

Journal homepage: <http://jurnal.polinema.ac.id/>

PENGARUH KADAR *FIBER POLYPROPYLENE* DAN SUBSTITUSI *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON

Yudhistiro Pambudi Luhur¹, Sugeng Riyanto²

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³
tiroyudhis25@gmail.com¹, sugeng.riyanto@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi yang umum digunakan karena kekuatan tekan dan durabilitasnya. Namun, karakteristik getas beton menyebabkan kerentanan terhadap retak. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh penambahan serat polypropylene (PPF) dan substitusi fly ash (FA) terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton setelah perendaman selama 28 hari. Fly ash digunakan dalam kadar 0%, 10%, 20%, dan 30%, sedangkan PPF ditambahkan sebanyak 0%, 0,25%, dan 0,5%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa FA cenderung menurunkan kekuatan awal beton, namun meningkatkan kekuatan jangka panjang. Penambahan PPF dalam kadar optimal dapat meningkatkan ketahanan retak. Kombinasi terbaik terdapat pada variasi 10% FA dan 0,25% PPF, yang menghasilkan kuat tekan dan tarik belah tertinggi dibanding variasi lain, namun masih di bawah beton normal. Oleh karena itu, kombinasi tersebut dinilai kurang efektif untuk aplikasi struktural dan memerlukan kajian lanjutan.

Kata Kunci: Fly ash, fiber polypropylene, kuat tekan, kuat tarik belah, beton.

ABSTRACT

Concrete is a widely used construction material due to its high compressive strength and durability. However, its brittle nature makes it prone to cracking. This study evaluates the effect of adding polypropylene fiber (PPF) and substituting cement with fly ash (FA) on the compressive and splitting tensile strength of concrete after 28 days of water curing. FA was used at 0%, 10%, 20%, and 30% replacement levels, while PPF was added at 0%, 0.25%, and 0.5% dosages. Results showed that FA tends to reduce early strength but improves long-term performance. PPF enhances crack resistance when used in optimal amounts. The best performance was observed in the mix with 10% FA and 0.25% PPF, which produced the highest compressive and tensile strength among the tested variations, although still lower than normal concrete. Therefore, this combination is considered less suitable for structural applications and requires further investigation.

Keywords: Fly ash, polypropylene fiber, compressive strength, splitting tensile strength, concrete.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang banyak digunakan karena kekuatan tekan dan durabilitasnya yang tinggi. Namun, sifat getas beton menjadikannya rentan terhadap retak, terutama akibat beban tarik dan gaya dinamis. Untuk mengatasi keterbatasan ini, inovasi dilakukan melalui penambahan bahan tambahan seperti serat polypropylene (PPF) dan fly ash (FA).

Fiber polypropylene berperan dalam meningkatkan ketahanan retak, daktilitas, serta perilaku pasca-retak beton. Serat ini ringan, tahan air, tahan bahan kimia, dan mampu menahan tegangan tarik, sehingga efektif dalam memperkuat beton tanpa mengubah sifat dasarnya. Di sisi lain, fly ash, sebagai residu pembakaran batu bara, terbukti dapat meningkatkan kualitas beton melalui reaksi pozzolanik yang menghasilkan gel C-S-H, memperbaiki mikrostruktur, serta mengurangi penggunaan semen dan emisi karbon.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi kadar fiber polypropylene dan fly ash terhadap kuat tekan dan tarik belah beton. Dengan kombinasi material ramah lingkungan dan teknologi material komposit, diharapkan dapat diperoleh formulasi beton yang lebih kuat, tahan lama, dan berkelanjutan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental yang bertujuan menganalisis pengaruh variasi kadar serat polypropylene (PPF) dan fly ash (FA) terhadap kuat tekan dan tarik belah beton. Benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dibuat dengan kombinasi kadar FA (0%, 10%, 20%, 30%) dan PPF (0%, 0,25%, 0,5%), masing-masing sebanyak 60 sampel untuk uji tekan dan 36 sampel untuk uji tarik.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Campuran beton dirancang berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan mutu rencana 30 MPa. Agregat diuji sebelumnya untuk kadar air, berat jenis, gradasi, keausan, dan kandungan organik. Nilai slump beton segar diukur sesuai SNI 1972:2008, dan perawatan dilakukan dengan metode perendaman selama 28 hari.

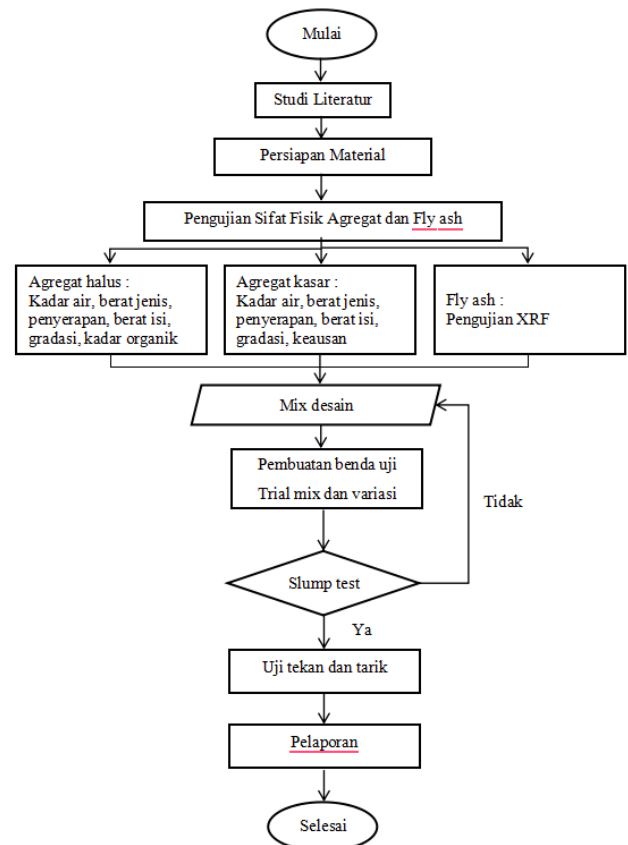
Pengujian kuat tekan menggunakan mesin tekan sesuai SNI 1974:2011, sedangkan uji tarik belah mengacu pada SNI 03-2491-2002. Analisis data dilakukan menggunakan ANOVA dua arah dengan interaksi untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel dan interaksinya terhadap kekuatan beton.

Tabel 2. 1 Rencana Jumlah Benda Uji Kuat Tekan

Fiber PP	Fly ash			
	0%	10%	20%	30%
0%	5	5	5	5
0,25%	5	5	5	5
0,5%	5	5	5	5

Tabel 2. 2 Rencana Jumlah Benda Uji Kuat Tarik Belah

Fiber PP	Fly ash			
	0%	10%	20%	30%
0%	3	3	3	3
0,25%	3	3	3	3
0,5%	3	3	3	3



Gambar 2. 1 Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Karakteristik Materisil

Pengujian karakteristik material dilakukan untuk mengetahui mutu dan kesesuaian material terhadap standar yang berlaku sebelum digunakan dalam campuran beton. Agregat halus dan kasar diuji berdasarkan parameter fisik seperti kadar air, berat jenis, berat isi, kadar organik, keausan, dan gradasi.

Tabel 3. 1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Uraian	Satuan	Hasil	Standar
Kadar Air	%	2,24	SNI 1971:2011
BJ Kering (Oven)	gr/cm ³	2,63	SNI 1970:2008
BJ JPK (SSD)	gr/cm ³	2,67	SNI 1970:2009
BJ Semu	gr/cm ³	2,74	SNI 1970:2010
Penyerapan	%	1,55	SNI 1970:2011
Berat Isi Lepas	gr/cm ³	1,45	SNI 03-4804-1998
Berat Isi Tumbuk	gr/cm ³	1,61	SNI 03-4804-1999
Berat Isi Goyang	gr/cm ³	1,6	SNI 03-4804-2000
Kadar Organik	%	0,56	SNI 2816:2014

Gradasi Ag. Halus	%	2,59	SNI ASTM C136:2012
Zona Gradasi		2	SNI 03-2834-2000

Tabel 3. 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Uraian	Satuan	Hasil	Standar
Kadar Air	%	1,27	SNI 1971:2011
BJ Kering (Oven)	gr/cm ³	2,79	SNI 1969:2008
BJ JPK (SSD)	gr/cm ³	2,83	SNI 1969:2009
BJ Semu	gr/cm ³	2,91	SNI 1969:2010
Penyerapan	%	1,47	SNI 1969:2011
Berat Isi Lepas	gr/cm ³	1,38	SNI 03-4804-1998
Berat Isi Tumbuk	gr/cm ³	1,51	SNI 03-4804-1999
Berat Isi Goyang	gr/cm ³	1,53	SNI 03-4804-2000
Keausan	%	18	SNI 2417:2008
Gradasi Ag. Kasar	%	6,75	SNI ASTM C136:2012
Zona Gradasi	Maks 20mm		SNI 03-2834-2000

Tabel 3. 3 Hasil Uji XRF Fly Ash

Unsur	Konsentrasi (%)
Al ₂ O ₃	11
SiO ₂	32,8
P ₂ O ₅	0,51
K ₂ O	2,06
CaO	18,3
TiO ₂	1,4
V ₂ O ₅	0,06
Cr ₂ O ₃	0,086
MnO	0,21
Fe ₂ O ₃	27
NiO	0,03
CuO	0,066

B. Mix Design

Perencanaan campuran beton dilakukan untuk menentukan proporsi material penyusun beton guna mencapai kekuatan tekan yang ditargetkan secara efisien dan ekonomis. Pada penelitian ini, mix design disusun berdasarkan acuan SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana sebesar 30 MPa pada umur 28 hari.

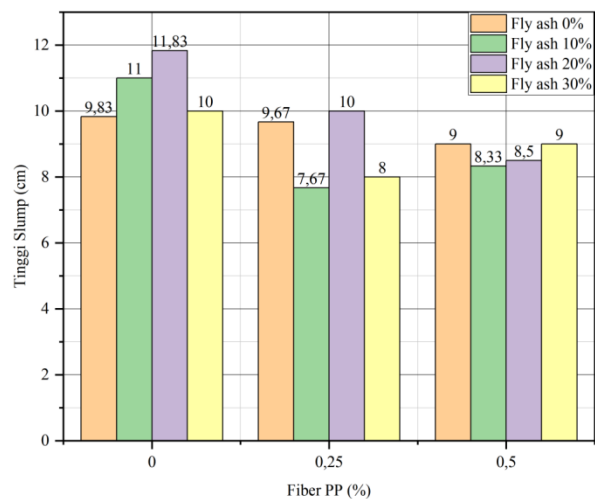
Tabel 3. 4 Proporsi Campuran Material

Variasi	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	FA (kg)	PPF (kg)
0FA0PP	23,6	10,7	38,4	57,1	0	0
10FA0PP	21,24	10,7	38,4	57,1	2,36	0
20FA0PP	18,88	10,7	38,4	57,1	4,72	0

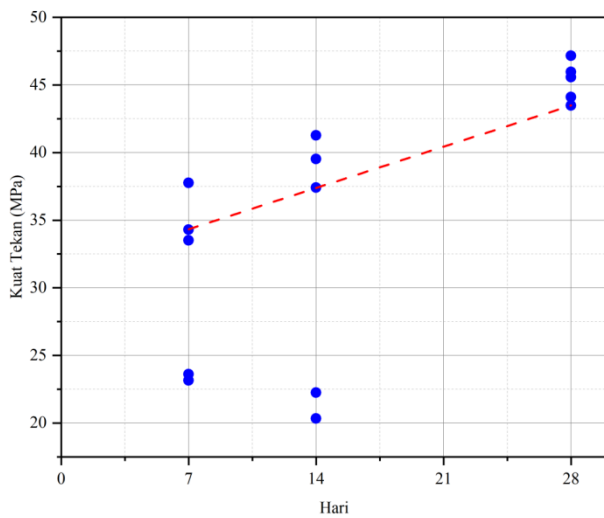
30FA0PP	16,52	10,7	38,4	57,1	7,08	0
0FA0,25PP	23,6	10,7	38,4	57,1	0	0,059
10FA0,25PP	21,24	10,7	38,4	57,1	2,36	0,059
20FA0,25PP	18,88	10,7	38,4	57,1	4,72	0,059
30FA0,25PP	16,52	10,7	38,4	57,1	7,08	0,059
0FA0,5PP	23,6	10,7	38,4	57,1	0	0,118
10FA0,5PP	21,24	10,7	38,4	57,1	2,36	0,118
20FA0,5PP	18,88	10,7	38,4	57,1	4,72	0,118
30FA0,5PP	16,52	10,7	38,4	57,1	7,08	0,118

C. Nilai Slump

Hasil pengujian slump beton menunjukkan bahwa variasi fly ash dan serat polypropylene (PP) memengaruhi kelecakan (workability) beton segar, dengan perubahan nilai slump yang tidak bersifat linier.

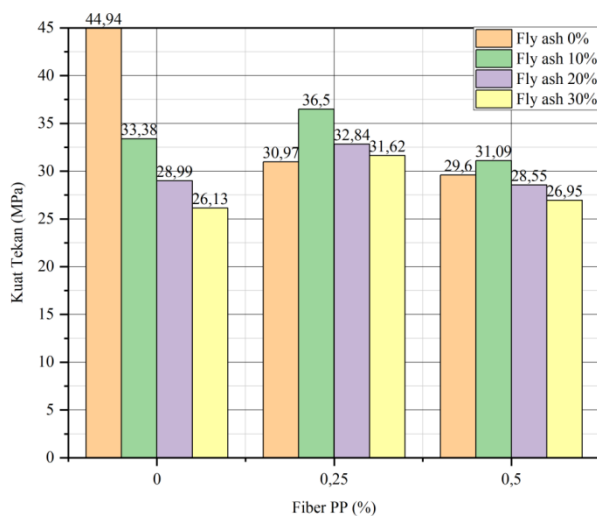
**Gambar 3. 1** Grafik Uji Slump Beton**D. Kuat Tekan**

Pada trial mix beton normal, kuat tekan beton normal meningkat seiring bertambahnya umur. Pada 7 hari, rata-rata kuat tekan mencapai 30,22 MPa (74% dari umur 28 hari), dengan peningkatan signifikan 6,7 MPa (22,2%) pada 14 hari. Nilai maksimum tercapai pada 28 hari sebesar 44,94 MPa, menunjukkan hidrasi dan perkembangan mikrostruktur beton berlangsung optimal sesuai karakteristik beton normal.



Gambar 3. 2 Hasil Uji Tekan Trial Mix

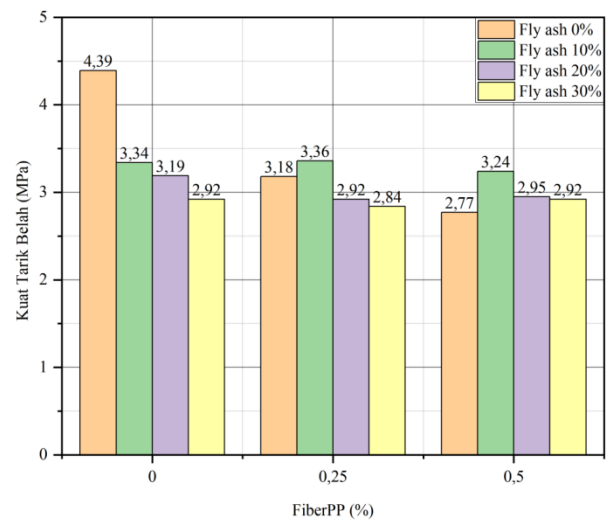
Kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi 10% fly ash + 0,25% PPF sebesar 36,5 MPa, tidak dapat melampaui beton normal (tanpa fly ash dan serat) sebesar 40,59 MPa. Penambahan fly ash secara umum menurunkan kuat tekan jika tidak diimbangi dengan serat. PPF 0,25% memberikan pengaruh positif terhadap kekuatan, sedangkan PPF 0,5% justru menurunkan kekuatan.



Gambar 3. 3 Grafik Hasil Uji Tekan

E. Kuat Tarik Belah

Kuat tarik tertinggi terjadi pada beton tanpa fly ash dan serat (4,39 MPa). Kombinasi terbaik adalah 10% fly ash + 0,25% PPF sebesar 3,36 MPa. Penambahan PPF dan fly ash dalam jumlah besar cenderung menurunkan kuat tarik belah.



Gambar 3. 4 Grafik Hasil Uji Tarik Belah Beton

F. Regresi Linear Berganda

Tabel 3. 5 Hasil Regresi Kuat Tekan Beton

Parameter	Value	Standard Error	t-Value	Prob > t
Intercept	37,719	1,423	26,509	9,606E-34
PP	-8,786	3,362	-2,614	0,01144
FA	-0,247	0,061	-4,018	1,737E-4

Tabel 3. 6 Statistik Model Regresi Kuat Tekan Beton

Parameter	Value
Number of Points	60
Degrees of Freedom	57
Residual Sum of Squares	1610,29322
R Value	0,53601
R-Square (COD)	0,28731
Adj. R-Square	0,2623

Hasil analisis regresi linier menunjukkan bahwa penambahan polypropylene (PP) dan fly ash (FA) cenderung menurunkan kuat tekan beton, dengan persamaan regresi:

$$f'c = 37,72 - 8,79 \cdot PP - 0,25 \cdot FA.$$

FA berpengaruh signifikan ($p = 0,00278$), sedangkan PP tidak signifikan ($p = 0,07067$). Nilai R^2 sebesar 0,18767 menunjukkan model hanya menjelaskan sebagian kecil variasi kuat tekan, sehingga prediksi model masih terbatas.

Tabel 3. 7 Hasil Regresi Kuat Tarik Belah Beton

Parameter	Value	Standard Error	t-Value	Prob > t
Intercept	3,706	0,166	22,314	1,759E-21
PP	-0,9716	0,392	-2,477	0,0186
FA	-0,0197	0,0072	-2,745	0,0097

Tabel 3. 8 Statistik Model Regresi Kuat Tekan Beton

Parameter	Value
Number of Points	36
Degrees of Freedom	33
Residual Sum of Squares	7,61992
R Value	0,54122
R-Square (COD)	0,29292
Adj. R-Square	0,25007

Berdasarkan analisis regresi linier, diperoleh persamaan kuat tarik belah beton:

$$f_t = 3,71 - 0,97 \cdot PP - 0,02 \cdot FA.$$

Penambahan PP dan FA cenderung menurunkan kuat tarik, dengan koefisien masing-masing signifikan ($p = 0,01857$ dan $0,0097$). Nilai R-Square 0,29292 dan Adjusted R-Square 0,25007 menunjukkan bahwa model menjelaskan 25–29% variasi kuat tarik, sehingga pengaruh keduanya cukup berarti untuk dipertimbangkan dalam campuran beton.

G. ANOVA

Perhitungan analisis varian (ANOVA) dilakukan dengan metode ANOVA 2 arah dengan interaksi dan hipotesis dimana:

- Hipotesis dengan faktor fiber polypropylene
H0= tidak ada pengaruh dari presentase fiber pp
H1= ada pengaruh dari presentase fiber pp
- Hipotesis dengan faktor fly ash
H0= tidak ada pengaruh dari presentase fly ash
H1= ada pengaruh dari presentase fly ash
- Hipotesis interaksi fiber pp dan fly ash
H0= tidak ada interaksi dari presentase fiber pp dan presentase fly ash
H1= ada interaksi dari presentase fiber pp dan presentase fly ash

Tabel 3. 9 Hasil ANOVA Kuat Tekan Beton

Sumber Varians	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata Rata Kuadrat	F hitung	F tabel
Faktor PP	175,82	2	114,07	6,67	3,19
Faktor Fly Ash	332,02	3	151,70	8,87	2,8
Interaksi	399,87	6	118,24	6,91	2,29
Error	1245,53	48	17,10		
Total	2153,23	59,00			

Faktor serat Polypropylene (PP):

Nilai F hitung = 6,67 > F tabel = 3,19

berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton.

Faktor Fly Ash (FA):

Nilai F hitung = 8,87 > F tabel = 2,80

berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton.

Interaksi PP dan Fly Ash:

Nilai F hitung = 6,91 > F tabel = 2,29

interaksi keduanya signifikan terhadap kuat tekan beton.

Tabel 3. 10 Hasil ANOVA Kuat Tarik Belah Beton

Sumber Varians	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata Rata Kuadrat	F hitung	F tabel
Faktor PP	1,57	2	0,79	4,09	3,4
Faktor Fly Ash	1,78	3	0,59	3,09	3,01
Interaksi	2,82	6	0,47	2,44	2,51
Error	4,62	24	0,19		
Total	10,80	35,00			

Faktor serat Polypropylene (PP):

F hitung = 4,09 > F tabel = 3,4

berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik belah beton.

Faktor Fly Ash (FA):

F hitung = 3,09 > F tabel = 3,01

berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik belah beton.

Interaksi PP dan FA:

F hitung = 2,44 < F tabel = 2,51

tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik belah beton.

H. Rencana Anggaran Biaya

Tabel 3. 11 RAB Material Variasi 0% FA 0% PPF Per m3

Kebutuhan	Satuan	Kuantitas	Harga Satuan	Harga total
Semen	Kg	445,65	Rp2.000	Rp891.300
Air	Kg	202,24	Rp14	Rp2.831
Pasir	Kg	724,72	Rp625	Rp452.950
Kerikil	Kg	1077,44	Rp750	Rp808.080
Total				Rp2.155.161

Tabel 3. 12 RAB Material Variasi 10% FA 0,25% PPF Per m3

Kebutuhan	Satuan	Kuantitas	Harga Satuan	Harga total
Semen	Kg	401,08	Rp2.000	Rp802.160
Air	Kg	202,24	Rp14	Rp2.831
Pasir	Kg	724,72	Rp625	Rp452.950
Kerikil	Kg	1077,44	Rp750	Rp808.080
Fly ash	Kg	44,57	Rp1.000	Rp44.570
Fiber PP	Kg	1,11	Rp300.000	Rp333.000
Total				Rp2.443.591

Estimasi biaya difokuskan pada kebutuhan material berdasarkan harga asli di lapangan, tanpa memperhitungkan tenaga kerja dan alat. Perhitungan dilakukan pada dua jenis campuran, yaitu beton normal dan beton variasi optimal

(10% fly ash + 0,25% PPF) untuk membandingkan efisiensi biaya material.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium serta analisis statistik terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan nilai slump beton dengan variasi kadar fiber polypropylene (PP) dan fly ash, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat Tekan: Fly ash dan serat polypropylene (PP) berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton, baik secara individu maupun interaksi. Fly ash cenderung menurunkan kuat tekan, namun penambahan 0,25% PP mampu menahan penurunan tersebut.
2. Kuat Tarik Belah: Fly ash dan PP berpengaruh signifikan secara individu, namun tidak menunjukkan interaksi signifikan. PP 0,25% efektif meningkatkan kuat tarik terutama pada campuran fly ash rendah.
3. Kadar Optimal Kuat Tekan: Tertinggi pada beton tanpa fly ash dan PP (44,94 MPa), namun alternatif efisien ada pada kombinasi 10% fly ash + 0,25% PP (36,5 MPa).
4. Kadar Optimal Kuat Tarik: Tertinggi pada beton tanpa fly ash dan PP (4,39 MPa), dengan alternatif efisien pada kombinasi 10% fly ash + 0,25% PP (3,36 MPa).
5. Nilai Slump: Penambahan PP menurunkan slump, terutama pada kadar 0,5%. Fly ash hingga 20% masih membantu workability. Kelembaban agregat sangat memengaruhi nilai slump.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun aplikasi di lapangan adalah sebagai berikut:

1. disarankan agar dilakukan koreksi kadar air agregat secara rutin setiap kali akan melakukan pengecoran.
2. Hindari penggunaan PP lebih dari 0,25% karena menurunkan workability dan kekuatan beton.
3. Lanjutkan penelitian dengan menambahkan variabel seperti superplasticizer, jenis agregat, dan metode curing.
4. Teliti lebih lanjut interaksi fly ash dan PP dari sisi mikrostruktur untuk memahami pengaruhnya terhadap kekuatan tarik.
5. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian pada parameter lain khususnya pada pengujian modulus elastisitas beton antara beton normal dan beton variasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional (2000) "SNI 03-2834-2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal."
- [2] Badan Standarisasi Nasional (2002) "SNI 03-2491-2002 Metode pengujian kuat tarik belah beton."

- [3] Badan Standarisasi Nasional (2008a) "SNI 1969:2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar."
- [4] Badan Standarisasi Nasional (2008b) "SNI 1970:2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus."
- [5] Badan Standarisasi Nasional (2008c) "SNI 2417:2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles."
- [6] Badan Standarisasi Nasional (2011a) "SNI 1971:2011 Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan." Tersedia pada: www.bsn.go.id.
- [7] Badan Standarisasi Nasional (2011b) "SNI 1974:2011 Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder." Tersedia pada: www.bsn.go.id.
- [8] Badan Standarisasi Nasional (2012) "SNI ASTM C136:2012 Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar." Tersedia pada: www.bsn.go.id.