

KAJIAN KUAT TARIK LANGSUNG DAN KUAT TARIK BELAH BETON HIGH VOLUME FLY ASH DENGAN KADAR FLY ASH 50%, 60%, DAN 70% TERHADAP BETON NORMAL

¹⁾Agus Setiya Budi, ²⁾Erik Wahyu Pradana, ³⁾Thoriq Surya Banantya

^{1,2)}Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

³⁾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: thoriqbanantya28@gmail.com

Abstract

The concrete industry is one among many that produces air pollutants, such as CO₂ gas emissions and dust particles. One of the innovations that can be applied in overcoming these problems is the utilization of fly ash as a substitution for cement in HVFAC (High Volume Fly Ash Concrete). The purpose of this research is to discover how fly ash affects the direct tensile strength and split tensile for concrete as a partial substitute for cement. This study used fly ash content of 50%, 60%, and 70% as a substitute for cement and was carried out experimentally. The direct tensile strength test used a UTM (Universal Testing Machine), the test of split tensile was carried out on a CTM (Compression Testing Machine). These tests were carried out on 28-day-old. Based on this research, the direct tensile strength results for HVFAC contents of 50%, 60%, 70% and normal concrete were respectively 2.92 MPa; 2.28 MPa; 1.93 MPa; 2.20 MPa and also split tensile test were 3.68 MPa; 2.69 MPa; 2.29 MPa; 3.02 MPa. The comparison of direct tensile strength with split tensile strength of HVFAC contents of 50%, 60%, 70%, and normal concrete were respectively 79%; 85 %; 84%; 73%.

Keywords : Direct tensile strength, fly ash, HVFAC, split tensile strength.

Abstrak

Kegiatan industri beton adalah salah satu partisipan dalam menghasilkan gas polutan pencemaran udara, seperti gas emisi CO₂ dan partikel debu. Salah satu inovasi yang dapat diaplikasikan dalam menanggulangi permasalahan tersebut adalah dengan pendayagunaan abu terbang atau kerap disebut *fly Ash* selaku substitusi sebagian semen pada HVFAC (High Volume Fly Ash Concrete). Riset ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kadar *fly ash* pada uji tarik langsung serta uji tarik belah dari beton sebagai bahan pengganti sebagian semen. Penelitian ini menggunakan kandungan *fly ash* sebesar 50%, 60%, serta 70% sebagai bahan pengganti dari semen serta dilakukan secara eksperimental. Uji tarik langsung memakai mesin UTM (Universal Testing Machine), sedangkan uji tarik belah dilakukan memakai mesin CTM (Compression Testing Machine). Uji beton keras dilakukan pada usia 28 hari. Berdasarkan penelitian didapatkan hasil kuat tarik langsung untuk HVFAC kadar 50%, 60%, dan 70% serta beton normal berturut – turut 2,92 MPa; 2,28 MPa; 1,93 MPa; 2,20 MPa dan untuk pengujian kuat tarik belah sebesar 3,68 MPa; 2,69 MPa; 2,29 MPa; 3,02 MPa. Untuk perbandingan uji tarik langsung dengan uji tarik belah untuk HVFAC kadar 50%, 60%, 70%, dan beton normal berturut-turut 79 %; 85 %; 84 %; 73%.

Kata kunci : Fly ash, HVFAC, kuat tarik belah, kuat tarik langsung

PENDAHULUAN

Kemajuan inovasi membuat dunia konstruksi menghadapi perkembangan yang cepat. Perihal tersebut ditunjukkan dengan pembangunan infrastruktur yang sedang digencarkan di Indonesia, seperti bangunan struktur, jalan, jembatan, bendungan, dan fasilitas publik lainnya. Pembangunan infrastruktur tidak terlepas dari pemilihan beton sebagai pilihan utama untuk konstruksi disebabkan karena beton mempunyai banyak kelebihan yaitu material dengan kekuatan tekan besar, biaya terjangkau, proteksi dari api serta berbagai keunggulan lainnya.

Produksi beton secara masif juga berbanding lurus terhadap konsumsi semen, yang merupakan bahan penyusun utama beton. Menurut *International Energy Authority*, proses produksi semen berpartisipasi sekitar 7% dari total emisi CO₂ (Damtoft, 2008). Masalah ini yang mendasari untuk memajukan industri beton dengan mengedepankan prinsip berkelanjutan serta ramah lingkungan. Inovasi yang dapat diaplikasikan dalam menanggulangi permasalahan tersebut adalah dengan pemanfaatan abu terbang selaku substitusi sebagian semen dalam HVFAC (*High Volume Fly Ash Concrete*). Menurut (Caroles, 2019) *fly ash* atau abu terbang ialah molekul halus yang diperkirakan berukuran sebesar 1-150 mikrometer dihasilkan dari kegiatan pembakaran material batu bara. Kandungan oksida yang paling

tinggi pada *fly ash* adalah *silica* (SiO₂) sebanyak 70 % berat. Sifat zat ini berperan selaku material pengikat dalam produksi beton ataupun sifat *pozzolan* yang setara dengan sifat semen.

HVFAC didefinisikan beton yang memanfaatkan *fly ash* selaku material *pozzolan* sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan kandungan *fly ash* sejumlah 50 persen atau jumlah yang lebih besar dari total berat bahan pengikat. Dengan inovasi ini, sangat mungkin untuk mendapatkan beton yang memiliki berdaya tahan tinggi (*durability*), berkualitas tinggi (*good performance*), dan tidak sulit dikerjakan (*workability*). (Metha, 2006). Kuat tarik dipengaruhi oleh kekuatan lekat antar pasta semen bersama agregat kasar. Pengujian tarik langsung menggunakan benda uji berwujud balok yang diuji tarik menggunakan mesin UTM sedangkan pada pengujian tarik belah menggunakan benda uji berwujud silinder yang direbahkan dan diberikan beban tekan menggunakan mesin CTM. Kedua pengujian ini baik tarik langsung maupun tarik belah merupakan metode yang tepat untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* terhadap nilai kuat tarik dari HVFAC. Untuk penelitian ini, mengkaji bagaimana pengaruh penambahan *fly ash* dengan kadar 50 %, 60 %, dan 70% sebagai pengganti sebagian semen terhadap HVFAC dan beton konvensional pada pengujian kuat tarik langsung (*Direct Tensile*) dan kuat tarik belah (*Split Tensile*) usia 28 hari.

METODE

Penelitian ini memakai cara eksperimental untuk mencari data yang dibutuhkan dengan metode melaksanakan percobaan pada benda uji. Hal yang diuji pada beton segar yaitu uji nilai *slump* dengan tujuan untuk mengetahui workabilitas atau kemudahan saat pengerjaan beton. Benda uji berwujud balok memiliki panjang 10 cm, lebar 10 cm serta tinggi 25 cm untuk benda uji tarik langsung serta silinder yang memiliki diameter silinder 15 cm serta tinggi silinder 30 cm guna benda uji tarik belah. Benda uji dibuat selanjutnya diletakkan di tempat teduh selama 1 x 24 jam, kemudian jika sudah 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 tarik langsung serta tarik belah. Banyaknya benda uji akan ditampilkan dalam tabel 1 berikut

Tabel 1. Benda uji tarik langsung dan tarik belah

No.	Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Benda Uji Balok 10 x 10 x 25 cm	Benda Uji Silinder d=15 cm t=30cm
1	50	HVFAC 50%	28	3	3
2	60	HVFAC 60%	28	3	3
3	70	HVFAC 70%	28	3	3
4	Normal	NC	28	3	3
Jumlah Total Benda Uji				12	12

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 menggunakan variasi kandungan *fly ash* 50%, 60%, dan 70% terhadap volume total semen. Berikut akan ditampilkan rancang campur beton yang dipakai di tabel 2.

Tabel 2. *Mix design*

Material	Jenis Beton			
	Normal	Normal dengan Kadar <i>Fly Ash</i>		
		50%	60%	70%
<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	-	227,78	273,33	318,89
Semen (kg/m ³)	284,72	227,78	182,22	136,67
Pasir (kg/m ³)	847,20	630,95	630,95	630,95
Kerikil (kg/m ³)	924,00	1008,00	1008,00	1008,00
Air (lt/m ³)	205,00	205	205	205

Pengujian Kuat Tarik Langsung

Uji tarik langsung dilaksanakan dengan memakai mesin UTM pada saat umur beton 28 hari. Hasil uji akan mengetahui nilai *load maximum* yang mampu ditahan beton. Berikut adalah rumus yang dipakai guna menghitung kuat tarik langsung beton pada Persamaan [1].

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

Keterangan :

- f_{ct} = kuat tarik langsung (MPa)
- P = *load maximum* yang dapat ditahan (N)
- A = luasan penampang efektif (mm²)

Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian tarik belah dilaksanakan memakai *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 dipakai guna melakukan perhitungan serta analisis tarik belah tercantum pada Persamaan [2] di bawah ini.

$$f'_t = \frac{2P}{\pi L_s D} \dots\dots\dots [2]$$

Keterangan :

- f_t = kuat tarik belah beton (N/mm²)
- P = *load maximum* (N)
- L_s = *cylinder height* (mm)
- D = *cylinder diameter* (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Beton Segar

Uji beton segar dilaksanakan dalam riset ini memakai pengujian nilai *slump* berdasarkan SNI 7656 tahun 2012 untuk tipe konstruksi balok, kolom dan dinding bertulang. Hasil pengujian bisa dilihat di tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji nilai *slump*

Nama Beton	T (cm)	Syarat (cm)	Keterangan
NC.KTL	9	2,5 – 10	Memenuhi Syarat
HVFAC 50%.KTL	9	2,5 – 10	Memenuhi Syarat
HVFAC 60%.KTL	9	2,5 – 10	Memenuhi Syarat
HVFAC 70%.KTL	10	2,5 – 10	Memenuhi Syarat
NC.KTB	9	2,5 – 10	Memenuhi Syarat
HVFAC 50%.KTB	9	2,5 - 10	Memenuhi Syarat
HVFAC 60%.KTB	9	2,5 – 10	Memenuhi Syarat
HVFAC 70%.KTB	10	2,5 - 10	Memenuhi Syarat

Keterangan :

- KTL = Kuat Tarik Langsung
- KTB = Kuat Tarik Belah

Hasil Pengujian Kuat Tarik Langsung

Uji tarik langsung dilaksanakan saat umur beton 28 hari memakai mesin UTM. Berikut hasil uji kuat tarik langsung yang disajikan di tabel 4.

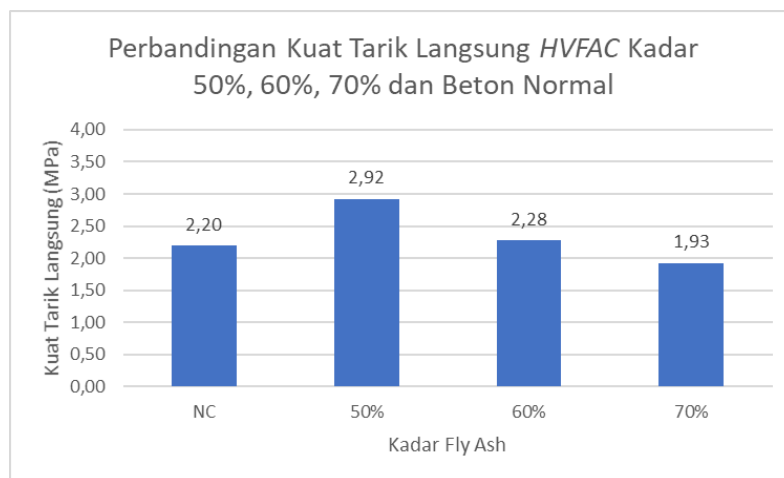
Tabel 4. Nilai kuat tarik langsung

No	Kode Benda Uji	No Benda Uji	Luas (mm ²)	P _{maks} (N)	f' _{ct} (MPa)	Rata - Rata (MPa)	COV (%)
1	NC	1	7000	14600	2,09	2,20	7
		2	7000	16700	2,39		
		3	7000	14900	2,13		
2	HVFAC 50%	1	7000	19800	2,83	2,92	5
		2	7000	21600	3,09		
		3	7000	20000	2,86		
3	HVFAC 60%	1	7000	15900	2,27	2,28	4
		2	7000	15250	2,18		
		3	7000	16650	2,38		
4	HVFAC 70%	1	7000	13200	1,89	1,93	2
		2	7000	13850	1,98		
		3	7000	13400	1,91		

Keterangan :

COV = *Coefficient of Variation*

Berdasar data dari tabel 4 dapat dibuat grafik perbandingan kuat tarik langsung antara beton normal dengan HVFAC kadar 50%, 60%, dan 70% yang akan disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik perbandingan tarik langsung HVFAC kadar 50%,60%,70%, serta beton normal

Berdasarkan tabel 4 dan gambar 1, kuat tarik rata-rata dari uji tarik langsung HVFAC kadar 50%, 60%, 70% serta beton normal berturut-turut 2,92 MPa, 2,28 MPa, 1,93 MPa dan beton normal 2,20 MPa. Nilai kuat tarik langsung tertinggi diperoleh pada HVFAC 50% sedangkan untuk kadar 60% dan 70% mengalami penurunan nilai kuat tarik langsung. Hal ini dikarenakan penambahan kadar *fly ash* membuat jumlah semen yang dipakai menjadi lebih sedikit, menyebabkan ikatan antara agregat berkurang sehingga nilai tarik langsung menurun.

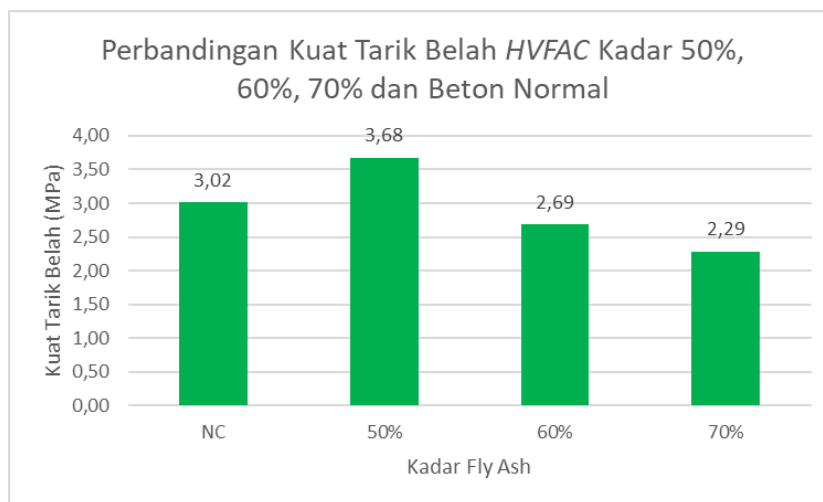
Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Uji tarik belah dilaksanakan pada mesin CTM. Pengujian ini dilakukan saat beton umur 28 hari. Berikut hasil pengujian akan ditampilkan di tabel 5.

Tabel 5. Nilai kuat tarik belah

No	Kode Benda Uji	No Benda Uji	Ls (mm)	D (mm)	P _{maks} (N)	f _{ct} (MPa)	Rata - Rata (MPa)	COV (%)
1	NC	1	300	150	210000	2,97	3,02	5
		2	300	150	225000	3,18		
		3	300	150	205000	2,90		
2	HVFAC 50%	1	300	150	290000	4,10	3,68	10
		2	300	150	250000	3,54		
		3	300	150	240000	3,40		
3	HVFAC 60%	1	300	150	205000	2,90	2,69	14
		2	300	150	160000	2,26		
		3	300	150	205000	2,90		
4	HVFAC 70%	1	300	150	200000	2,83	2,29	22
		2	300	150	130000	1,84		
		3	300	150	155000	2,19		

Bersumber data pada tabel 5 dapat dibuat grafik perbandingan uji tarik belah antara beton normal dengan HVFAC kadar 50%, 60%, dan 70% yang akan disajikan di gambar 2.



Gambar 2. Grafik perbandingan tarik belah HVFAC kadar 50%,60%,70%, dan beton normal

Berdasarkan gambar 2 diatas menunjukkan rerata dari uji tarik belah HVFAC kadar 50%, 60%, 70% dan beton normal berturut-turut 3,68 MPa, 2,69 MPa, 2,29 MPa dan beton normal 3,02 MPa. Nilai tarik belah terbesar diperoleh pada HVFAC 50% sedangkan untuk kadar 60% dan 70% mengalami penurunan nilai kuat tarik belah. Hal ini dikarenakan penambahan kadar *fly ash* membuat jumlah semen yang dipakai menjadi lebih sedikit, menyebabkan ikatan antara agregat berkurang sehingga nilai kuat tarik langsung menurun.

Perbandingan Kuat Tarik Langsung dengan Kuat Tarik Belah

Besar Perbandingan Uji Tarik Langsung dengan Tarik Belah ditampilkan di tabel 6

Tabel 6. Besar perbandingan tarik langsung dengan tarik belah

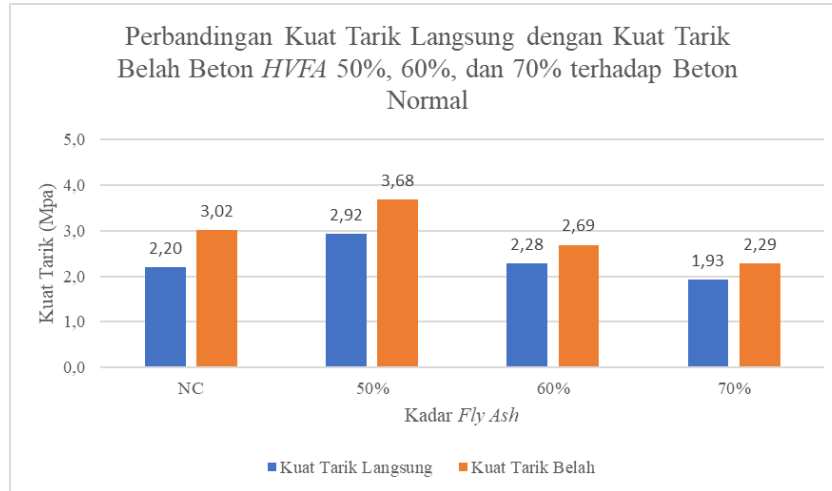
No	Kode Benda Uji	f _{ct} (MPa)	f _t (MPa)	f _{ct} /f _t (%)
1	NC	2,20	3,02	73
2	HVFAC 50%	2,92	3,68	79
3	HVFAC 60%	2,28	2,69	85
4	HVFAC 70%	1,93	2,29	84

Keterangan :

f_{ct} = Kuat Tarik Langsung

f_t = Kuat Tarik Belah

Berdasarkan tabel 6, nilai perbandingan pada tarik langsung terhadap tarik belah HVFAC kadar 50%, 60%, 70% dan beton normal berturut-turut 79%, 85%, 84% dan beton normal 73%.



Gambar 3. Grafik nilai perbandingan tarik langsung dengan tarik belah beton

Uji tarik langsung hampir sama nilai tarik sesungguhnya, disebabkan uji tarik langsung semua penampang menerima beban tarik secara menyeluruh serta sama besar. Sebaliknya pada uji tarik belah menunjukkan hasil uji lebih tinggi daripada kuat tarik langsung, disebabkan untuk uji tarik belah sesungguhnya tegangan yang muncul dalam benda uji berupa tegangan tekan.

Perbandingan Kuat Tarik Langsung dengan Kuat Tekan

Besarnya perbandingan uji tarik langsung dengan uji tekan bisa dilihat dalam tabel 7

Tabel 7. Besarnya perbandingan uji tarik langsung dengan uji tekan

No	Kode Benda Uji	f_{ct} Rerata (MPa)	f'_c Rerata (MPa) *	f_{ct}/f'_c (%)
1	NC	2,20	30,09	7
2	HVFAC 50%	2,92	30,37	10
3	HVFAC 60%	2,28	28,11	8
4	HVFAC 70%	1,93	19,81	10

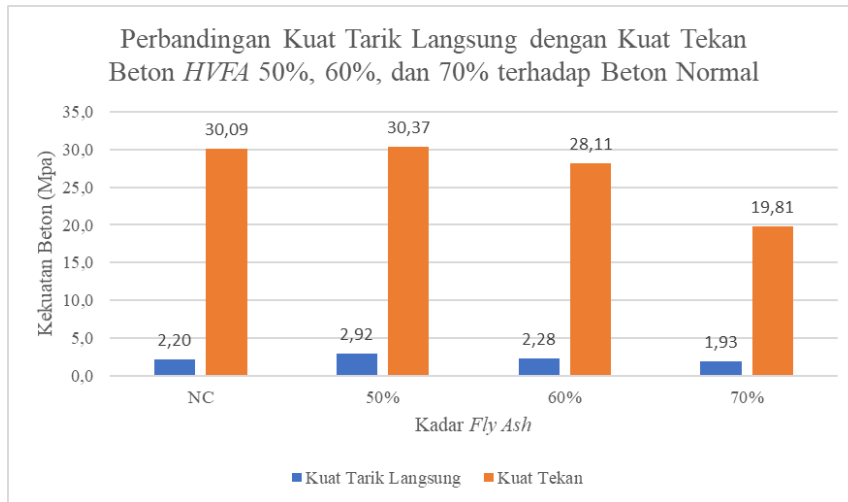
Keterangan :

f_{ct} = Kuat Tarik Langsung

f'_c = Kuat Tekan

* = Data Kuat Tekan Beton diambil dari Satu Tim Skripsi dengan rancang campur beton yang sama

Berdasarkan tabel 7, besarnya perbandingan tarik langsung terhadap kuat tekan HVFAC kadar 50%, 60%, 70% serta beton normal berturut-turut 10%, 8%, 10% serta beton normal 7%.



Gambar 4. Grafik perbandingan uji tarik langsung terhadap uji tekan beton

Kuat tarik pada beton jauh lebih kecil dibanding dengan kuat tekan, nilainya berada pada 9 persen hingga 15 persen dari kuat tekan, hal ini disebabkan karena pada kenyataannya beton dipadati oleh banyak retak halus. Banyak retak halus tersebut tidak akan berdampak signifikan pada beton yang menerima beban atau gaya tekan sebab beban tekan justru akan mengakibatkan retak menutup yang akan menyebabkan berlangsungnya penyaluran tekanan. (Steenie E. Wallah et al, 2017).

Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan

Perbandingan uji tarik belah terhadap uji tekan bisa dilihat di tabel 8

Tabel 8. Perbandingan uji tarik belah dengan uji tekan

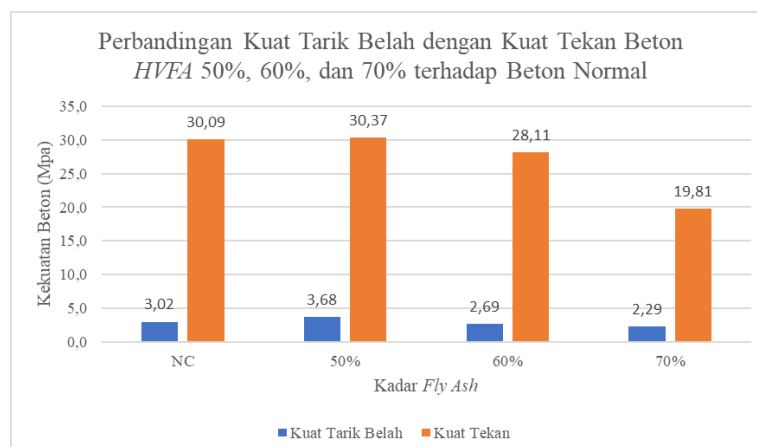
No	Kode Benda Uji	f_{ct} Rerata (MPa)	f_c Rerata (MPa) *	f_{ct}/f_c (%)
1	NC	3,02	30,09	10
2	HVFAC 50%	3,68	30,37	12
3	HVFAC 60%	2,69	28,11	10
4	HVFAC 70%	2,29	19,81	12

Keterangan :

f_{ct} = Kuat Tarik Belah

f_t = Kuat Tekan

Berdasarkan tabel 7, besarnya perbandingan uji tarik belah terhadap kuat tekan HVFAC kadar 50%, 60%, 70% serta beton normal berturut-turut 12%, 10%, 12% serta beton normal 10%.



Gambar 5. Grafik perbandingan uji tarik belah dengan uji tekan beton

SIMPULAN

Bersumber penelitian yang sudah dilaksanakan, berikut bisa disimpulkan :

1. Kuat tarik langsung tertinggi diperoleh pada HVFAC 50% sedangkan untuk kadar 60% dan 70% mengalami penurunan besarnya kuat tarik langsung.
2. Kuat tarik belah tertinggi diperoleh pada HVFAC 50% sedangkan untuk kadar 60% dan 70% mengalami penurunan nilai kuat tarik belah. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya semen yang dipakai akibat dari pemakaian *fly ash* yang ditambah, dimana *fly ash* merupakan *pozzolan* yang memerlukan waktu lama untuk bereaksi sehingga besarnya nilai uji tarik, baik tarik langsung maupun tarik belah, mengalami penurunan.
3. Nilai perbandingan uji tarik langsung dengan uji tarik belah dari HVFAC kadar 50%, 60%, 70%, dan beton normal berturut-turut 79 %; 85 %; 84 %; 73%. Dari hasil pengujian memperlihatkan uji tarik langsung bernilai kecil dari pada uji tarik belah. Hal ini disebabkan karena uji tarik langsung semua penampang menerima beban tarik secara menyeluruh serta sama besar dan faktor peningkatan eksentrisitas beban yang menyebabkan kuat tarik langsung lebih kecil dari pada tarik belah (Zhou, 1988). Sebaliknya pada uji tarik belah memberikan hasil yang lebih tinggi daripada kuat tarik langsung, disebabkan untuk uji tarik belah sesungguhnya tegangan yang muncul dalam benda uji berupa tegangan tekan.

REKOMENDASI

Saran yang bisa diperhatikan guna penelitian selanjutnya antara lain :

1. Menggunakan alat pengukur perubahan panjang (LVDT) agar didapatkan variabel lain seperti *displacement* pada beton.
2. Menggunakan metode *displacement-controlled test* dalam pelaksanaan pengujian kuat tarik langsung.
3. Menggunakan mesin UTM dengan kapasitas pembebanan yang lebih kecil supaya diperoleh hasil yang tepat serta akurat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih untuk Bapak Agus Setiya Budi, S.T., M.T. serta Bapak Erik Wahyu Pradana, S.T., M.Eng. sebagai pembimbing yang telah sudah dan selalu memberi arahan yang baik untuk menyelesaikan penelitian ini. Sebagai peneliti, penulis juga menuturkan terimakasih untuk teman *team* skripsi yang sudah membantu dari pertama sampai akhir guna mencapai satu tujuan yaitu lulus bersama.

REFERENSI

- Adrian P. M., Sumajouw M. D. J., dan Reky S. W., 2015, "Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tarik Belah Beton". Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Alhussainy F., Hasan H. A., Sheikh M. N., dan Hadi M. N., 2019, "A New Method For Direct Tensile Testing of Concrete". *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 47 No.2, pp. 704-718.
- Caroles, J. D. S., 2019, "Ekstraksi Silika yang Terkandung Dalam Limbah Abu Terbang Batu Bara", *Fullerene Journal of Chemistry*. Vol. 4 No.1, pp. 5-7.
- Faez A., Hayder A. H., Sime R., Sheikh M. N., Muhammad N.S. and Hadi, 2016, "Direct Tensile Testing of Self-Compacting Concrete". School of Civil, Mining, And Environmental Engineering, University of Wollongong. Australia.
- He X., dan Zhang Y, 2015, "Experimental Study of Three Direct Tensile Strength of Fly Ash Concrete".
- Kosakoy M. N. M., Wallah, S. E., dan Pandaleke R., 2017, "Perbandingan Nilai Kuat Tarik Langsung dan Tidak Langsung Pada Beton yang Menggunakan Fly Ash". *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 5 No. 7.
- Malhotra V. M., 2002, "High-Performance High-Volume Fly Ash Concrete". *ACI Concrete International*, Vol 24, pp. 1-5
- 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.
- Mehta, P. K.. 2006. "High Performance, High Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development", *Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development & Concrete Technology*.
- Reinhardt H. W., 2013, "Factors Affecting the Tensile Properties of Concrete. In Understanding the Tensile Properties of Concrete", pp. 19-51, Woodhead Publishing.
- Sangadji S., Budi A. S., dan Pratama K. F., 2020, "Uji Tarik Beton Memadat Sendiri High Volume Fly Ash 60%". *Matriks Teknik Sipil*, Vol. 8 No.3.

- Tjokrodinuljo, K., 1992, “Beton Non-Pasir Dengan Agregat Dari Pecahan Genteng Keramik”. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Yudhanto F. A., Budi A. S., dan Saifullah H. A., 2019, “Kajian Uji Tarik Beton HVFA Memadat Sendiri Terhadap Beton Normal”, *Matriks Teknik Sipil*. Vol. 7 No. 4, pp. 423–429.
- Zhou, F. P. 1988. “Some aspects of tensile fracture behaviour and structural response of cementitious materials”, Doctoral dissertation. Lund University.