PT. Kalimantan Prima Persada (KPP) dan PT. Asmin Bara Bronang (ABB) yang menjalin kerjasama dalam penambangan batubara di Desa Sereak, Kecamatan Kapuas, Kabupaten Kapuas Tengah, Kalimantan Tengah, yang merupakan salah satu lokasi penting dalam industri pertambangan batubara di Kalimantan. Penambangan ini memiliki peran krusial dalam memasok kebutuhan energi dalam negeri dan turut berkontribusi terhadap perekonomian daerah. Dalam menjalankan operasionalnya, PT. Asmin Bara Bronang (ABB) menghadapi berbagai tantangan, salah satunya adalah keterbatasan pasokan batu split untuk kebutuhan surface hauling batubara, yang merupakan kegiatan pengangkutan batubara dari tambang ke tempat pengolahan atau pengiriman.

Batu split, yang digunakan sebagai bahan pengeras jalan, memiliki sifat yang sangat penting untuk memastikan kelancaran jalur transportasi batubara [2]. Tanpa batu split yang cukup, operasional haul road yang digunakan untuk pengangkutan batubara menjadi terhambat, yang bisa menyebabkan penurunan efisiensi dan peningkatan biaya operasional. Namun, pasokan batu split yang terbatas di area tersebut menjadi kendala utama bagi PT. Asmin Bara Bronang (ABB). Salah satu solusi yang dipertimbangkan adalah penggunaan batu Metasedimen sebagai pengganti batu split [3]. Namun, batu Metasedimen memiliki kekurangan signifikan yang membuatnya kurang efektif untuk keperluan ini [4]. Sebagai solusi inovatif, tim operasional PT. KPP mempertimbangkan penggunaan Fly Ash and Bottom Ash (FABA) dari PLTU PAMA 1 sebagai bahan perkerasan jalan hauling. FABA, yang terdiri dari 80-90% fly ash dan 10-20% bottom ash, telah terbukti aman berdasarkan uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) [5]. Meski fly ash tidak memiliki kekuatan mengikat secara alami, kombinasinya dengan kalsium hidroksida dapat menghasilkan kemampuan pengikat yang baik [5]. Peningkatan nilai CBR terjadi secara bertahap pada pemeraman 0 hari dan pada pemeraman 28 hari [6].

FABA dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam penyusunan lapisan perkerasan jalan, seperti pada lapisan pondasi atas (base), pondasi bawah (subbase), dan tanah dasar (subgrade)[5]. Pemanfaatan FABA ini bertujuan untuk mengurangi dampak dari pencemaran lingkungan. Agar pemanfaatan FABA pada lapisan perkerasan jalan dapat berjalan secara optimal, diperlukan proporsi yang tepat dalam penggunaannya sehingga jalan tidak mengalami kerusakan [7]. Berdasarkan penelitian sebelumnya kadar campuran terbaik sebagai material timbunan adalah kadar fly ash sebesar 73,125%, bottom ash sebesar 24,375% dan semen 2,5%[8]. Komposisi ini menunjukkan keseimbangan yang optimal antara kekuatan dan stabilitas material, sehingga dapat meningkatkan kualitas lapisan perkerasan jalan [9]. Penggunaan campuran ini juga dapat meminimalkan penggunaan bahan baku alami serta mengurangi jumlah limbah industri, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan [10]. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimal dalam pembuatan jalan tambang menggunakan enam bahan: Semen PCC, Limbah Fly Ash, Batu Split, Batu Metasedimen, Pasir, dan Air, untuk menghasilkan lapisan surface jalan hauling batubara yang berkualitas di Desa Sereak, Kapuas.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain penelitian eksperimental, dengan proses pengujian terhadap sampel dalam laboratorium. Desain eksperimental yang digunakan adalah desain True-Experimental yang merupakan suatu penelitian yang bertujuan mengontrol variabel luar yang berpengaruh terhadap aktivitas eksperimen sehingga pengujian dapat berfokus pada sampel dari populasi yang telah dipilih [10]. Sedangkan terkait sampel penelitian sebagai bentuk perwakilan dari populasi yang diteliti melalui proses penelitian yang relevan dengan jenis penelitian yang digunakan. Dalam desain penelitian eksperimen, sampel penelitian yang dimaksud merupakan sampel uji, dalam proses meneliti objek tertentu, yang sengaja dibuat untuk mendapatkan nilai atau gambaran yang tepat dalam sebuah tindakan, proyek maupun pengamatan. Maka dari itu dalam penelitian ini sampel uji dilakukan dengan banyak desain campuran bahan uji, yang materinya tersusun oleh Fly Ash, yang dicampurkan dengan bahan materi lainnya berupa Semen PCC, Batu Split, Batu Metasedimen, Pasir serta air. Uji sampel akan dilakukan di Laboratorium dengan persentase setiap sampel yang cukup berbeda-beda, serta masa perawatan selama 28 hari. Sampel uji yang akan digunakan terdiri dari beberapa komposisi yang nantinya akan dilakukan pengujian. Maka dari itu sampel tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini:

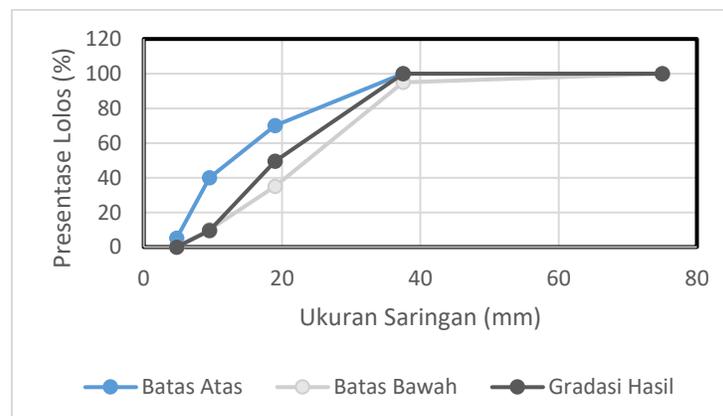
Tabel 1. Sampel Penelitian

Kode	FABA	Semen	Batu Split	Batu Metasedimen	Pasir
BN	0%	100%	30%	70%	100%
BC1	10%	90%	30%	70%	100%
BC2	20%	80%	30%	70%	100%
BC3	30%	70%	30%	70%	100%
BC4	40%	60%	30%	70%	100%

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

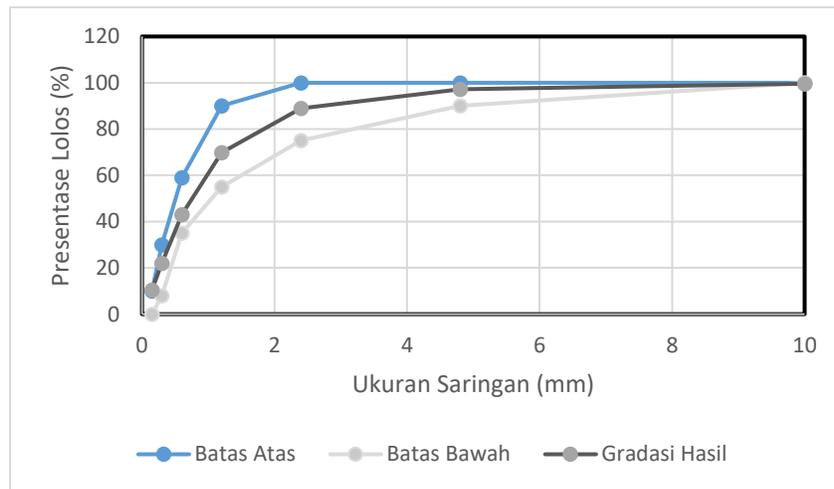
### 3.1. Hasil Pemeriksaan Agregat

Pengujian agregat kasar bertujuan untuk mengetahui spesifikasi dari agregat kasar. Pengujian pada agregat kasar meliputi uji kadar air, uji berat jenis dan penyerapan, pemeriksaan gradasi dan uji berat isi agregat halus. Hasil uji agregat kasar menunjukkan agregat kasar memenuhi standar yang telah ditetapkan pada pengujian agregat kasar yaitu sebesar 6-7,1 [10]. Modulus halus butir didapatkan nilai sebesar 6,41 dimana nilai tersebut memenuhi standar yang ditetapkan. Hasil ayakan agregat kasar ditampilkan dalam grafik berikut ini.



Gambar 1. Grafik 1 (Grafik Gradasi Ayakan Agregat Kasar)

Berdasarkan gambar tersebut dapat dinyatakan bahwa grafik pengujian gradasi agregat kasar menunjukkan gradasi ayakan tidak melewati batas atas maupun batas bawah yang telah ditentukan. Pengujian agregat halus bertujuan untuk mengetahui spesifikasi dari agregat halus. Pengujian pada agregat halus sesuai dengan SNI 03-1968-1990 meliputi uji kadar air, uji berat jenis dan penyerapan, pemeriksaan gradasi dan uji berat isi agregat halus [11]. Hasil uji agregat kasar menunjukkan bahwa kadar air, modulus kehalusan, berat jenis dan penyerapan, serta berat isi telah memenuhi standar yang telah ditetapkan pada pengujian agregat halus. Modulus halus butir didapatkan nilai sebesar 3,69 dan termasuk kedalam jenis pasir daerah 2 (Pasir sedang) [12]. Pasir dengan modulus kehalusan di kisaran 3,0 hingga 3,7 umumnya memiliki ukuran butir yang cocok untuk campuran perkerasan jalan, memberikan keseimbangan antara kepadatan dan daya serap air [13]. Sedangkan hasil ayakan ditampilkan dalam gambar berikut ini.



Gambar 2. Grafik 2 (Grafik Gradasi Ayakan Agregat Kasar)

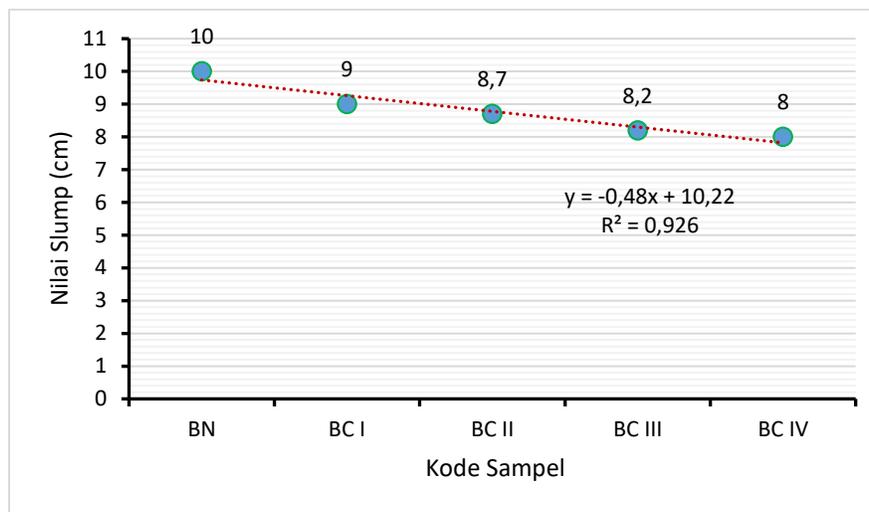
Berdasarkan grafik tersebut pengujian gradasi agregat halus menunjukkan gradasi ayakan tidak melewati batas atas maupun batas bawah yang telah ditentukan.

### 3.2. Perencanaan Campuran Desain

Perencanaan campuran beton normal dapat dilakukan dengan berbagai metode. Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton yang digunakan adalah metode SNI 03-2834-2000. Campuran beton menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Perencanaan campuran beton untuk  $f'c = 20$  MPa pada umur 28 hari [1].

### 3.3. Hasil Pengujian Slump Test

Pengujian mengetahui nilai slump menggunakan kerucut abraham dengan ukuran diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dengan tinggi 30 cm. Dari setiap campuran adukan beton tersebut dilakukan pengujian slump. Hasil Slump Test dapat dilihat pada gambar grafis sebagai berikut,



**Gambar 3.** Grafik 3 (Grafik Hubungan Nilai Slump dengan Benda Uji)

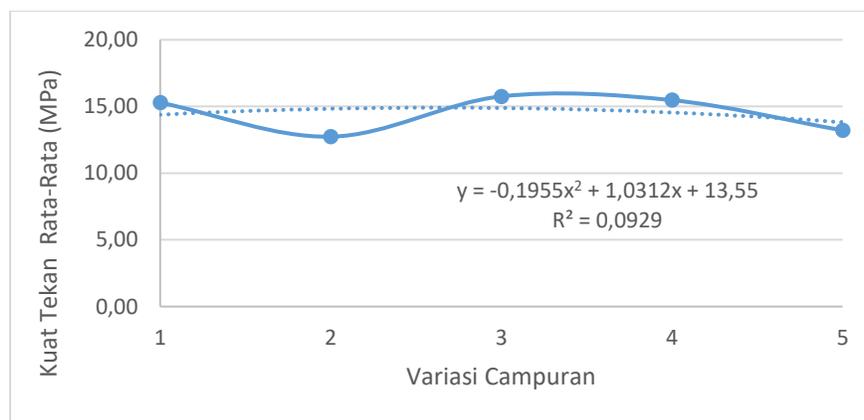
Berdasarkan hasil uji dan tampilan grafik yang disajikan pada Gambar 3, dapat disimpulkan bahwa nilai slump beton memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekentalan dan workabilitas beton. Semakin kecil nilai slump, semakin tinggi kekentalan beton, yang berpengaruh langsung pada kemudahan dalam pengecoran dan pembentukan beton di lapangan. Nilai slump ini mencerminkan sejauh mana beton dapat mengalir dengan mudah sebelum mulai mengeras. Pada campuran beton dengan perbandingan 1PC: 2Ps: 3Kr, nilai slump yang tercatat adalah 10 cm. Campuran ini dapat dikategorikan sebagai beton dengan workabilitas sedang, yang umumnya memberikan kenyamanan dalam proses pencampuran dan pengecoran. Di sisi lain, pada campuran beton 1PC (Semen 90% + Flyash 10%): 2Ps: 3Kr (Meta 70% + Split 30%), nilai slump sedikit menurun menjadi 9 cm. Penurunan ini mengindikasikan bahwa penambahan Flyash pada semen berpengaruh pada penurunan workabilitas, mungkin karena Flyash memiliki sifat yang lebih halus dan dapat meningkatkan viskositas campuran beton [14].

Selanjutnya, pada campuran dengan perbandingan 1PC (Semen 80% + Flyash 20%): 2Ps: 3Kr (Meta 70% + Split 30%), nilai slump tercatat 8,7 cm, yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan campuran sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan komposisi Flyash dalam campuran beton berpotensi menurunkan nilai slump dan meningkatkan kekentalan beton, yang mengindikasikan berkurangnya workabilitas beton segar. Pada campuran 1PC (Semen 70% + Flyash 30%): 2Ps: 3Kr (Meta 70% + Split 30%), nilai slump tercatat 8,2 cm, yang menunjukkan penurunan signifikan dalam hal workabilitas dibandingkan dengan campuran dengan komposisi Flyash yang lebih rendah. Penurunan ini sejalan dengan sifat Flyash yang cenderung mengikat lebih banyak air dan meningkatkan kepadatan beton [15]. Pada campuran terakhir, yaitu 1PC (Semen 60% + Flyash 40%): 2Ps: 3Kr (Meta 70% + Split 30%), nilai slump tercatat sebagai yang terendah, yaitu 8 cm. Hal ini memperkuat temuan bahwa semakin tinggi kandungan Flyash, semakin rendah nilai slump, yang berdampak pada peningkatan kekentalan beton. Berdasarkan data ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan Flyash dalam campuran beton cenderung mengurangi kemampuan beton untuk mengalir dengan mudah. Grafik yang ditampilkan dalam Gambar 3 menggambarkan hubungan negatif yang jelas antara nilai slump dan persentase penggunaan bahan tambahan (Flyash dan Meta). Penurunan nilai slump seiring dengan peningkatan kandungan Flyash dalam campuran beton ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa Flyash dapat meningkatkan

kekentalan beton segar, meskipun memberikan manfaat dalam hal ketahanan terhadap korosi dan pengurangan emisi karbon dalam pembuatan beton [15]. Hasil regresi yang diperoleh, yaitu persamaan  $y = -0,48x + 10,22$  dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,926$ , mengindikasikan hubungan yang sangat kuat antara persentase Flyash (variabel x) dengan nilai slump beton (variabel y). Nilai  $R^2$  yang mendekati 1 menunjukkan bahwa persentase Flyash dapat menjelaskan 92,6% variasi nilai slump beton, yang mengindikasikan hubungan yang signifikan dan dapat diprediksi antara kedua variabel tersebut.

### 3.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada beton berusia 28 hari dan telah melalui masa perawatan. Pengujian ini dilakukan pada benda silinder berukuran tinggi 30 cm diameter 15 cm dan sebanyak 15 benda uji. Alat yang digunakan untuk pengujian kuat tekan beton adalah Compression Testing Machine [16]. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata benda uji beton normal yaitu sebesar 15,3 MPa, dan berikut untuk beberapa hasil dari campuran Fly Ash, ditampilkan dengan grafik sebagai berikut,



**Gambar 4.** Grafik 4 (Grafik Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata dengan Variasi Campuran)

Maka dijelaskan bahwa Pengaruh variasi campuran pada beton terhadap kuat tekan menunjukkan hasil kuat tekan tertinggi pada variasi campuran 1Pc (Semen 80%+Flyash 20%):2 Ps:3 Kr (Meta 70%+Split30%) dengan nilai kuat tekan 15,8 MPa. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan kenaikan nilai kuat tekan pada 2 variasi benda uji dibandingkan dengan benda uji beton normal yaitu pada benda uji ke-3 dan ke-4. Sehingga untuk mengetahui pengaruh flyash dan batu meta terhadap kenaikan kuat tekan diajukan hipotesis sebagai berikut:

$H_0$  = Beton campuran tidak berpengaruh terhadap kenaikan kuat tekan beton.

$H_1$  = BS berpengaruh terhadap kenaikan kuat lentur beton.

$H_0 = \alpha < P\text{-value}$

$H_1 = \alpha > P\text{-value}$

$\alpha = 0,05 < P\text{-value} = 0,5323$

Untuk menyatakan hubungan tersebut maka dilakukan Uji anova dengan hasil data sebagai berikut.

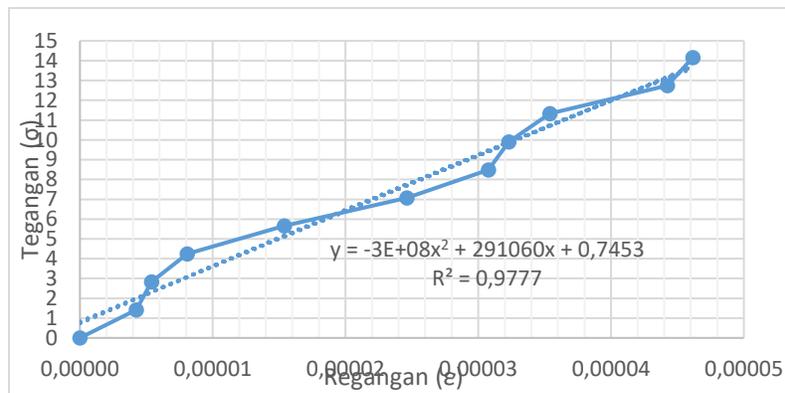
Tabel 2. Hasil Anova Kuat Tekan

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	23,753	4	5,93819	0,83634	0,5323	3,47805
Within Groups	71,002	10	7,10018			
Total	94,755	14				

Maka disimpulkan bahwa kuat tekan dimana  $\alpha$  lebih kecil dibandingkan P-value yang menunjukkan bahwa campuran flyash dan batu meta tidak berpengaruh pada kenaikan kuat tekan beton. Hasil perbandingan kuat tekan ditunjukkan dengan nilai p-value sebesar 0,5323 dari nilai tersebut kenaikan kuat tekan tidak mengalami perbedaan secara signifikan.

### 3.5. Hasil Pengujian Modulus Elastis

Pengujian ini menggunakan alat CTM (Compression Testing Machine) dan juga alat ukur regangan (ekstensometer) [17]. Hasil uji diperoleh dari hasil pembacaan dan pengamatan dial gauge secara langsung bersamaan dengan pengujian kuat tekan dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan pada beban maksimum. Sehingga diperoleh hubungan regangan dan tegangan yang terjadi pada beton normal sebagai berikut,

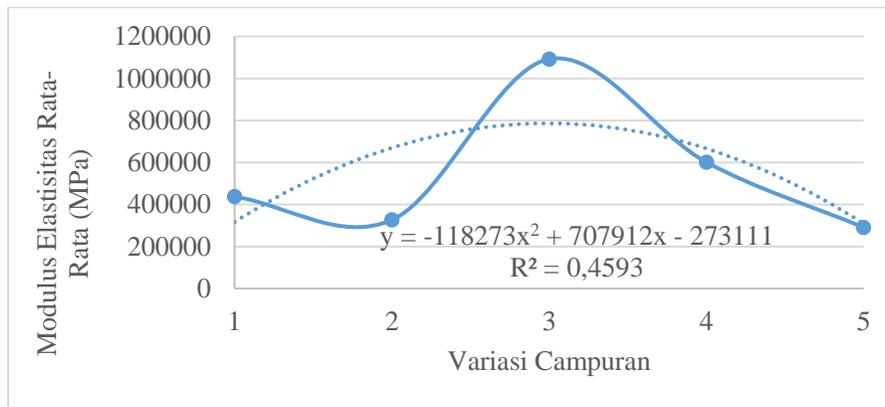


Gambar 5. Grafik 5 (Grafik Hubungan Rengangan dan Tegangan)

Berdasarkan hasil perhitungan modulus elastisitas pada berbagai campuran beton, terlihat adanya pengaruh signifikan dari penambahan Flyash dan batu metasedimen (Meta) terhadap kekakuan beton. Modulus elastisitas beton normal tercatat sebesar 437.102,8 MPa, yang menjadi acuan untuk beton konvensional. Namun, penurunan modulus elastisitas terlihat pada campuran dengan variasi Flyash. Pada campuran 1PC (Semen 90% + Flyash 10%) : 2Ps : 3Kr (Meta 70% + Split 30%), nilai modulus elastisitas rata-rata tercatat sebesar 326.434,2 MPa, dan semakin menurun pada campuran 1PC (Semen 60% + Fly ash 40%) : 2Ps : 3Kr (Meta 70% + Split 30%) yang hanya mencapai 291.081,6 MPa. Penurunan ini menunjukkan bahwa kandungan Fly ash yang lebih tinggi cenderung mengurangi kekakuan beton, kemungkinan disebabkan oleh penurunan kandungan semen yang berperan besar dalam memberikan ikatan dan kekuatan pada beton [18]. Fly ash, meskipun memiliki manfaat dalam mengurangi emisi karbon, dapat mengurangi karakteristik kekakuan beton jika digunakan dalam jumlah yang lebih banyak.

Namun, pada campuran beton dengan proporsi Flyash yang lebih moderat, seperti pada 1PC (Semen 80% + Flyash 20%) : 2Ps : 3Kr (Meta 70% + Split 30%) dan 1PC (Semen 70% + Flyash 30%)

: 2Ps : 3Kr (Meta 70% + Split 30%), yang masing-masing memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 1.092.275,1 MPa dan 601.207,6 MPa, kekakuan beton masih dapat dipertahankan meskipun terjadi penurunan dari nilai beton normal. Ini menunjukkan bahwa batu Meta, yang digunakan dalam campuran, berperan dalam mempertahankan kekakuan beton meskipun ada penurunan kadar semen [19]. Grafik yang dihasilkan dari perhitungan modulus elastisitas ini menunjukkan hubungan negatif antara kadar Fly ash dengan modulus elastisitas beton, namun dengan keberadaan batu Meta, perubahan dalam kekakuan beton dapat lebih terkontrol. Hasil ini menunjukkan pentingnya keseimbangan antara jenis bahan tambahan yang digunakan dalam campuran beton untuk mencapai sifat mekanik yang diinginkan, terutama dalam proyek-proyek yang membutuhkan beton dengan tingkat kekakuan tertentu [14]. Dari hasil diatas diperoleh grafik yang menunjukkan pengaruh campuran batu metasedimen dan flyash terhadap modulus elastisitas beton dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 6. Grafik 6 (Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dan Variasi Campuran)

Maka dari hasil uji diatas untuk mengetahui hubungan antara campuran flyash dan batu meta terhadap modulus elastis, maka dilakukan uji Anova Single Factor dengan hasil sebagai berikut,

Tabel 3. Hasil Anova Modulus Elastisitas

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,27935E+12	4	3,19837E+11	1,159637529	0,38447	3,478049691
Within Groups	2,75808E+12	10	2,75808E+11			
Total	4,03743E+12	14				

Berdasarkan hipotesis:

H0 = Beton campuran tidak berpengaruh terhadap kenaikan kuat tekan beton.

H1 = BS berpengaruh terhadap kenaikan kuat lentur beton.

H0 =  $\alpha < P\text{-value}$

H1 =  $\alpha > P\text{-value}$

Diperoleh hasil analisis Anova modulus elastisitas dimana  $\alpha = 0,05$  lebih kecil dibandingkan  $P\text{-value} = 0,38447$  yang menunjukkan bahwa campuran flyash dan batu meta tidak berpengaruh secara signifikan terhadap modulus elastisitas beton. Modulus elastisitas tertinggi terjadi pada campuran

1Pc(Semen 80%+Flyash 20%):2Ps:3Kr(Meta 70%+Split30%) nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 1092275,1 MPa.

#### 4. KESIMPULAN

Pengaruh campuran batu meta dan flyash pada nilai kuat tekan tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan yang dihasilkan, ditunjukkan dengan nilai  $\alpha = 0,05$  lebih kecil dibandingkan P-value 0,5323. Nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada campuran 1Pc (Semen 80%+Flyash 20%):2 Ps:3 Kr (Meta 70%+Split30%) dengan nilai kuat tekan 15,8 MPa. Sedangkan, nilai terkecil terjadi pada campuran 1Pc (Semen 90%+Flyash 10%):2 Ps:3 Kr (Meta 70%+Split30%) dengan nilai kuat tekan sebesar 12,7 MPa. Pengaruh campuran batu meta dan flyash pada modulus elastisitas tidak berpengaruh signifikan terhadap modulus elastisitas yang dihasilkan, ditunjukkan dengan nilai  $\alpha = 0,05$  lebih kecil dibandingkan P-value 0,38447. Kenaikan paling tinggi nilai modulus elastisitas terjadi pada campuran 1Pc (Semen 80%+Flyash 20%):2 Ps:3 Kr (Meta 70%+Split30%) dengan dengan presentase kenaikan hingga 70% dibandingkan dengan beton normal.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas taufiq dan hidayah-Nya, sehingga Jurnal ini dapat terselesaikan dengan baik sebagai syarat memenuhi beban studi sarjana pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Widyagama Malang. Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua atas dukungan, doa, dan motivasinya. Terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Aji Suraji, S.T., M.Sc. dan Bapak Ir. Abdul Halim, MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam proses perkuliahan dan penyelesaian skripsi. Penulis juga berterima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Dafid Irawan, ST., MT., selaku ketua jurusan, seluruh dosen dan jajarannya, khususnya Mas Alif, serta Bapak Dr. Ir. Candra Aditya, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik. Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan yang selalu membantu dan memotivasi, serta kepada diri sendiri atas perjuangan dan semangatnya hingga saat ini.

#### 6. REFERENSI

- [1] SNI 03-2834-2000, "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal Sni 03-2834-2000," Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, pp. 1–34, 2000.
- [2] D. Haryadi, "Pengantar Hukum Pertambangan Mineral Dan Batu Bara," *Pengantar Hukum Pertambangan Mineral Dan Batu Bara*, p. 90, 2018.
- [3] A. Surandono and P. M. Suci, "Analisa Teknis Perbaikan Perkerasan Lentur Dengan Metode Aashto (Studi Kasus : Pada Ruas Jalan Ki Hajar Dewantara Kecamatan Batangharikabupaten Lampung Timur)," *Teknik Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2016.
- [4] A. D. Putra, N. Sulaiman, N. Roslan, H. Jamil, U. Hamzah, and K. Alias, "Application of Seismic Reflection Survey for Aquifer Layers Characterization at the Felda Lepar Utara Area, Pahang, Malaysia," *Sains Malaysiana*, vol. 51, no. 7, pp. 1969–1977, 2022, doi: 10.17576/jsm-2022-5107-02.
- [5] T. S. Indriyati, A. Malik, and Y. Alwinda, "Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah Faba (Fly Ash Dan Bottom Ash) Pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan," *Jurnal Teknik*, vol. 13, no. 2, pp. 112–119, 2019, doi: 10.31849/teknik.v13i2.3168.

- [6] R. Hamdani and S. Satibi, "Karakteristik Mekanis dari Campuran Abu Terbang dan Abu Dasar dalam Geoteknik," *Jom F TEKNIK*, vol. 4, no. 1, pp. 2–6, 2017.
- [7] A. Suraji, A. T. Sudjiyanto, and R. Riman, "Analysis of Road Surface Defects Using Road Condition Index Method on the Caruban-Ngawi Road Segment," *Journal of Science and Applied Engineering*, vol. 1, no. 2, 2018, doi: 10.31328/jsae.v1i2.887.
- [8] H. Kusuma, M. J. Alkas, and H. Sutanto, "Analisis Nilai Cbr Campuran Faba Dan Semen Sebagai Material Timbunan Pilihan," *Teknologi Sipil : Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2022, doi: 10.30872/ts.v6i1.7718.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Penentuan Indeks Kondisi Perkerasan (IKP)," *SE Menteri PUPR*, vol. 1, no. 1, pp. i–79, 2016.
- [10] P. Riyanto, A. Rahmawati, and A. Nurhidayati, "Studi Eksperimen Kuat Lentur Beton Ramah Lingkungan Berbahan Tambah Abu Ampas Tebu Dan Serat Bambu," *Seminar Nasional Pendidikan Vokasi*, vol. 2, pp. 487–492, 2017.
- [11] SNI 03-1968-1990, "Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990," *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, pp. 1–17, 1990.
- [12] A. R. Prabowo and D. A. Sofia, "Analisis Pengaruh Jenis Pasir Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 46–52, 2024.
- [13] H. J. Koromath, F. L. Desei, and Y. Kadir, "ANALISIS KONDISI KERUSAKAN JALAN MENGGUNAKAN METODE PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) DAN INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (IRI) BESERTA ALTERNATIF PENANGANANNYA (Studi Kasus: Jalan Samaun Pulubuhu - Jalan Boliohuto Huidu - Jalan A.K. Luneto)," *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, 2022, doi: 10.33019/fropil.v10i1.2785.
- [14] A. Tahir and A. Setiawan, "Kinerja Durabilitas Campuran Beton Aspal Ditinjau Dari Faktor Variasi Suhu Pemadatan Dan Lama Perendaman," *Jurnal SMARTek*, vol. 7, no. 1, pp. 45–61, 2009.
- [15] K. Sahu, P. Dewangan, F. Ash, F. Ash, and P. Ash, "Mixing of Fly Ash with Coal Mine Overburden to Increase the Slope Stability," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 6, no. 12, pp. 1835–1840, 2017, doi: 10.21275/art20179011.
- [16] H. Huang, C. Wang, M. Zhou, and L. Qu, "Compressive strength detection of tunnel lining using hyperspectral images and machine learning," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 153, no. July, p. 105979, 2024, doi: 10.1016/j.tust.2024.105979.
- [17] B. A. R *et al.*, "Beton Bertulang Agregat Limbah Batu Onyx Tulungagung," *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 15, no. 1, pp. 45–50, 2021.
- [18] M. Ansor, A. Halim, and A. Suraji, "Uji Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas dengan Kombinasi Pasir Hitam dan Coklat dengan Tambahan Sika," *Prosida Widya Saintek*, vol. 01, no. 01, pp. 31–40, 2022.
- [19] J. Sun, "Enhancing Coal Mining Efficiency: A Unified Platform for Intelligent Management and Control," *International Journal of Distributed Systems and Technologies*, vol. 15, no. 1, pp. 1–21, 2024, doi: 10.4018/IJDST.338327.