

# KAJIAN KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH, DAN MODULUS ELASTISITAS BETON DENGAN BAHAN PENGGANTI SEMEN FLY ASH KADAR 15%, 30%, DAN 40% TERHADAP BETON NORMAL

<sup>1)</sup>Agus Setiya Budi, <sup>2)</sup>Endah Safitri, <sup>3)</sup>Fajar Bayu Kuncoro

<sup>1,2)</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

<sup>3)</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan Surakarta 57126, Telp 0271-634524

Email: [fajarbayu02@gmail.com](mailto:fajarbayu02@gmail.com)

## Abstract

*In this modern era, development in the world of construction in Indonesia continues to be intensified to support economic growth. Along with the intensification of development, the demand for concrete needs continues to increase. However, the use of concrete in large quantities can have an impact on the environment, namely carbon dioxide gas emissions caused by cement. One alternative to replace cement material is to use fly ash to reduce the environmental impact while improving the quality of the concrete. This study aims to examine the effect of content fly ash on the compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity of concrete as a cement substitute. This study used levels of fly ash 15%, 30%, and 40% as a substitute for cement and was carried out experimentally. The test object used is a cylinder with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. To determine the workability, values were tested slump on fresh concrete. The compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity of concrete was tested on a CTM (Compression Testing Machine) and used an extensometer to measure changes in concrete dimensions. Hard concrete testing was carried out at the age of 28 days. Based on the research, the results of the normal concrete compressive strength of 30.09 MPa. For the compressive strength of concrete with variations in fly ash content of 15%, 30%, and 40% respectively, 38.10 MPa; 34.05 MPa; 32.92 MPa; and the percentage increase in the normal concrete compressive strength is 26.65%; 13.17%; and 9.40%. In testing the split tensile strength of normal concrete has a value of 3.04MPa. For the split tensile strength of concrete with variations content of fly ash 15%, 30%, and 40%, the results are 3.87 MPa; 2.34MPa; 2.08MPa; and the percentage of split tensile strength value compared to the value of the compressive strength of concrete respectively 10.16%; 6.89; and 6.32%. For testing the modulus of elasticity of normal concrete produces a value of 23040.33 MPa. Testing the modulus of elasticity of concrete with variations content of fly ash 15%, 30%, and 40% obtained the modulus of elasticity of 26281.67 MPa, respectively; 20647.00 MPa; and 18312.33 MPa. The value of the modulus of elasticity of concrete with content fly ash 15% increased against normal concrete, while concrete with the content of fly ash 30% and 40% decreased against normal concrete.*

**Keywords :** *Compressive strength, fly ash, modulus of elasticity, split tensile strength.*

## Abstrak

Di era modern ini, pembangunan dalam dunia konstruksi di Indonesia terus digencarkan guna mendukung pertumbuhan ekonomi. Seiring dengan digencarkannya pembangunan, permintaan akan kebutuhan beton terus meningkat. Namun, penggunaan beton dalam jumlah banyak dapat memberi dampak terhadap lingkungan yaitu emisi gas karbondioksida yang disebabkan oleh semen. Salah satu alternatif untuk mengganti material semen yaitu menggunakan *fly ash* guna mengurangi dampak lingkungan sekaligus meningkatkan kualitas dari beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kadar *fly ash* terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas dari beton sebagai bahan pengganti semen. Penelitian ini menggunakan kadar *fly ash* 15%, 30%, dan 40% sebagai bahan pengganti dari semen dan dilakukan secara eksperimental. Benda uji yang digunakan berupa silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Untuk mengetahui workabilitas dilakukan pengujian nilai *slump* terhadap beton segar. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton dilakukan pada mesin CTM (*Compression Testing Machine*) dan menggunakan alat ekstensometer untuk mengukur perubahan dimensi beton. Pengujian beton keras dilakukan pada umur 28 hari. Berdasarkan penelitian didapatkan hasil kuat tekan beton normal sebesar 30,09 MPa. Untuk kuat tekan beton variasi *fly ash* kadar 15%, 30%, dan 40% berturut – turut sebesar 38,10 MPa; 34,05 MPa; 32,92 MPa; dan persentase kenaikan terhadap kuat tekan beton normal masing – masing sebesar 26,65%; 13,17%; dan 9,40%. Pada pengujian kuat tarik belah beton normal memiliki nilai sebesar 3,04 MPa. Untuk kuat tarik belah beton dengan variasi kadar *fly ash* 15%, 30%, dan 40% mendapatkan hasil berturut – turut sebesar 3,87 MPa; 2,34 MPa; 2,08 MPa; dan persentase nilai kuat tarik belah dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton masing – masing sebesar 10,16%; 6,89; dan 6,32%. Untuk pengujian modulus elastisitas beton normal menghasilkan nilai sebesar 23040,33 MPa. Pengujian modulus elastisitas beton dengan variasi kadar *fly ash* 15%, 30%, dan 40% mendapatkan hasil modulus elastisitas berturut – turut sebesar 26281,67 MPa; 20647,00 MPa; dan 18312,33 MPa. Nilai modulus elastisitas beton dengan kadar *fly ash* 15% mengalami kenaikan terhadap beton normal, sedangkan beton dengan kadar *fly ash* 30% dan 40% mengalami penurunan terhadap beton normal.

**Kata kunci :** *Fly ash, kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas.*

## PENDAHULUAN

Dalam dunia konstruksi beton masih menjadi pilihan utama untuk bahan baku pembangunan. Beton adalah campuran dari beberapa material dengan bahan yang terdiri dari semen, agregat, air, dan bahan tambah. Kualitas beton bergantung pada komposisi dan susunan material pembentuknya (Tjokrodimuljo, 1992). Beton memiliki peran penting terhadap pembangunan suatu konstruksi bangunan ataupun infrastruktur lainnya. Beton akan mengeras seiring dengan penambahan umur beton dan mencapai kekuatan rencana ( $f_c$ ) pada umur 28 hari. Penggunaan beton dalam jumlah banyak dapat menyebabkan dampak terhadap lingkungan. Untuk itu perlu dilakukan inovasi dalam pembuatan beton dengan mengganti material yang biasa digunakan. Pengembangan pada material beton dengan menggunakan bahan pengikat anorganik seperti alumina-silikat *polymer* atau dikenal dengan *geopolymer* yang merupakan sintesa dari material geologi yang terdapat pada alam atau material hasil produk sampingan industri seperti abu terbang (*fly ash*) yang kaya akan kandungan silika dan alumina adalah salah satu usaha untuk membuat beton ramah lingkungan (Davidovits, 1999). *Fly ash* merupakan salah satu hasil sampingan (*by product*) industri yang bersifat *pozzolan* dan dapat menjadi bahan pengikat (*binder*) pada pembuatan beton. *Pozzolan* adalah bahan yang mengandung silika dan alumina yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida membentuk senyawa bersifat *cementitious*. Abu terbang (*fly ash*) ini dihasilkan dari pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang sudah tidak terpakai dan tidak termasuk kedalam limbah berbahaya (B3). Karena kandungan senyawa *pozzolan* berupa silika ( $SiO_2$ ) dan alumina yang cukup tinggi pada *fly ash*, hal ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti semen.

Campuran *fly ash* pada beton dapat menjadi solusi untuk mendapatkan beton ramah lingkungan dan meningkatkan kualitas beton baik kuat tekan maupun kuat tarik. Kuat tekan adalah besar beban persatuan luas, dimana beton akan hancur bila dibebani oleh gaya tekan pada mesin desak. Kuat tekan sendiri menjadi parameter mutu dari sebuah struktur. Sementara itu, kuat tarik belah adalah nilai kuat tarik tidak langsung yang didapatkan dari hasil penekanan pada benda uji yang diletakkan secara mendatar sejajar alas pada mesin kuat tekan. Pengujian kuat tarik belah ini dilakukan karena untuk mendapatkan kekuatan tarik secara langsung sangat sulit. Yang melatarbelakangi penelitian ini adalah pemanfaatan kekuatan yang dihasilkan dari campuran *fly ash* pada beton. Pada penelitian ini akan mengkaji pengaruh penggunaan kadar *fly ash* 15%, 30%, dan 40% sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas yang akan dibandingkan dengan beton normal.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode secara eksperimental untuk mencari data – data yang dibutuhkan dengan cara melakukan percobaan pada benda uji. Pengujian beton segar yang dilakukan yaitu uji nilai *slump* dengan tujuan untuk mengetahui workabilitas atau kemudahan saat pengerjaan beton. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji yang dibuat didiamkan selama 24 jam, kemudian setelah 24 jam bekisting dibuka. Proses selanjutnya yaitu melakukan *curing*/perawatan beton dengan cara menutupi beton dengan karung goni yang dibasahi air. Tujuan *curing* menggunakan karung goni adalah untuk menjaga kelembaban beton dan kandungan *fly ash* yang berada dalam beton tidak bereaksi dengan air bila dibandingkan *curing* dengan direndam pada air. Proses *curing* selesai dilakukan 7 hari sebelum pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Jumlah benda uji yang digunakan akan ditampilkan pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Benda uji kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas

No.	Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Benda Uji
1	15	FA-15%	28	6
2	30	FA-30%	28	6
3	40	FA-40%	28	6
4	Normal	NC	28	6
Jumlah Total Benda Uji				24

**Mix Design**

Mix design atau rancang campuran beton memiliki tujuan untuk mendapatkan kadar proporsi campuran material agar beton memenuhi persyaratan umum maupun teknis yang sesuai dengan perencanaan. Mix design yang digunakan mengacu pada SNI 7656 tahun 2012 dengan mengganti semen dengan variasi kadar fly ash 15%, 30%, dan 40% terhadap volume total semen. Berikut akan ditampilkan mix design yang digunakan pada tabel 2.

Tabel 2. Mix design

Material	Jenis Beton			
	Normal	Normal dengan Kadar Fly Ash		
		15%	30%	40%
Fly Ash (kg/m <sup>3</sup> )	-	42,71	85,42	113,89
Semen (kg/m <sup>3</sup> )	284,72	242,01	199,31	170,83
Pasir (kg/m <sup>3</sup> )	847,20	847,20	847,20	847,20
Kerikil (kg/m <sup>3</sup> )	924	924	924	924
Air (lt/m <sup>3</sup> )	205	205	205	205

**Pengujian Kuat Tekan**

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) pada saat umur beton 28 hari. Hasil dari alat ini akan mengetahui nilai maksimum beton ketika menerima gaya luar. Standar pengujian ini menggunakan SNI 2847-2013. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan beton pada persamaan [1].

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan :

- f'c = tegangan desak (MPa)
- P = gaya desak (N)
- A = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

**Pengujian Modulus Elastisitas**

Pengujian modulus elastisitas dilakukan pada *Compression Testing Machine* (CTM) yang ditambahkan dial pada alat ekstensometer untuk mengetahui perubahan panjang (Δl) yang dicatat setiap kenaikan tekanan sebesar 20 kN. Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton pada saat umur 28 hari. Dari hasil pembacaan dial pada alat ekstensometer dapat dibuat grafik tegangan – regangan yang dilanjutkan untuk perhitungan modulus elastisitas. Perhitungan modulus elastisitas yang digunakan pada penelitian ini menggunakan rumus ASTM C469, ACI Committee 363, dan SNI 2847-2019.

**Pengujian Kuat Tarik Belah**

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) pada saat umur beton 28 hari dan posisi benda uji mendatar sejajar dengan alas. Data yang didapatkan dari pengujian ini berupa kuat tekan maksimal yang akan dikonversikan menjadi nilai kuat tarik belah beton. Rumus yang digunakan untuk melakukan perhitungan kuat tarik belah tercantum pada persamaan [2] di bawah ini.

$$fct = \frac{2 * P}{\pi * Ls * D} \dots\dots\dots [2]$$

Keterangan :

- fct = kuat tarik belah beton (N/mm<sup>2</sup>)
- P = beban maksimum (N)
- Ls = tinggi silinder (mm)
- D = diameter silinder (mm)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Pengujian Beton Segar**

Pengujian beton segar yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian nilai slump berdasarkan PBI 1971 (Peraturan Beton Indonesia). Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian nilai *slump*

Nama Beton	T (cm)	Syarat (cm)	Keterangan
NC.KT	8	7,5 - 15	Memenuhi Syarat
FA-15%.KT	9	7,5 - 15	Memenuhi Syarat
FA-30%.KT	12	7,5 - 15	Memenuhi Syarat
FA-40%.KT	10	7,5 - 15	Memenuhi Syarat
NC.KTB	9	7,5 - 15	Memenuhi Syarat
FA-15%.KTB	10	7,5 - 15	Memenuhi Syarat
FA-30%.KTB	12	7,5 - 15	Memenuhi Syarat
FA-40%.KTB	8,5	7,5 - 15	Memenuhi Syarat

Keterangan :

KT = Kuat Tekan

KTB = Kuat Tarik Belah

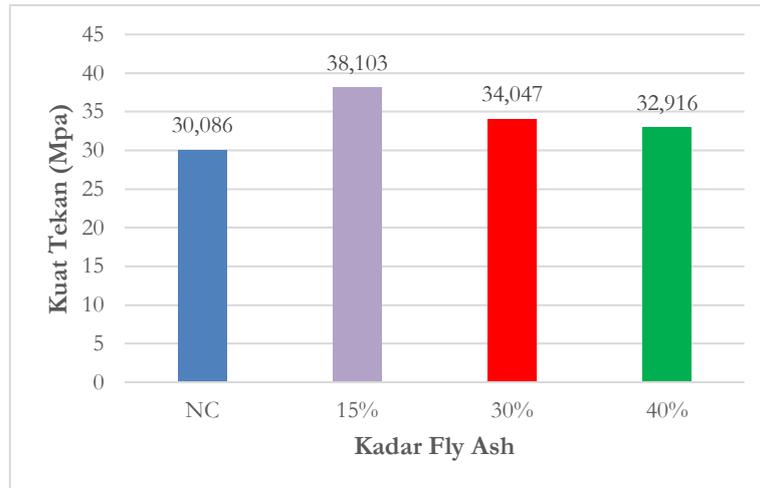
### Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat umur beton 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). Berikut hasil pengujian kuat tekan beton yang disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan

No	Kode Benda Uji	No Benda Uji	Luas (mm <sup>2</sup> )	Pmaks (N)	f'c (Mpa)	Rata - Rata (Mpa)	Persentase Perubahan Terhadap Beton Normal (%)
1	Beton Normal	1	17671,46	485000	27,45	30,09	-
		2	17671,46	540000	30,56		
		3	17671,46	570000	32,26		
2	FA-15%	1	17671,46	660000	37,35	38,10	26,65
		2	17671,46	680000	38,48		
		3	17671,46	680000	38,48		
3	FA-30%	1	17671,46	585000	33,10	34,05	13,17
		2	17671,46	600000	33,95		
		3	17671,46	620000	35,08		
4	FA-40%	1	17671,46	580000	32,82	32,92	9,40
		2	17671,46	580000	32,82		
		3	17671,46	585000	33,10		

Dari data pada tabel 4 dapat dibuat grafik perbandingan kuat tekan antara beton normal dengan beton *fly ash* kadar 15%, 30%, dan 40% yang akan disajikan pada gambar 1.

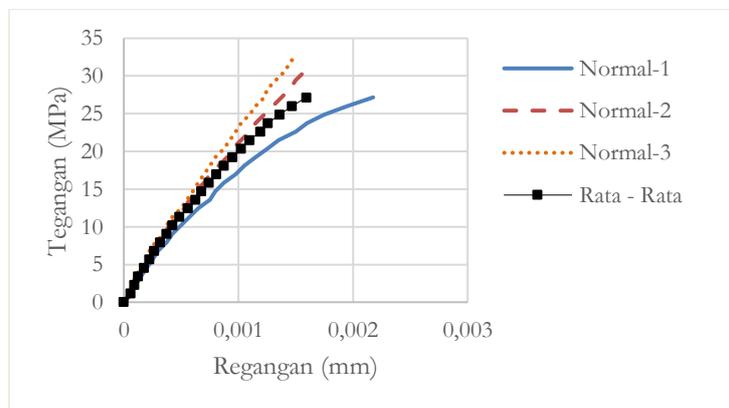


Gambar 1. Grafik perbandingan kuat tekan beton normal dengan beton *fly ash*

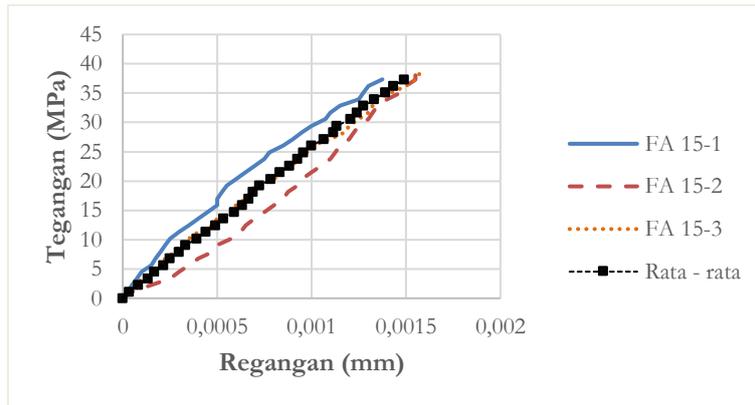
Menurut Umboh (2014), dalam penelitiannya menggunakan bahan tambah *fly ash* mendapatkan hasil bahwa kuat tekan beton mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *fly ash*. Hal ini membuktikan bahwa berdasarkan tabel 4 dan gambar 1, kuat tekan beton mengalami penurunan karena kadar semen yang berkurang seiring bertambahnya *fly ash*, sehingga mengakibatkan fungsi semen sebagai bahan pengikat berkurang. Urutan nilai kuat tekan beton dari yang paling tinggi ke rendah yaitu, beton dengan kadar *fly ash* 15%, 30%, dan 40% dengan nilai berturut – turut 38,10 MPa, 34,05 MPa, dan 32,92 MPa. Adapun presentase perubahan  $f_c$  rerata untuk beton dengan kadar *fly ash* 15%, 30%, dan 40% terhadap beton normal berturut – turut adalah 26,65%; 13,17%; dan 9,40%.

### Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

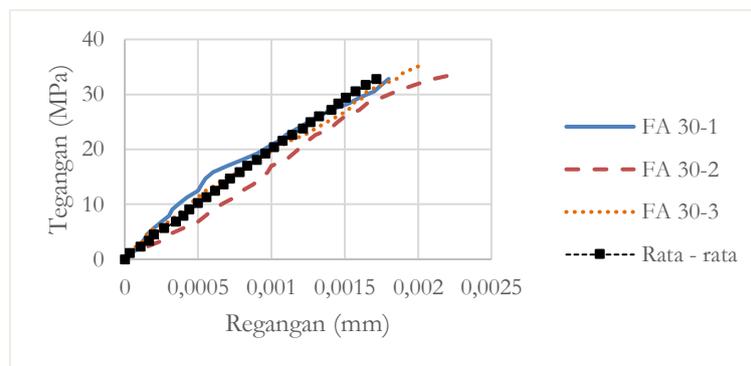
Hasil dari pembacaan dial pada alat ekstensometer yang dipasang pada beton dapat dibuat grafik tegangan – regangan. Grafik tegangan – regangan untuk masing – masing variasi dapat dilihat pada gambar 2 – gambar 5.



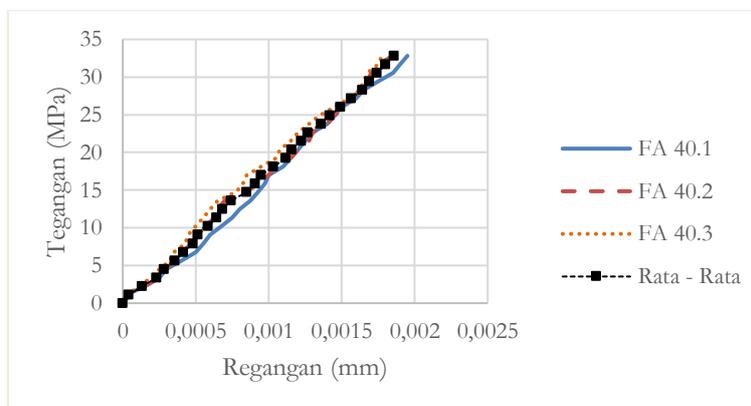
Gambar 2. Grafik hubungan tegangan – regangan beton normal



Gambar 3. Grafik hubungan tegangan – regangan beton FA-15%



Gambar 4. Grafik hubungan tegangan – regangan beton FA-30%



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan – regangan beton FA-40%

Dari data grafik tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas masing – masing variasi benda uji dengan berbagai rumus. Hasil perhitungan modulus elastisitas untuk setiap rumus akan ditampilkan pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil perhitungan modulus elastisitas

No	Benda Uji	Parameter (Modulus Elastisitas) (MPa)		
		SNI 2847-2013	ASTM C469	ACI Committee 363-10
1	Normal Concrete	26975,87	23040,33	25100,38
2	FA-15%	31231,12	26281,67	27393,03
3	FA-30%	30129,27	20647,00	26270,87
4	FA-40%	29125,19	18312,33	25947,50

Dilihat dari Tabel 5, hasil perhitungan modulus elastisitas hampir menunjukkan nilai yang sama. Akan tetapi perhitungan berdasarkan ASTM C 469 memiliki nilai yang berbeda karena nilai dari modulus elastisitas beton didapat berdasarkan kemiringan grafik tegangan regangan eksperimen pada saat 0,4 f<sub>c</sub>. Berdasarkan hasil dari perhitungan dapat diketahui bahwa semakin bertambah kadar *fly ash*, nilai modulus elastisitas akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena ukuran partikel *fly ash* yang sangat kecil memberikan luas permukaan *powder* yang lebih banyak seiring bertambahnya kadar *fly ash* sehingga menyebabkan beton dengan kadar *fly ash* yang tinggi memiliki tingkat kekerasan yang rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian Fatimah (2018) yang menggunakan bahan tambah *fly ash* menyatakan bahwa nilai modulus elastisitas beton akan mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *fly ash*.

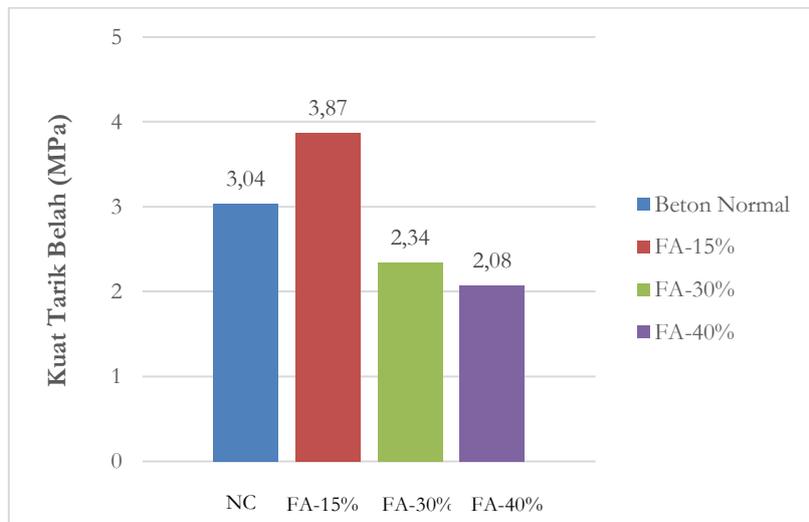
### Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada mesin yang sama dengan kuat tekan yaitu *Compression Testing Machine* (CTM), akan tetapi yang membedakan adalah posisi benda uji saat diletakkan pada alat. Pengujian ini dilakukan pada saat beton umur 28 hari. Hasil pengujian akan disajikan dalam tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat tarik belah

No	Kode Benda Uji	No Benda Uji	Ls (mm)	D (mm)	Pmaks (N)	f <sub>ct</sub> (Mpa)	Rata - Rata (Mpa)	Perubahan fct Rerata Terhadap Beton Normal (%)
1	NC.KTB	1	300	149	210000	2,99	3,04	
		2	299	149	225000	3,22		
		3	300	150	205000	2,90		
2	FA-15%.KTB	1	300	150	275000	3,89	3,87	27,58
		2	300	149	290000	4,13		
		3	295	150	250000	3,60		
3	FA-30%.KTB	1	300	150	160000	2,26	2,34	-22,75
		2	300	149	170000	2,42		
		3	300	149	165000	2,35		
4	FA-40%.KTB	1	298	148	145000	2,09	2,08	-31,5
		2	298	150	135000	1,92		
		3	300	148	155000	2,22		

Berdasarkan tabel 6 di atas, persentase perubahan kuat tarik belah beton dengan kadar *fly ash* 15% terhadap beton normal sebesar 27,58% sedangkan beton dengan kadar *fly ash* 30%, dan 40% mengalami penurunan sebesar 22,75%; dan 31,5%.



Gambar 6. Grafik perbandingan kuat tarik belah beton normal dengan beton *Fly Ash*

Berdasarkan gambar 7 nilai kuat tarik belah beton yang paling tinggi adalah beton FA-15%, yaitu sebesar 3,87 MPa. Urutan nilai kuat tarik belah beton dengan bahan pengganti semen *fly ash* dari yang paling tinggi ke rendah, yaitu beton dengan kadar *fly ash* 15%, 30%, dan 40% dengan nilai berturut - turut sebesar 3,87 MPa, 2,34 MPa, dan 2,08 MPa. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kuat tarik belah beton akan menurun seiring bertambahnya kadar *fly ash*. Hal ini disebabkan karena semen yang digunakan semakin sedikit dan menyebabkan kekerasan beton menurun. Hal ini sesuai dengan Marthinus (2015), dalam penelitiannya menggunakan *fly ash* menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton semakin menurun seiring bertambahnya kadar *fly ash*.

Berikut perbandingan kuat tarik belah beton terhadap kuat tekan yang akan ditampilkan dalam tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan kuat tarik belah terhadap kuat tekan

No	Nama Benda Uji	f <sub>ct</sub> (Mpa)	f' <sub>c</sub> (Mpa)	$\frac{f_{ct}}{f'_c}$ (%)
1	NC.KTB	3,04	30,09	10,09
2	FA-15%.KTb	3,87	38,10	10,16
3	FA-30%.KTb	2,34	34,05	6,89
4	FA-40%.KTb	2,08	32,92	6,32

Pada penelitian Sumajouw (2015), mengemukakan nilai kuat tarik beton sekitar seperdelapan hingga seperduapuluh kuat tekannya. Berdasarkan tabel 7, nilai kuat tarik belah beton dengan bahan pengganti semen *fly ash* kadar 15%, 30%, dan 40% berturut – turut mencapai 10,16%; 6,89%; dan 6,32% terhadap kuat tekan beton.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kuat tekan beton yang paling tertinggi adalah FA-15% = 38,10 MPa. Nilai kuat tekan beton mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *fly ash* karena kadar *fly ash* yang bertambah maka penggunaan semen akan semakin berkurang. Adapun persentase perubahan f'<sub>c</sub> untuk beton dengan kadar *fly ash* mengalami kenaikan terhadap beton normal.
2. Nilai kuat tarik belah beton tertinggi dihasilkan oleh beton FA-15% = 3,87 MPa. Nilai kuat tarik belah beton menurun seiring bertambahnya kadar *fly ash* karena kekerasan beton menurun seiring bertambahnya *fly ash*.
3. Nilai modulus elastisitas pada beton dengan kadar *fly ash* semakin menurun seiring bertambahnya kadar *fly ash*. Nilai modulus elastisitas menurun disebabkan karena ukuran partikel *fly ash* yang sangat kecil memberikan luas permukaan *powder* yang lebih banyak seiring bertambahnya kadar *fly ash* sehingga menyebabkan beton yang tinggi akan kadar *fly ash* memiliki tingkat kekerasan yang rendah.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Saya sampaikan rasa terimakasih yang sangat besar kepada bapak Agus Setiya Budi, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Endah Safitri, S.T., M.T. selaku pembimbing yang telah sabar dan selalu memberi motivasi yang baik untuk menyelesaikan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada teman tim skripsi yang telah membantu dari awal hingga akhir guna mencapai satu tujuan yaitu lulus bersama.

## REFERENSI

- Davidovits, J., 1999, "Chemistry of Geopolymer System, Terminology in Geopolymer'99". In *International Conference*. France.
- Dipohusodo, I., 1994, "Struktur Beton Bertulang", PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Fatimah I. N., Budi A. S., & Sangadji S., 2018, "Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Pada High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) Benda Uji D 15 cm x 30 cm Usia 28 Hari", Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Marthinus A. P., Sumajouw M. D., dan Windah R. S., 2015, "Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tarik Belah Beton", *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 3 No. 11.
- Tjokrodinuljo, K., 1992, "Beton Non-Pasir Dengan Agregat Dari Pecahan Genteng Keramik". Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Umboh A. H., Sumajouw M. D., dan Windah R. S., 2014, "Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) dari Pltu Ii Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton", *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2 No. 7.