

VARIASI FIBERGLASS DAN FLY ASH TERHADAP KINERJA BETON PERVIOUS - MRK

AKHMAD SURYADI^{[1]*}, MOHAMMAD GHOZI^[2]

^[1]Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, Malang
Jl. Soekarno Hatta No.9, Kota Malang, Indonesia

^[2]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bhayangkara Surabaya
Jl. Ahmad Yani 114, Surabaya, Indonesia

Email : ^[1]akhmad.suryadi@polinema.ac.id, ^[2]mghozi@ubhara.ac.id

ABSTRACT

Pervious concrete is a type of concrete characterized by interconnected voids that enable Air to infiltrate through its structure, commonly applied to mitigate stormAir runoff and used in areas such as parking lots and pedestrian pathways. This research investigates how varying proportions of fly ash and fiberglass influence the performance of pervious concrete. The evaluation includes physical characterization of materials, mix design prepared according to ACI 522R, and testing of compressive strength, tensile strength, and permeability at curing ages of 7, 14, and 28 days. Fly ash was incorporated at levels of 13%, 16%, and 19% as a partial replaSemen for Semen, while fiberglass was added at 0.2%, 0.4%, and 0.6% of the concrete volume, with three specimens prepared for each variation. The findings indicate that the 16% fly ash mixture produced the highest compressive strength of 15.53 MPa and the greatest tensile strength of 1.43 MPa at 28 days. For the fiberglass mixtures, the optimum proportion was 0.4%, yielding a compressive strength of 11.85 MPa and a tensile strength of 1.78 MPa. In terms of permeability, the highest value of 26.05 cm/s occurred in concrete without fly ash, while the lowest value of 19.87 cm/s was observed in the 16% fly ash mixture, reflecting a denser concrete matrix. The combination of 16% fly ash and 0.4% fiberglass provided the most balanced performance between strength and permeability, achieving a compressive strength of 14.63 MPa, a tensile strength of 1.40 MPa, and a permeability of 18.54 cm/s. Correlation analysis shows that tensile strength increases consistently with compressive strength, demonstrating a positive relationship. Conversely, compressive strength and permeability exhibit an inverse relationship, where higher compressive strength corresponds to reduced permeability. This occurs because stronger concrete generally contains fewer voids, limiting Air flow. Therefore, selecting an appropriate proportion of fly ash and fiberglass is essential for achieving an optimal balance between mechanical performance and drainage capability in pervious concrete.

Keywords : Normal Porous Concrete, Additives, Concrete Compressiive Strength, Tensile strength, flya ash.

ABSTRAK

Beton pervious adalah jenis beton yang ditandai dengan rongga yang saling berhubungan yang memungkinkan air meresap melalui strukturnya, umumnya diterapkan untuk mengurangi limpasan air hujan dan digunakan di area seperti tempat parkir dan jalur pejalan kaki. Penelitian ini menyelidiki bagaimana berbagai proporsi abu terbang dan fiberglass memengaruhi kinerja beton pervious. Evaluasi meliputi karakterisasi fisik material, desain campuran yang disiapkan menurut ACI 522R, dan pengujian kuat tekan, kuat tarik, dan permeabilitas pada usia perawatan 7, 14, dan 28 hari. Abu terbang dimasukkan pada tingkat 13%, 16%, dan 19% sebagai pengganti sebagian semen, sementara fiberglass ditambahkan pada 0,2%, 0,4%, dan 0,6% dari volume beton, dengan tiga spesimen disiapkan untuk setiap variasi. Temuan menunjukkan bahwa campuran abu terbang 16% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 15,53 MPa dan kuat tarik terbesar sebesar 1,43 MPa pada 28 hari. Untuk campuran fiberglass, proporsi optimum adalah 0,4%, menghasilkan kuat tekan 11,85 MPa dan kuat tarik 1,78 MPa. Dalam hal permeabilitas, nilai tertinggi 26,05 cm/s terjadi pada beton tanpa abu terbang, sedangkan nilai terendah 19,87 cm/s teramati pada campuran abu terbang 16%, yang mencerminkan matriks beton yang lebih padat. Kombinasi abu terbang 16% dan fiberglass 0,4%

memberikan kinerja paling seimbang antara kekuatan dan permeabilitas, mencapai kuat tekan 14,63 MPa, kuat tarik 1,40 MPa, dan permeabilitas 18,54 cm/s. Analisis korelasi menunjukkan bahwa kuat tarik meningkat secara konsisten dengan kuat tekan, menunjukkan hubungan positif. Sebaliknya, kuat tekan dan permeabilitas menunjukkan hubungan terbalik, di mana kuat tekan yang lebih tinggi berhubungan dengan permeabilitas yang berkurang. Hal ini terjadi karena beton yang lebih kuat umumnya memiliki lebih sedikit rongga, sehingga membatasi aliran air. Oleh karena itu, pemilihan proporsi abu terbang dan fiberglass yang tepat sangat penting untuk mencapai keseimbangan optimal antara kinerja mekanis dan kemampuan drainase pada beton pervious.

Kata Kunci : Beton berpori, Kuat tekan, Kuat Tarik, Fly Ash, Fiberglass.

1. PENDAHULUAN

Beton pervious adalah jenis beton berpori tinggi khusus yang dirancang untuk aplikasi pekerjaan datar, memungkinkan air hujan dan air permukaan lainnya meresap melalui perkerasan. Karakteristik ini membantu mengurangi limpasan permukaan dan mendukung pengisian ulang air tanah. Juga disebut sebagai beton tanpa butiran halus, beton berpori, beton permeabel, atau beton bergradasi celah, material ini telah diakui sebagai solusi efektif untuk pengelolaan air hujan. Sebagaimana tercantum dalam ACI 522R (2010), beton pervious umumnya mengandung 15%–30% rongga atau porositas. Dibandingkan dengan beton konvensional, beton pervious biasanya menunjukkan kuat tekan yang lebih rendah. Beton ini paling umum digunakan di lingkungan dengan lalu lintas rendah seperti tempat parkir, jalan perumahan, dan jalur pejalan kaki. Namun, beton ini sering menghadapi masalah terkait kekuatan yang berkurang dan daya tahan yang terbatas. Selain itu, pendekatan desain campuran untuk beton pervious umumnya berfokus pada pencapaian tingkat porositas tertentu untuk mengatur permeabilitas, namun memperkirakan kuat tekannya secara akurat tetap sulit, yang membatasi penerapannya secara lebih luas. Beton pervious juga memiliki beberapa kelemahan, termasuk penyumbatan oleh puing-puing yang mengurangi konduktivitas hidrolik. Ikatan yang lemah antar agregat semakin mempercepat kerusakan akibat retak, keausan permukaan, dan deformasi permanen, termasuk creep akibat beban berulang atau berlebih dari 2,8 hingga 28 MPa, yang seringkali lebih kecil daripada beton konvensional yang digunakan pada perkerasan jalan raya dari 20 hingga 40 MPa. Penelitian ini adalah kelanjutan dari Penelitian tentang limbah bata ringan dalam beton (Hakiki & Khozi, 2021), Perilaku beton porous (Khozi, dkk, 2024), Beton Silika fume dalam air laut (Khozi et al., 2025), Fly ash Laston (Suryadi, 2024) dan tentang efek bata ringan dan silika fume (Suryadi, 2024).

2. TEORI

2.1 KUAT TEKAN

Uji kuat tekan dilakukan dengan menggunakan ASTM C39M-20 (2020). Uji umur kuat tekan dilakukan pada hari ke-7, 14, dan 28. Perhitungan uji kuat tekan dapat dilihat pada presentasi berikut::

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana :

f'_c = Kuat tekan (N/cm²)

P = Gaya (N)

A = Luas (cm²)

2.2 TEST KUAT TARIK

Kuat tarik beton merupakan ukuran tidak langsung dari kuat tarik langsung/aktual. Menurut ACI 522R (2010), nilai kuat tekan beton adalah 6-12% dari kuat tekannya. Rumus yang digunakan untuk menghitung kuat pecah beton pervious mengacu pada ASTM C496M adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{2P}{\Omega LD} \quad (2)$$

Dimana :

- Q: Strong Tensile Edge.
- P: load when the specimen breaks.
- Ω : Correction factor (0.7 for standard specimens).
- L: Specimen length.
- D: Specimen diameter.

2.3 PERMEABILITY OF PERVIOUS CONCRETE

Permeabilitas merupakan salah satu persyaratan kinerja beton pervious. Kadar porositas tipikal beton pervious bervariasi antara 15% hingga 35% dan permeabilitasnya berkisar antara 1 hingga 12 cm/detik menurut (ACI 522R 2010). Namun, pori-pori beton pervious tidak dijamin terisi air selama pengujian dibandingkan dengan pengujian lainnya (Lederle dkk. 2020). Koefisien permeabilitas rata-rata ditentukan menggunakan hukum Darcy yang mengasumsikan hal berikut:

$$K = \frac{aL}{At} \ln \frac{h_1}{h_2} = \quad (3)$$

Dimana :

- K=permeability coefficient, cm/s
- a = luas penampang Vertical pipa , cm²
- L= Panjang, cm
- A = Luas Specimen , cm²
- T = Waktu detik h₁ to h₂
- h₁= Initial Air level
- h₂= final Air level

2.4 FLY ASH TYPE F

Abu terbang merupakan bagian dari sisa pembakaran batu bara pada boiler PLTU yang berupa partikel halus dan bersifat pozoland. Abu terbang dapat digunakan sebagai bahan tambahan maupun sebagai substitusi sebagian semen portland. Pada penelitian ini, abu terbang digunakan sebagai substitusi semen untuk volume beton pervious. Menurut Panggayuh, Suryadi, & Sugiarto (2024), abu terbang sendiri tidak memiliki daya ikat yang sama dengan semen. Akan tetapi, dengan adanya air dan karena ukuran partikelnya yang halus, silikon dioksida yang terkandung dalam abu terbang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan pada proses hidrasi semen dan menghasilkan bahan pengikat. Berdasarkan ACI Committee 226, abu terbang sendiri memiliki karakteristik sangat halus, dengan ketentuan lolos saringan No. 325 dan memiliki berat jenis sekitar 2,15 – 2,8 g/cm³.

2.5 FIBERGLASS TYPE E

E-glass adalah Fiberglass Elektrik. Kata 'E' berarti resistivitas listrik dan serat ini banyak digunakan sebagai material isolasi dalam aplikasi kelistrikan. Menurut (Naidu 2021), berat jenis fiberglass adalah 2,58 g/cm³, sedangkan menurut (Çuvalci, Erbay, & İpek 2014) berat jenisnya adalah 2,58 g/cm³, dengan kuat tarik 3.445 Mpa. Penggunaan fiberglass pada beton memerlukan pemeriksaan kadar air yang kritis. Dalam salah satu studi terbaru, ditemukan bahwa beton bertulang fiberglass meningkatkan beban retak balok hingga 27%, yang mengakibatkan peningkatan momen inersia poros sebesar 33% hingga 75% dengan kandungan serat 5% hingga 10% (Kennedy dkk. 2023). Manufacture of Test Pieces

Dalam penelitian ini, 12 benda uji digunakan, masing-masing dengan persentase abu terbang dan fiberglass, dengan ukuran silinder 15 cm x 30 cm. Pengujian yang dilakukan meliputi kuat tekan, kuat tarik, dan permeabilitas, dengan umur 7, 14, dan 28 hari. Jumlah benda uji yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

3. METODE

3.1 PEMBUATAN BENDA UJI

Dalam penelitian ini, 12 benda uji digunakan, masing-masing dengan persentase abu terbang dan fiberglass, dengan ukuran silinder 15 cm x 30 cm. Pengujian yang dilakukan meliputi kuat tekan, kuat tarik, dan permeabilitas, dengan umur 7, 14, dan 28 hari. Jumlah benda uji yang digunakan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Benda Uji

Variasi	Uji Tekan			Uji Tarik	Care
	Usia (Hari)			28	28
	7	14	28		
0% Fly Ash	3	3	3	3	3
13% Fly Ash	3	3	3	3	3
16% Fly Ash	3	3	3	3	3
19% Fly Ash	3	3	3	3	3
0.2% <i>Fiberglass</i>	3	3	3	3	3
0.4% <i>Fiberglass</i>	3	3	3	3	3
0.6% <i>Fiberglass</i>	3	3	3	3	3
Total	63			21	21
Total	105				

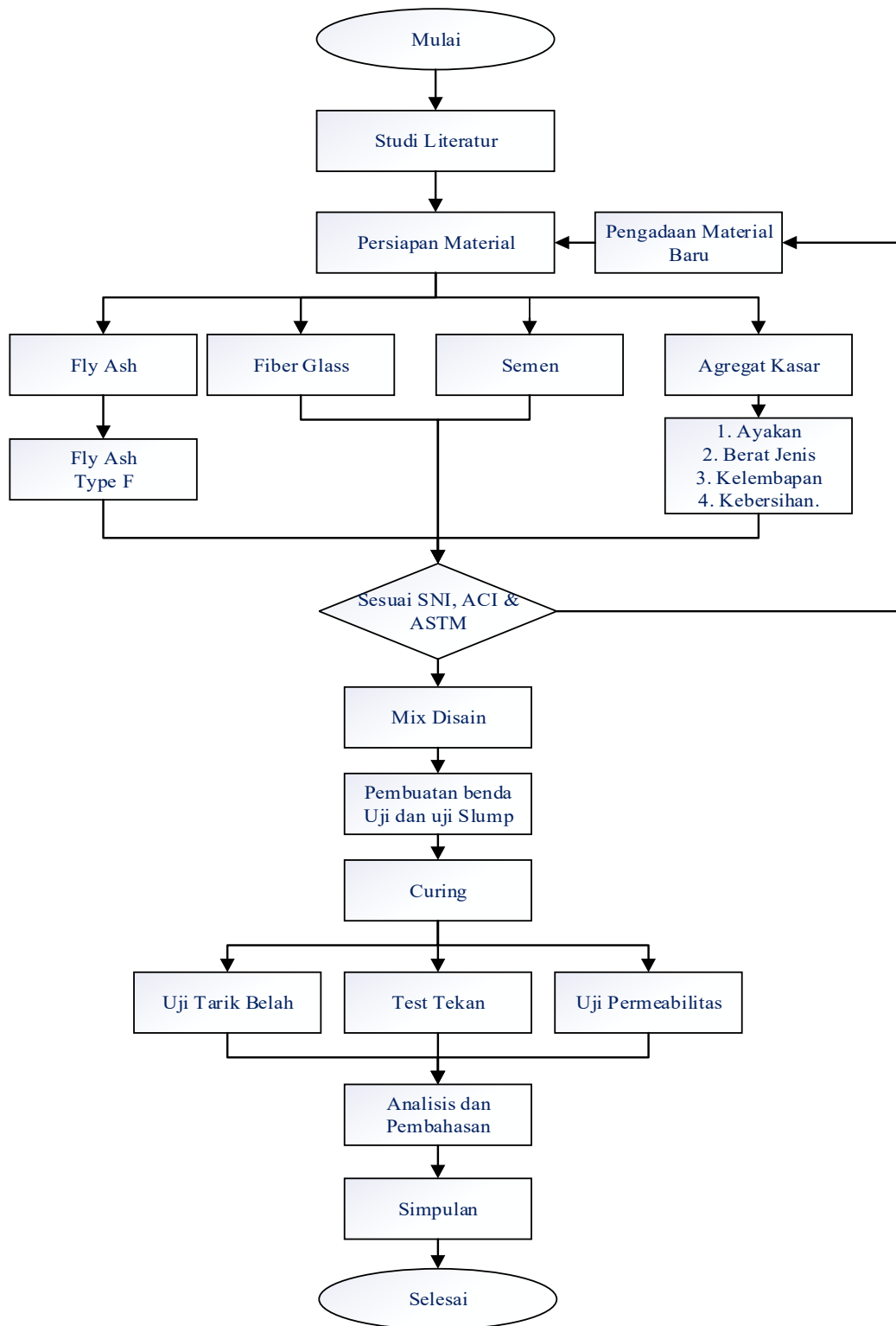
3.2 TAHAPAN PENELITIAN

Proses penelitian terdiri dari tahapan-tahapan metodologis yang disajikan dalam bentuk diagram alir dan digunakan sebagai pedoman dalam melakukan penelitian, yang dapat dilihat pada gambar 1.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 AGGREGATE

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan agregat yang disediakan oleh toko bangunan terdekat di sekitar kampus Politeknik Negeri Malang. Analisis Saringan untuk Agregat Kasar dilakukan sesuai dengan ASTM C 33. Ukuran agregat kasar yang digunakan adalah 9,5 – 20 mm.



Gambar 1. Tahapan penelitian

Tabel 2. Hasil Uji Aggregate

Fine Aggregate of Serang Beach Sand						
	Testing	Hasil	Satuan	Standard	Referensi	Hasil
1	Gradasi					
	0%	2.73		Zone 1-4		
	20%	2.64	%	Zone 1-4	SNI 03-2462-2002	OK
	40%	3.16		Zone 1-4		
	60%	3.37		Zone 1-4		
2	Specific Gravity	2.634	Grams	≤ 2.5	SNI 03-1970-2016	OK
	Absorption	1.017	Grams	$\leq 2\%$		
3	Contents Weight	0.08	gr/lt	1.2 - 1.5	SNI 03-1970-2008	OK
	Pound	0.09	gr/lt	1.45 - 1.75		
	Shake	0.09	gr/lt	1.45 - 1.75		
4	Moisture Rate	0.91	%	0.5% - 0.7%	SNI 03-2834-2000	OK

4.2 FLY ASH TES

Pada penelitian ini, Fly Ash digunakan sebagai substitusi sebagian semen. Oleh karena itu, perlu dilakukan uji kehalusan pada Fly Ash agar memenuhi sifat-sifat semen, yaitu lolos saringan no. 200 antara $\geq 80\%$ menurut ASTM C618. Menurut Panggayuh, Suryadi, & Sugiarto (2024), fly ash sendiri tidak memiliki daya ikat yang sama dengan semen. Akan tetapi, dengan adanya air dan karena ukuran partikelnya yang halus, silikon dioksida yang terkandung dalam fly ash bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan pada proses hidrasi semen dan menghasilkan bahan pengikat. Berdasarkan hasil penelitian di atas, Fly Ash Tipe F lolos saringan No.200 sebesar 88,7%, sehingga membuktikan bahwa Fly Ash layak digunakan sebagai substitusi semen sesuai dengan ASTM C618.

4.3 PERENCANAAN MIX DESIGN

Campuran desain beton pervious berbeda dengan beton konvensional pada umumnya. Hal ini dikarenakan tidak adanya kepastian penggunaan desain campuran beton pervious yang tepat, berbeda dengan beton konvensional pada umumnya. Material campuran yang digunakan dalam beton pervious adalah agregat kasar, air, dan semen, tanpa menggunakan agregat halus. Menurut ACI 522R (2010), material campuran beton pervious menggunakan semen (270-415 kg), agregat kasar (1190-1480 kg), dan faktor air semen (0,27-0,34).

Tabel 3. Mix Design Planning

Material	Bobot per 1m ³ (kg/m3)	Bobot Per Silinder (kg/m3)	Jumlah Silinder Cylinders	Total Bobot (kg/m3)
Semen	330	1,59	96	152,64
Agregate kasar	1300	6,89	96	661,44
Air	99	0,5247	96	50,37

Sumber: Hasil penelitian

Pada penelitian ini penggunaan fly ash digunakan sebagai pengganti semen dari beratnya, sedangkan penggunaan Fiberglass terhadap volume beton.

Tabel 4. Mix disain Material Fly Ash and Fiberglass yang dibutuhkan

NO	Material	Requirement (kg)		Number of Test Pieces	Total Requirement (Kg)
		Per 1m3	Per cylinder		
1	Semen	330	1,59	12	19,08
	Air	99	0,524		6,29
	Agregat Kasar	1300	6,89		82,68
2	Semen	330	1,338	12	16,599
	Air	99	0,524		6,29
	Agregat Kasar	1300	6,89		82,68
	Fly Ash 13%	42,9	0,206		2,487
3	Semen	330	1,335	12	16,027
	Air	99	0,524		6,29
	Agregat Kasar	1300	6,89		82,68
	Fly Ash 16%	42,9	0,254		3,052
4	Semen	330	1,287	12	15,454
	Air	99	0,524		6,29
	Agregat Kasar	1300	6,89		82,68
	Fly Ash 19%	42,9	0,302		3,625
5	Semen	330	1,59	12	19,08
	Air	99	0,524		6,29
	Agregat Kasar	1300	6,89		82,68
	Fiberglass 0.2%	5,094	0,027		0,324
6	Semen	330	1,59	12	19,08
	Air	99	0,524		6,29
	Agregat Kasar	1300	6,89		82,68
	Fiberglass 0.4%	10,188	0,054		0,648
7	Semen	330	1,59	12	19,08
	Air	99	0,524		6,29
	Agregat Kasar	1300	6,89		82,68
	Fiberglass 0.6%	15,471	0,082		0,984

Sumber: Hasil Penelitian

4.4 SLUMP TEST

Tujuan pengujian slump adalah untuk menentukan kemampuan kerja dan elastisitas beton segar, yaitu kemudahan pengadukan beton pervious. Berdasarkan spesifikasi ACI 522R, nilai slump beton pervious mendekati nol atau tidak mengalami penurunan nilai slump sama sekali. Dalam penelitian ini, pengujian slump dilakukan pada setiap variasi campuran beton pervious, yaitu substitusi semen dengan abu terbang sebesar 13%, 16%, 19% dan pada fiberglass dengan variasi 0,2%, 0,4%, dan 0,6%. Gambar 2 adalah contoh slump dari salah satu persentase campuran.



Gambar 2. Sample Slump Test Results

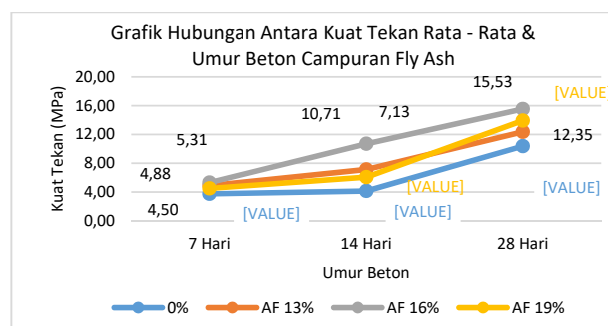
Tabel 5. Hasil Slump Test

NO	Percentage	Result	Standard	Hasil
1	Normal Concrete	300	ACI 522R	OK
2	13% Fly Ash	300	ACI 522R	OK
3	16% Fly Ash	300	ACI 522R	OK
4	19% Fly Ash	300	ACI 522R	OK
5	0.2% Fiberglass	300	ACI 522R	OK
6	0.4% Fiberglass	300	ACI 522R	OK
7	0.6% Fiberglass	300	ACI 522R	OK

Sumber: Hasil Penelitian

4.5 HASIL TEST TEKAN

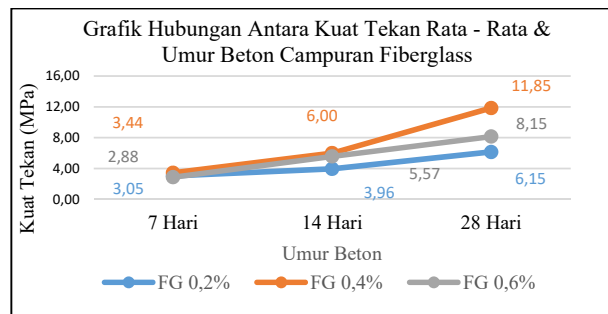
Uji kuat tekan berfungsi untuk menentukan ketahanan beton dalam satuan MPa, sebelum benda uji mengalami deformasi total atau kerusakan permanen. Berikut tabel dan grafik hasil uji kuat tekan masing-masing variasi abu terbang 0%, 13%, 16%, 19% dan Fiberglass 0,2%, 0,4%, dan 0,6% pada masing-masing beton umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Perhitungan nilai kuat tekan beton pervious menggunakan Persamaan 1.



Gambar 3. Kuat tekan terhadap persentase FA

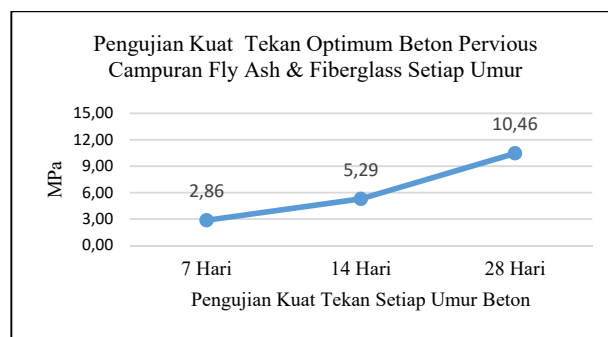
Berdasarkan Gambar 3, hasil uji kuat tekan beton dengan variasi kadar abu terbang menunjukkan bahwa penambahan abu terbang berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton seiring bertambahnya usia. Pada campuran abu terbang 13%, kuat tekan yang diperoleh adalah 4,88 MPa pada umur 7 hari, 7,13 MPa pada umur 14 hari, dan 12,35 MPa pada umur 28 hari, dengan peningkatan masing-masing sebesar 8,44%, 17,67%, dan 19,12% jika dibandingkan dengan beton tanpa abu terbang (4,50 MPa, 6,06 MPa, dan 10,37 MPa). Kombinasi abu terbang 16% menunjukkan peningkatan paling

nyata, dengan kuat tekan mencapai 5,31 MPa (7 hari), 10,71 MPa (14 hari), dan 15,53 MPa (28 hari), yang berarti terjadi peningkatan sebesar 18%, 76,78%, dan 49,77% jika dibandingkan dengan beton biasa. Sementara itu, campuran abu terbang 19% menunjukkan penurunan kuat tekan pada umur 7 hari dan 14 hari, masing-masing sebesar 17,11% dan 31,86%, dengan nilai masing-masing sebesar 3,73 MPa dan 4,13 MPa. Pada umur 28 hari, terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 34,23% sehingga mencapai 13,92 MPa. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan abu terbang hingga 16% memberikan hasil terbaik dalam memperkuat tekan beton, terutama pada umur 14 dan 28 hari.



Gambar 4. Hasil tet tekan terhadap presentaser Fiberglass

Gambar 4 menunjukkan hasil uji kuat tekan beton pervious dengan penambahan fiberglass yang menunjukkan bahwa persentasenya memberikan pengaruh yang berbeda terhadap perkembangan kekuatan beton pada setiap umur. Pada campuran 0,2% FG, kuat tekan beton meningkat dari 3,05 MPa (7 hari) menjadi 3,96 MPa (14 hari), dan mencapai 6,15 MPa pada umur 28 hari. Dibandingkan dengan 0,4% FG, campuran ini menunjukkan kinerja yang lebih rendah. 0,4% FG menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi, yaitu 3,44 MPa (7 hari), 6,00 MPa (14 hari), dan 11,85 MPa (28 hari), dengan peningkatan berturut-turut sebesar 12,79%, 51,52%, dan 92,68% dibandingkan dengan 0,2% FG. Sementara itu, penggunaan 0,6% FG menghasilkan kuat tekan sebesar 2,88 MPa (7 hari), 5,57 MPa (14 hari), dan 8,15 MPa (28 hari). Meskipun terjadi peningkatan seiring waktu, angka tersebut masih lebih rendah dibandingkan campuran 0,4% FG. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan fiberglass 0,4% merupakan dosis paling optimal dalam meningkatkan kuat tekan beton, terutama pada umur 28 hari, dengan nilai tertinggi sebesar 11,85 MPa.

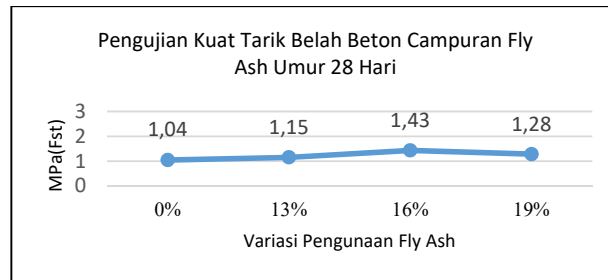


Gambar 5. Kuat Tekan Optimal pada Fly Ash 16% and Fiberglass 0.4%

Gambar 5 menggambarkan kuat tekan campuran abu terbang 16% dan fiberglass 0,4%, dari hasil rata-rata setiap benda uji dan umur uji beton. Pada umur 7 hari, diperoleh nilai kuat tekan sebesar 2,86 MPa, kemudian pada umur 14 hari terjadi peningkatan sebesar 49,33% dengan hasil 5,29 MPa, dan pada umur 28 hari menjadi nilai tertinggi dari uji kuat tekan, mengalami peningkatan signifikan sebesar 49,42%, dengan hasil kuat tekan sebesar 10,46 MPa.

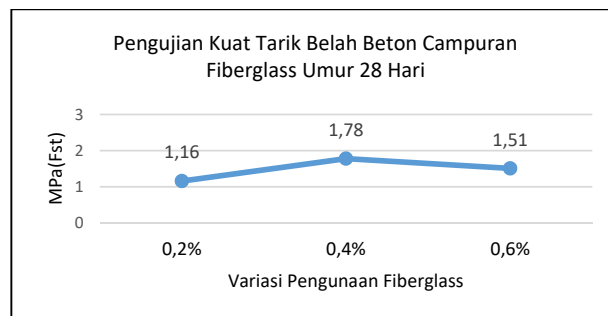
4.6 UJI KUAT TARIK BELAH

Pengujian kuat tarik hampir sama dengan pengujian kuat tekan karena alat yang digunakan sama, hanya alat yang digunakan untuk menekannya dan posisi pada uji kuat tarik adalah horizontal, sedangkan pada uji kuat tekan, beton uji diletakkan secara vertikal. Pengujian dilakukan pada persentase abu terbang 0%, 13%, 16%, dan 19%, sedangkan persentase fiberglass adalah 0,2%, 0,4%, dan 0,6%. Berikut grafik hasil uji kuat tarik pada umur 28 hari.



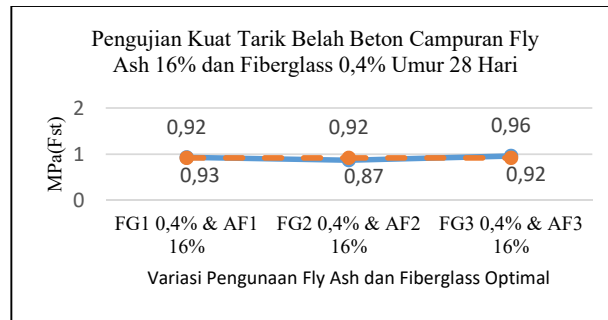
Gambar 6. Uji Tarik beton FA per prosentase

Gambar 6 menunjukkan grafik kekuatan tarik beton pervious untuk setiap persentase pada umur 28 hari. Dengan penggunaan abu terbang 0%, nilai MPa meningkat sebesar 1,04 MPa, sementara pada penambahan abu terbang 13% terjadi peningkatan sebesar 9,56% terhadap abu terbang 0%, dengan hasil kekuatan tarik sebesar 1,15 MPa, sementara pada abu terbang 16% terjadi peningkatan sebesar 19,58% terhadap persentase abu terbang 13%, dengan nilai kekuatan tarik sebesar 1,43 MPa, dan pada penambahan abu terbang 19%, justru mengalami penurunan sebesar 11,71% dengan hasil kekuatan tarik sebesar 1,28 MPa.



Gambar 7. Kuat Tarik tiap prosentase Fiberglass

Gambar 7 menunjukkan rata-rata MPa pada kuat tarik campuran beton pervious Fiberglass. Nilai kuat tarik beton pervious campuran fiberglass cenderung lebih tinggi daripada campuran fly ash. Hal ini karena fiberglass merupakan serat yang dapat menahan gaya tarik yang lebih tinggi. Beton pervious dengan penambahan 0,2% fiberglass memperoleh kuat tarik sebesar 1,16 MPa, penambahan 0,4% fiberglass memperoleh hasil kuat tarik sebesar 1,78 MPa, yang berarti peningkatan sebesar 34,83% dibandingkan dengan penambahan 0,2%, sedangkan penambahan 0,6% fiberglass memperoleh hasil sebesar 1,51 MPa, yang berarti penurunan sebesar 15,16%.

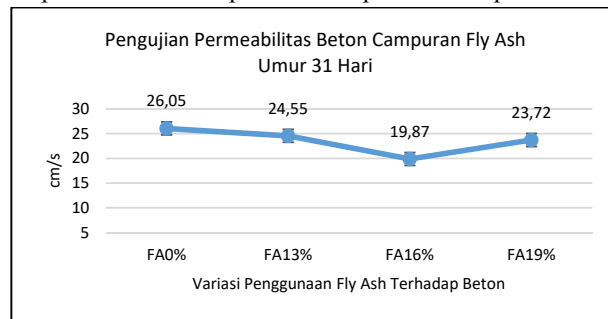


Gambar 8. Hasil Uji Tarik beton dengan 16% Fly Ash dan 0.4% Fiberglass

Berdasarkan gambar 4.57 pengujian kuat tarik beton dengan campuran Fly Ash 16% dan Fiberglass 0,4% diketahui benda uji 1 menghasilkan kuat tarik sebesar 0,93 MPa, kemudian menurun pada benda uji 2 menjadi 0,87 MPa, selanjutnya pada benda uji 3 terjadi peningkatan menjadi 0,96 MPa, dengan rata-rata dari ketiga benda uji tersebut sebesar 0,92 MPa.

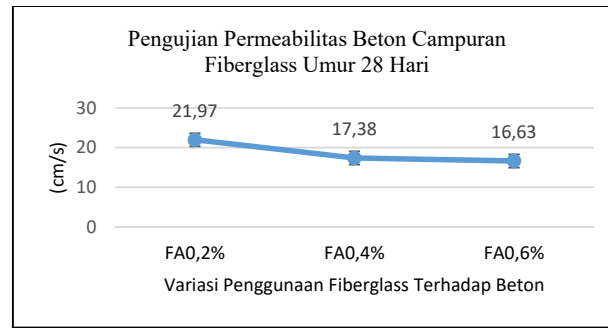
4.7 PERMEABILITY TEST

Pengujian permeabilitas bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan air untuk melewati setiap pori pada beton pervious. Pengujian permeabilitas beton pervious dilakukan untuk menentukan rasio permeabilitas setiap variasi campuran dalam penelitian ini.



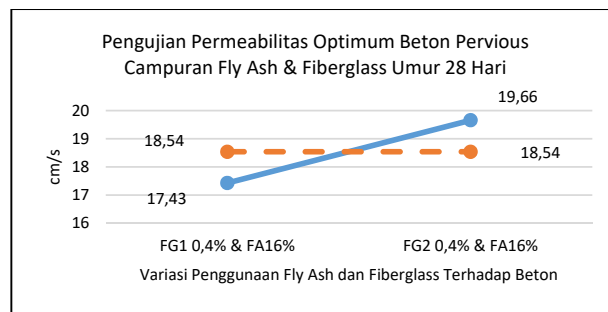
Gambar 9. Uji Permeability dari tiap Fly Ash Percentage

Dapat dilihat pada gambar 9 merupakan hasil permeabilitas pada umur 28 hari, menerangkan bahwa dengan penggunaan fly ash 0% nilai permeabilitas merupakan nilai maksimum sebesar 26,05 cm/s, dengan penambahan fly ash 13% nilai permeabilitas sebesar 24,55 cm/s yang berarti terjadi penurunan sebesar 6,11% dibanding penambahan fly ash 0%, sedangkan pada penambahan fly ash 16% nilai permeabilitas sebesar 19,87 cm/s merupakan nilai terkecil pada pengujian permeabilitas, mengalami penurunan sebesar 23,55% dibanding penambahan fly ash 13% dan penambahan fly ash 19% nilai permeabilitas sebesar 23,72 cm/s, pada presentase tersebut permeabilitas mengalami kenaikan sebesar 16,23% dibanding penambahan fly ash 16%.



Gambar 10. Rerata Permeability beton Fiberglass 28 hari

Grafik 10 menunjukkan hasil permeabilitas dengan penambahan fiberglass pada umur 28 hari. Penambahan fiberglass 0,2% memiliki nilai permeabilitas 21,97 cm/detik, sedangkan penambahan fiberglass 0,4% memiliki nilai permeabilitas 17,38 cm/detik, yang berarti terjadi penurunan sebesar 26,41% dibandingkan dengan penambahan fiberglass 0,2%. Sementara itu, penambahan fiberglass 0,6% memiliki nilai permeabilitas 16,63 cm/detik, yang merupakan nilai terkecil dalam uji permeabilitas, yaitu penurunan sebesar 4,51% dibandingkan dengan penambahan fiberglass 0,4%.

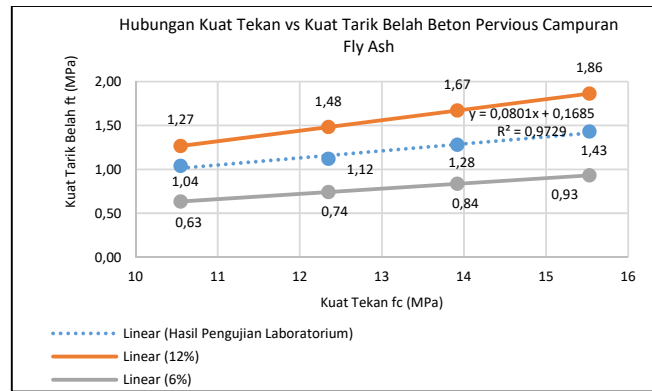


Gambar 11. Hasil Permeability Test beton Fly Ash usia 28 hari

Berdasarkan Gambar 11 hasil uji permeabilitas optimum beton pervious campuran abu terbang dan fiberglass pada umur 28 hari, terlihat bahwa pada benda uji FG1 0,4% & FA16% diperoleh nilai permeabilitas sebesar 17,43 cm/s, sedangkan pada variasi FG2 0,4% & FA16% diperoleh nilai permeabilitas sebesar 19,66 cm/s. Dari kedua benda uji tersebut diperoleh nilai rata-rata permeabilitas sebesar 18,54 cm/s.

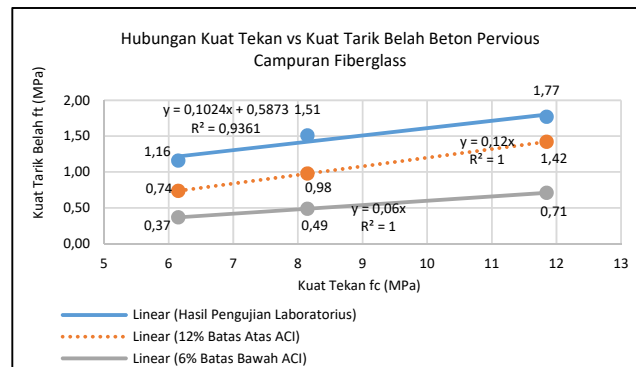
4.8 HUBUNGAN KUAT TARIK DAN KUAT TEKAN

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan pada beton pervious dengan berbagai substitusi Beberapa semen menggunakan fly ash 0%, 13%, 16%, 19% dan penambahan fiberglass pada volume beton sebesar 0,2%, 0,4%, 0,6%. Dua parameter mekanis utama yang diuji adalah kuat tekan dan kuat tarik. Tujuan dari bagian ini adalah untuk menganalisis hubungan antara kedua sifat tersebut untuk memahami pengaruh variasi fly ash dan fiberglass dan untuk menilai seberapa kuat hubungan linier antara kuat tekan dan kuat tarik. Berdasarkan ACI 522R (2010), nilai kuat tarik beton pervious adalah 6 – 12% dari nilai kuat tekannya.



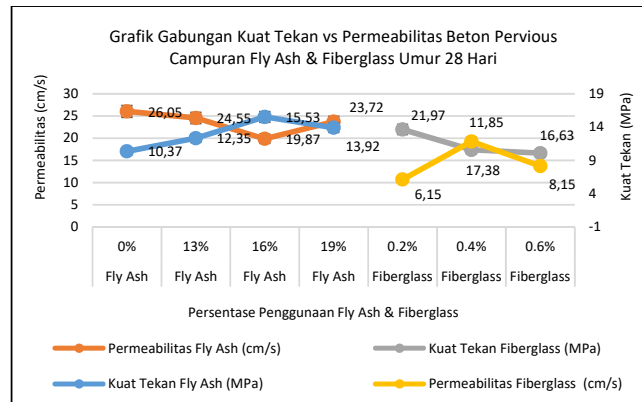
Gambar 12. Grafik Regresi kuat tekan vs kuat Tarik FA 28 hari

Gambar 12 mengilustrasikan hubungan linear antara kuat tekan dan kuat tarik beton pervious menggunakan campuran abu terbang. Ada tiga garis tren linear dalam grafik, masing-masing menunjukkan hasil uji laboratorium (garis biru), serta batas atas dan bawah sesuai pedoman ACI 522R (2010). Garis merah menunjukkan batas atas sesuai pedoman ACI, yaitu nilai kuat tarik 12% dari kuat tekan ($f_t \approx 0,12f_c$), sedangkan garis hijau menunjukkan batas bawah 6% dari kuat tekan ($f_t \approx 0,06f_c$). Kedua garis ini berfungsi sebagai pedoman dalam menilai kesesuaian kinerja beton pervious. Hasil uji laboratorium yang diwakili oleh titik-titik biru pada grafik menunjukkan hubungan linear yang dirumuskan dalam persamaan ($f_t \approx 0,0801f_c + 0,1685$) dengan nilai koefisien determinasi ($R^2 \approx 97,29\%$). Nilai R^2 yang hampir mencapai 1 menunjukkan bahwa hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik sangat kuat dan stabil. Dengan kata lain, peningkatan nilai kuat tarik secara langsung memengaruhi peningkatan nilai kuat tarik beton pervious yang diuji.



Gambar 13. Grafik Kuat tarik vs Kuat tekan beton Fiberglass 28 hari

Gambar tersebut mengilustrasikan hubungan linear antara kuat tekan (f_c) dan kuat tarik (f_t) beton pervious menggunakan campuran fiberglass. Garis biru menunjukkan hasil pengujian laboratorium, sedangkan garis merah dan hijau masing-masing menunjukkan batas atas (12%) dan batas bawah (6%) sesuai persyaratan ACI mengenai kuat tarik terhadap kuat tekan. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan persamaan regresi ($f_t \approx 0,1024f_c - 0,5873$) dengan koefisien determinasi ($R^2 \approx 0,9361$), yang menunjukkan hubungan yang cukup kuat antara kuat tekan dan kuat tarik. Melihat grafik, sebagian besar data terletak di antara rentang ACI 6% hingga 12%, dan meskipun pada kuat tekan 0,4% fiberglass, kuat tarik mencatat 1,77 MPa yang melebihi batas atas ACI. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan fiberglass dalam beton pervious dapat meningkatkan nilai kuat tarik secara signifikan dan berpotensi memenuhi atau bahkan melampaui standar kuat tarik yang ditetapkan oleh ACI.



Gambar 14. Kuat tekan vs permeabilitas beton Fly Ash dan Fiberglass 28 hari.

Pada umur 28 hari, penggunaan abu terbang pada beton pervious menunjukkan hubungan terbalik antara kuat tekan dan permeabilitas. Tanpa abu terbang, kuat tekan tercatat sebesar 10,37 MPa dan permeabilitas tertinggi sebesar 26,05 cm/s. Penambahan abu terbang hingga 13% meningkatkan kuat tekan sebesar 19,1% menjadi 12,35 MPa, dengan penurunan permeabilitas sebesar 5,8% menjadi 24,55 cm/s. Komposisi abu terbang 16% menghasilkan kuat tekan tertinggi, naik sebesar 25,8% menjadi 15,53 MPa, dan permeabilitas turun signifikan sebesar 19,1% menjadi 19,87 cm/s. Namun, pada abu terbang 19%, kuat tekan menurun sebesar 10,4% menjadi 13,92 MPa, sedangkan permeabilitas meningkat sebesar 19,3% menjadi 23,72 cm/s. Hasil ini menunjukkan bahwa abu terbang 16% merupakan komposisi optimal untuk beton pervious yang kuat dan masih memiliki permeabilitas efektif.

Beton pervious berumur 28 hari dengan penambahan fiberglass menunjukkan pola yang berlawanan antara kuat tekan dan permeabilitas. Pada 0,2% fiberglass, kuat tekannya adalah 6,15 MPa dan permeabilitas tertinggi adalah 21,97 cm/s. Dosis 0,4% meningkatkan kuat tekan menjadi 11,85 MPa hingga 92,7% tetapi menurunkan permeabilitas menjadi 17,38 cm/s turun 20,9%. Pada 0,6%, kekuatan turun menjadi 8,15 MPa dan permeabilitas naik sedikit menjadi 16,63 cm/s. Hal ini menunjukkan bahwa 0,4% adalah dosis optimal, memberikan kekuatan maksimum dengan permeabilitas yang masih efisien, sementara dosis yang lebih tinggi dapat menurunkan kekuatan karena distribusi serat yang tidak merata.

4.9 ANOVA TEST

Sebelum melakukan uji ANOVA, kita perlu melakukan uji normalitas untuk mengetahui apakah data hasil uji normal, dan melakukan uji homogenitas untuk mengetahui apakah data dari setiap variasi abu terbang dan fiberglass sama atau homogen. Uji ANOVA menggunakan aplikasi SPSS, pada setiap variasi abu terbang dan fiberglass diuji kuat tekan, kuat tarik, dan permeabilitasnya. Hasil uji dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Test Welch Compressive Strength Fly Ash 28 Hari

Robust Tests of Equality of Means				
Compressive Strength (Mpa)				
	Statistics	df1	df2	Sig.
Welch	123,753	3	4,267	0,001

a. Asymptotically F distributed.

Berdasarkan hasil uji Welch ANOVA pada tabel diperoleh nilai Sig < 0,05 (0,001 < 0,05) sehingga dapat disimpulkan bahwa H0 ditolak dan H1 diterima yang artinya penggunaan fly ash berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tekan.

Tabel 7. Kruskal-Wallis Test Strong Tensile Fly Ash Age 28 Hari

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test Summary

Total N	12
Test Statistic	6,059a
Degree Of Freedom	3
Asymptotic Sig.(2-sided test)	0,109

Pada pengujian kuat tarik abu terbang umur 28 hari diperoleh data tidak normal dan tidak homogen, sehingga perlu dilakukan pengujian lebih lanjut dengan menggunakan Kruskal-Wallis diperoleh nilai > 0,05 (0,109 > 0,05) sehingga H0 diterima dan H1 ditolak yang berarti bahwa penggunaan variasi abu terbang tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tarik.

Tabel 8. Anova Test Permeability of Fly Ash 28 Hari

ANOVA

Source of Variation	SS	Df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	41,56	3	13,8	5,665	0,0655	6,59
Within Groups	9,78	4	2,44			
Total	51,3518875	7				

Dapat dilihat pada tabel 8, uji ANOVA permeabilitas campuran abu terbang, diperoleh hasil F hitung 5,665 dan F tabel 6,59 (5,665 < 6,59), sehingga dapat disimpulkan bahwa H0 diterima dan H1 ditolak yang berarti bahwa penggunaan abu terbang tidak berpengaruh nyata terhadap nilai permeabilitasnya.

Tabel 9. ANOVA Test Compressive Strength Fiberglass Usia 28 Hari

ANOVA

Source of Variation	SS	Df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	50,12	2	25,06	201,9	3,134	5,14
Within Groups	0,744	6	0,124			
Total	50,873	8				

Tabel 9 merupakan hasil uji ANOVA untuk kuat tekan campuran fiberglass. Hasil perhitungan F sebesar 201,9 dan F tabel 5,14 (201,9 > 5,14) diperoleh, yang berarti H0 ditolak dan H1 diterima. Dengan demikian, penggunaan variasi persentase fiberglass dapat memengaruhi nilai kuat tekannya secara signifikan pada umur 28 hari.

Tabel 10. Fiberglass Tensile Strength Test Usia 28 Hari

Robust Tests of Equality of Means

Fiberglass Tensile Strength Yield

	Statistics	df1	df2	Sig.
Welch	3,315	2	2,744	,185

a. Asymptotically F distributed.

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel 10 diperoleh data kuat tarik campuran fiberglass adalah normal, namun tidak homogen sehingga harus dilakukan uji Welch dan diperoleh nilai Sig. > 0,05 (0,185 > 0,05) sehingga

dapat disimpulkan bahwa H0 diterima dan H1 ditolak yang artinya penggunaan fiberglass tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tariknya.

Tabel 11. ANOVA Fiberglass Permeability Test 28 Days Age

ANOVA						
Source of Variation	SS	Df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	33,40	2	16,7	5,244	0,1048	9,55
Within Groups	9,55	3	3,19			
Total	42,96	5				

Sumber: Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel 11 uji ANOVA permeabilitas campuran fiberglass diperoleh hasil F hitung 5,244 dan F tabel 9,55 ($5,224 < 9,55$) maka dapat disimpulkan bahwa H0 diterima dan H1 ditolak yang berarti penggunaan fiberglass tidak berpengaruh nyata terhadap nilai permeabilitasnya.

5. SAMPAIAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan Kerjasama Politeknik Negeri Malang dan LPPM Ubhara Surabaya dengan dana Mandiri yang didasarkan pada Surat Kerjasama Tanggal 30 Januari 2025.

6. SIMPULAN

Dari pengujian dan analisa penelitian beton porous normal dengan penambahan zat aditif didapatkan kesimpulan

1. Penambahan abu terbang sebesar 16% sebagai substitusi semen parsial menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik tertinggi, masing-masing sebesar 15,53 MPa dan 1,43 MPa pada umur 28 hari, serta permeabilitas terendah sebesar 19,87 cm/s, yang menunjukkan struktur beton yang lebih padat.
2. Penggunaan fiberglass sebesar 0,4% dari volume beton menghasilkan kuat tarik tertinggi sebesar 1,78 MPa dan kuat tekan sebesar 11,85 MPa, dengan nilai permeabilitas sebesar 17,38 cm/s, yang menunjukkan bahwa persentase ini merupakan yang paling optimal dibandingkan dengan variasi lainnya.
3. Kombinasi 16% abu terbang dan 0,4% fiberglass menghasilkan kinerja beton pervious terbaik, dengan kuat tekan 14,63 MPa, kuat tarik 1,40 MPa, dan permeabilitas 18,54 cm/s, menunjukkan keseimbangan antara kekuatan mekanis dan kemampuan drainase.
4. Terdapat hubungan positif linier antara kuat tekan dan kuat tarik, di mana peningkatan kuat tekan diikuti oleh peningkatan kuat tarik, menurut standar ACI 522R (2010), yang berkisar antara 6%–12% dari kuat tekan.
4. Terdapat hubungan negatif antara kuat tekan dan permeabilitas: semakin tinggi kuat tekan beton, maka permeabilitasnya cenderung menurun karena terisinya rongga atau pori-pori pada beton yang lebih padat. Pada kuat tekan beton porous didapatkan nilai paling tinggi sebesar 3,69 MPa dengan varian 0,5% pada umur 28 hari sedangkan untuk nilai terendah sebesar 1,46 MPa dengan varian 2% pada umur 7 hari. Hal ini sudah memenuhi syarat kuat tekan beton porous tetapi belum mencapai kuat tekan maksimal yaitu, 20 MPa yang diisyatkan pada (ACI 522R-10). Pada penelitian ini dapat disimpulkan kembali bahwa semakin banyak penambahan zat aditif maka semakin rendah untuk nilai kuat tekan beton porous yang diperoleh.

REFERENSI

ACI 522R-10. 2010. *Pervious Concrete*. USA: American Concrete Institute.

Ghozi, M., Budiati, A., & Yamil Aziz, H. (2024). Perilaku Beton Porous Dengan Penambahan Zat Aditif Superplastizer (Sika Viscocrete). *INTER TECH*, 2(2), 124–130. <https://doi.org/10.54732/i.v2i2.1172>

- Ghozi, M., Budiati, A., Priambada, AW., Sabariman, B., Suryadi, A., (2025). Kuat Tekan Beton Dengan Dan Tanpa Penambahan Silica Fume Dalam Rendaman Air Laut, *INTER TECH* 3 (1), 23-32, DOI: <https://doi.org/10.54732/i.v3i1.1246>
- Haqiqi, R. I., & Ghozi, M. (2022). Pengaruh Limbah Bata Ringan Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Campuran Beton. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan*, 6(2), 111. <https://doi.org/10.19184/jrsl.v6i2.31914>
- Kennedy, C, Bheel, N, Nadeem, G, Benjeddou, O, Waqar, A, & Khan, MB (2023), 'Efficiency of ficus sycomorus exudates as corrosion inhibitor for mild steel pipes in acid concentrated Air and soil', *Safety in Extreme Environments*, vol. 5, no. 2, pp. 109-118.
- Çuvalci, H., Erbay, K., & İpek, H. (2014). Investigation of the effect of glass fiber content on the mechanical properties of cast polyamide. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 9049-9056.
- Naidu, B. S., & Krovvidi, S. (2021). *Fabrication of E-Glass Fibre Based Composite Material with Induced Particulate Additives. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1033, No. 1, p. 012075). IOP Publishing.*
- Suryadi, A. & Rochman, T., (2024). Effect of the Utilization of Lightweight Brick Wastes and Silica Fume Addition on the Concrete Compressive Strength, *Civil Engineering and Architecture* 12 (4), 1-21
- Suryadi, A, & Sugiarto A (2024). "Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Karakteristik Campuran Lapisan Aspal Beton (Laston)". *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, vol. 5, no. 3, pp. 51-58.