

ANALISA CAMPURAN BETON POROS DENGAN UKURAN AGREGAT KASAR 9.5 – 19 MM DAN PENAMBAHAN *POLYAMIDE FIBER*

Willy Susanto¹, Abdi Septia Putra², Alrend Roy Peterson Kaputing³

^{1*2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132
Telp. (022) 2500935
Alamat E-mail: 25022110@mahasiswa.itb.ac.id

Info Artikel

Abstrak

Sejarah Artikel:

Diterima: Feb 2024
Disetujui: Mar 2024
Dipublikasikan: Des 2024

Keywords:

Poros Concrete,
Permeability, Polyamide
Fiber

Isu *climate crisis* dan *sustainability* menjadi fokus perhatian di abad ke-21 ini akibat revolusi industri dan pertumbuhan populasi manusia yang meningkat. Dampaknya termasuk krisis energi, pemanasan global, dan kelangkaan sumber daya air. Kota yang berkelanjutan harus memperhatikan aspek ekonomi, infrastruktur, sosial, dan lingkungan. Salah satu tantangan lingkungan dalam pembangunan kota adalah ketersediaan air di masa depan. Drainase vertikal dengan menggunakan teknologi beton poros dianggap sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan ini. Beton poros memiliki rongga kosong yang meningkatkan kemampuan penyerapan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kuat tekan, kuat tarik, dan permeabilitas beton poros dengan penambahan serat *polyamide*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat sebesar 1.25% meningkatkan kuat tarik beton, meskipun menurunkan kuat tekan. Spesimen dengan dan tanpa serat menunjukkan kemampuan permeabilitas yang lebih baik dari rencana, menunjukkan peningkatan void dan permeabilitas pada agregat kasar dengan ukuran 9.5-19 mm.

Kata Kunci: beton poros, permeabilitas, *polyamide fiber*.

Abstract

The issues of climate crisis and sustainability have garnered significant attention in the 21st century, driven by the industrial revolution and the burgeoning human population. This has resulted in various environmental challenges, including energy crises, global warming, and the scarcity of water resources. Sustainable cities must consider economic, infrastructural, social, and environmental aspects. One of the environmental challenges in urban development is the availability of water in the future. Vertical drainage utilizing pervious concrete technology is regarded as a solution to address this issue. Pervious concrete contains voids that enhance water absorption. This study aims to optimize the compressive strength, tensile strength, and permeability of pervious concrete through the addition of polyamide fibers. The findings indicate that the addition of 1.25% fibers enhances the tensile strength of concrete, albeit at the expense of compressive strength. Specimens with and without fibers exhibit better permeability capabilities than planned, indicating increased voids and permeability in coarse aggregates sized 9.5-19 mm.

✉ Alamat korespondensi:

Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung,
E-mail: 25022110@mahasiswa.itb.ac.id

ISSN 2527-7073

PENDAHULUAN

Pada abad ke-21, isu *Climate Crisis* dan *Sustainability* telah menjadi fokus perhatian utama. Dampak dari Revolusi Industri dan pertumbuhan populasi manusia telah menimbulkan tantangan besar terhadap lingkungan. Mulai dari krisis energi, pemanasan global, hingga ketersediaan air telah menjadi permasalahan yang mengancam peradaban manusia. Dalam upaya mengatasi tantangan ini, penting bagi sebuah kota untuk tidak hanya fokus pada kemajuan ekonomi dan infrastruktur, tetapi juga mempertimbangkan dampak sosial dan lingkungan dalam pengembangan dan perencanaannya. Salah satu aspek krusial dalam pembangunan kota adalah masalah ketersediaan dan pengelolaan air. Konsep tradisional drainase horizontal untuk mengatasi air hujan tidak lagi relevan dalam menghadapi tantangan masa depan. Oleh karena itu, pengembangan konsep drainase vertikal seperti menggunakan teknologi beton porous menjadi solusi yang menjanjikan. Namun, penggunaan beton konvensional yang luas dapat menghambat kemampuan drainase ini. Beton porous memungkinkan air hujan terserap ke dalam tanah, mengisi kembali permukaan air tanah, dan mengurangi risiko banjir serta kelangkaan air. Teknologi beton porous membutuhkan penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk mengoptimalkan permeabilitas, kekuatan tekan, dan kekuatan tarik agar dapat efektif digunakan sebagai perkerasan kota. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kombinasi optimal dari agregat kasar dan penambahan serat polyamide untuk meningkatkan kekuatan tarik beton porous secara mekanis, sehingga dapat menjadi solusi yang berkelanjutan dalam menghadapi tantangan krisis iklim dan keberlanjutan di masa depan.

KAJIAN LITERATUR

Penelitian terkait beton porous telah banyak dilakukan sebelumnya dan membahas potensi serta kekuatan beton porous dari karakteristik mekanisnya. Penggabungan berbagai jenis serat dapat meningkatkan sifat-sifat beton porous. Penambahan serat, seperti komposit serat karbon dapat meningkatkan sifat mekanis beton porous. Namun penambahan serat berdampak negatif pada porositas dan permeabilitas, tetapi umumnya meningkatkan sifat mekanik beton, dengan efek paling signifikan terlihat pada campuran yang dipadatkan dengan getaran [10]. Untuk mencapai desain campuran yang dioptimalkan untuk beton porous dengan memanfaatkan agregat berukuran 10-13mm, rasio agregat terhadap bahan semen (A/CM) sebesar 4, dan campuran semen yang terdiri dari *silica fume* dan *slag*. Selanjutnya, setelah analisis kegagalan, ditemukan bahwa

terjadinya pemisahan terutama terjadi di dalam pasta daripada di antara agregat. Uji kekuatan tarik menunjukkan bahwa penambahan serat *wollastonite* dan serat polipropilen mengakibatkan peningkatan kekuatan pada pasta. Dalam konteks ini, diperoleh faktor korelasi sebesar 0,65 antara permeabilitas dan porositas [6]. Karakteristik mekanis beton poros yaitu gradasi dan ukuran agregat kasar terbukti penting dalam mencapai kekuatan dan sifat permeabilitas yang diinginkan dari beton poros. Secara keseluruhan penting mempertimbangkan faktor-faktor seperti sifat agregat, desain campuran, dan metode pemadatan dalam mengoptimalkan kinerja beton poros. Ukuran dan gradasi agregat kasar secara signifikan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik beton poros. Gradasi dan ukuran agregat yang optimal dapat memaksimalkan kekuatan dan meminimalkan permeabilitas, sehingga berkontribusi pada desain campuran beton poros yang berkinerja tinggi. Permeabilitas beton poros menurun seiring dengan bertambahnya ukuran partikel agregat. Penambahan campuran mineral, seperti *silica fume* dan *fly ash*, dapat meningkatkan sifat beton poros. Metode pemadatan berdampak pada kuat tekan beton poros, sementara permeabilitas tidak terlalu terpengaruh. Rasio air-semen, porositas, dan jenis agregat memainkan peran penting dalam menentukan kekuatan tekan dan permeabilitas beton poros. Parameter desain campuran yang optimal dapat diidentifikasi untuk mencapai sifat yang diinginkan untuk aplikasi tertentu [12].

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian dan Sifat Beton Poros

Beton poros adalah jenis beton yang dirancang untuk memiliki permeabilitas tinggi dan digunakan untuk pengaspalan jalan, trotoar, dan jalan setapak. Beton ini diformulasikan secara khusus untuk melindungi lingkungan dengan mengisi ulang permukaan air tanah dan mengurangi limpasan air hujan. Beton poros berbeda dengan beton tradisional karena mengandung sedikit atau tidak ada agregat halus, sehingga menghasilkan porositas yang lebih tinggi dan rongga yang terhubung. Namun, pengurangan kandungan agregat halus ini menyebabkan penurunan kekuatan dan daya tahan [9]. Beton berpori yang juga di kenal sebagai beton poros merupakan jenis beton yang memiliki nilai slump nol yang tersusun dari portland cement, agregat kasar, sedikit atau tidak ada agregat halus, Admixture dan air. Kombinasi komposisi tersebut akan menghasilkan bahan yang keras dan berpori atau rongga sehingga memungkinkan cairan mengalir dengan mudah melalui rongga-rongga beton tersebut, serta biasanya digunakan pada struktur dan kuat tekan terbatas [4].



Gambar 1 Beton poros

Material Penyusun Beton Poros

Pada prinsipnya beton poros terdiri dari beberapa bahan yang bekerja sama untuk menciptakan sifat uniknya. Beton poros sendiri terdiri dari *cementitious materials*, agregat kasar, air dan *synthetic fiber*. Faktor-faktor seperti gradasi dan ukuran agregat kasar, rasio air terhadap semen (w/c), serta tingkat pemadatan memengaruhi ukuran pori-pori dalam beton poros ini.

Bahan Pengikat (*Cementitious Materials*)

Cementitious materials merupakan bahan yang jika digabungkan dengan air akan membentuk pasta yang mengikat agregat menjadi satu dalam beton. Jenis dan jumlah bahan semen yang digunakan dapat mempengaruhi kekuatan dan daya tahan beton poros. Beton poros biasanya menggunakan bahan semen, seperti semen portland, sebagai bahan pengikat. Semen portland harus memenuhi standar ASTM C150 / C150M, C1157 / C1157M, atau spesifikasi lain yang menghasilkan campuran yang dapat diterima. Kombinasi bahan semen yang memenuhi spesifikasi ASTM juga dapat digunakan. Semen portland adalah semen yang diproduksi dengan cara membakar campuran batu kapur dan tanah liat dalam kiln sehingga terbentuklah clinker yang kemudian dicampur dengan gypsum. Semen portland memiliki 4 unsur penyusun yaitu: Trikalsium Silikat (C3S), Dikalsium Silikat (C-2S), Trikalsium Aluminat (C3A) dan Tetrakalsium Aluminoforit (C4AF). Bahan-bahan penyusun tersebut akan bereaksi dengan air yang disebut dengan hidrasi semen. Hidrasi akan membentuk senyawa pada semen yaitu kalsium silikat (C3Si dan Ca3Si). Selanjutnya akan terjadi reaksi pengikatan yang terus berjalan sepanjang waktu seiring dengan diperolehnya kekuatan hingga beton mengeras. Pada tahap pengikatan dan pengerasan, oksida akan bereaksi dengan air sehingga terbentuk kalsium silikat hidrat (C3S6H3) dan kapur (Ca(OH)₂). Semen portland tipe I umumnya digunakan dalam campuran beton poros.

Agregat Kasar (*Coarse Aggregate*)

Komponen utama dari beton poros adalah agregat kasar yang mengacu pada partikel agregat yang lebih besar yang digunakan dalam campuran beton. Gradasi dan ukuran agregat kasar memainkan peran penting dalam sifat beton poros, seperti kekuatan, porositas, dan permeabilitas. Sifat yang paling penting dari suatu agregat kasar ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang mempengaruhi ikatan agregat terhadap pasta semen, porositas, dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan dan agresi kimia.

Agregat kasar harus memiliki gradasi yang baik yaitu terdiri dari besar agregat yang beragam sehingga bisa mengisi rongga akibat ukuran yang besar maka akan mengurangi penggunaan semen. Jumlah partikel per satuan volume meningkat seiring dengan berkurangnya ukuran agregat, sehingga menghasilkan kekuatan yang lebih baik [12]. Ukuran agregat kasar dapat bervariasi, tetapi ukuran yang biasa digunakan adalah 4,75 hingga 9,5 mm, 9,5 hingga 12,5 mm, dan 12,5 hingga 19 mm. Gradasi agregat kasar dalam beton porous harus sesuai dengan persyaratan ukuran agregat ASTM C33 / C33M, seperti 7 (1/2 inch hingga No. 4), 8 (3/8 inch hingga No. 8), 67 (3/4 inch hingga No. 4), dan 89 (3/8 inch hingga No. 16) [4].

Air (*Water*)

Air memainkan peran penting dalam proses hidrasi bahan semen, dimana air bereaksi dengan partikel semen untuk membentuk pasta yang mengikat agregat menjadi satu. Jumlah air yang tepat diperlukan untuk memastikan hidrasi yang sempurna dan pengembangan kekuatan serta daya tahan beton yang diinginkan [7]. Kandungan air tidak murni yang berlebihan dapat mempengaruhi *setting time*, kuat beton, stabilitas volume, dan korosi. Berdasarkan SNI 2847:2002 kualitas air yang digunakan pada campuran harus bersih dan bebas dari bahan-bahan perusak yang mengandung oli, asam, alkali, bahan organik, dan lain-lain. Rasio air-semen (w/cm) merupakan aspek penting dalam mencapai kekuatan dan struktur rongga yang diinginkan pada beton porous. Jika nilai w/cm tinggi, hal ini akan mengurangi daya lekat pasta terhadap agregat dan mengakibatkan pasta mengalir dan mengisi rongga. Sebaliknya, jika nilai w/cm rendah, pencampuran akan kurang efektif dan dapat menyebabkan penggumpalan di dalam *mixer*, menghambat distribusi merata pasta semen, sehingga mengurangi kekuatan dan ketahanan beton. Hasil dari eksperimen menunjukkan bahwa w/cm antara 0.26 hingga 0.45 akan menghasilkan lapisan agregat dan stabilitas pasta yang optimal. Hubungan antara w/cm dan kuat tekan pada beton biasa tidak berlaku untuk beton porous. Oleh karena itu, pengendalian yang teliti terhadap kelembaban agregat dan nilai w/cm sangatlah krusial dalam menghasilkan beton porous yang konsisten [4].

Serat Sintetik (*Synthetic Fiber*)

Serat sintetis adalah jenis serat yang biasa digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton untuk meningkatkan sifat mekanik dan kinerjanya. Secara garis besar serat ini terbuat dari polipropilena, polimer termoplastik, dan biasanya ditambahkan dalam jumlah kecil ke dalam campuran beton. Serat sintetis menawarkan beberapa manfaat ketika digunakan dalam beton seperti kontrol retak, peningkatan daya tahan beton, meningkatkan ketangguhan beton dan meningkatkan *workability*. Serat poliamida atau dikenal juga sebagai serat nilon merupakan serat sintetis yang digunakan pada penelitian ini. Serat ini memiliki kekuatan tinggi sehingga mampu meningkatkan kekuatan tarik beton. Dosis dan panjang serat sintetis yang digunakan dalam

campuran beton dapat bervariasi tergantung pada aplikasi spesifik dan sifat yang diinginkan. Biasanya, serat ditambahkan dengan dosis 0,1% hingga 0,5% volume campuran beton. Panjang serat dapat berkisar dari beberapa milimeter hingga beberapa centimeter, tergantung pada efek yang diinginkan [5].



Gambar 2 Material penyusun beton porous, a) *cementitious materials*, b) agregat kasar, c) air
Kekuatan Tekan Beton Poros (*Compressive Strength*)

Kekuatan tekan adalah sifat mekanis penting dari beton porous yang mengukur kemampuannya untuk menahan gaya tekan. Kekuatan tekan biasanya ditentukan dengan memberikan beban tekan pada benda uji silinder beton porous dan mengukur beban maksimum yang dapat ditahan sebelum terjadi kegagalan. Uji kuat tekan dilakukan dengan *Universal Testing Machine* (UTM) dimana tata cara pengujian kekuatan beton mengikuti ASTM C39-86. Kuat tekan beton dihitung dengan persamaan berikut:

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

dimana:

f'_c = Kekuatan tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Kekuatan tekan beton porous dapat bervariasi tergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis dan gradasi agregat, rasio air-semen, kandungan pasta, dan kondisi perawatan. Umumnya, beton porous didesain untuk memiliki kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton konvensional, karena fungsi utamanya adalah untuk memberikan permeabilitas yang tinggi dibandingkan dengan kekuatan struktural. Penelitian telah menunjukkan bahwa kekuatan tekan beton porous berbanding terbalik dengan porositas dan permeabilitasnya. Ketika porositas dan permeabilitas meningkat, kekuatan tekan cenderung menurun. Hal ini dikarenakan adanya rongga dan pori-pori yang saling berhubungan pada beton porous mengurangi luas kontak antar agregat, sehingga menghasilkan kekuatan yang lebih rendah [9]. Kekuatan tekan beton porous dapat berkisar dari beberapa MPa hingga sekitar 30 MPa, tergantung pada desain campuran spesifik dan persyaratan desain struktural. Penting untuk dicatat bahwa kuat tekan beton porous biasanya

lebih rendah daripada beton konvensional, tetapi masih dapat memenuhi persyaratan kekuatan untuk aplikasi yang diinginkan, seperti trotoar pejalan kaki, tempat parkir, dan jalan raya dengan lalu lintas rendah. Direkomendasikan untuk melakukan pengujian kuat tekan pada spesimen beton porous sesuai dengan standar yang relevan, seperti ASTM C39 atau GB/T 50081, untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan [5].

Kekuatan Tarik Beton Poros (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik adalah ukuran kemampuan material untuk menahan tarikan atau regangan di bawah tekanan. Ini adalah jumlah maksimum tegangan tarik yang dapat ditahan oleh suatu bahan sebelum patah atau rusak. Kekuatan tarik adalah sifat mekanik penting yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dan daya tahan material. Dalam konteks beton, kekuatan tarik mengacu pada kemampuan material untuk menahan retak atau patah ketika mengalami gaya tarik. Beton umumnya lebih kuat dalam kompresi daripada tegangan, karena beton merupakan material yang rapuh dan cenderung retak ketika mengalami tegangan tarik. Oleh karena itu, kekuatan tarik beton biasanya lebih rendah dari kekuatan tekannya. Kekuatan tarik biasanya diukur dengan menggunakan uji tarik belah, di mana spesimen silinder beton diberi gaya tekan diametris hingga patah. Beban maksimum yang diberikan selama pengujian dicatat, dan kekuatan tarik dihitung dengan membagi beban ini dengan luas penampang spesimen. Kekuatan tarik belah dari beton dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2)$$

dimana:

f_{ct} = Kekuatan tarik belah beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

Kekuatan tarik beton dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk rasio air-semen, sifat agregat, kondisi perawatan, dan bahan *reinforcement* seperti serat fiber. Perlu diperhatikan kekuatan tarik beton porous berbanding terbalik dengan permeabilitasnya. Ketika permeabilitas beton meningkat, maka kekuatan tarik menurun. Ukuran agregat yang digunakan pada beton porous juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tariknya. Umumnya, dengan bertambahnya ukuran maksimum agregat, kekuatan tarik menurun [9].

Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)

Kemudahan pengerjaan beton porous mengacu pada kemampuannya untuk dengan mudah dicampur, ditempatkan, dan dipadatkan selama konstruksi. Beton porous biasanya memiliki kandungan pasta yang lebih rendah dan kandungan rongga yang lebih tinggi, yang dapat

mempengaruhi kemampuan kerjanya. Tidak adanya agregat halus pada beton porous menghasilkan campuran yang lebih terbuka dan berpori, sehingga kurang kohesif dan lebih sulit untuk ditangani dan ditempatkan [9]. Untuk meningkatkan kemampuan kerja beton porous, beberapa tindakan tertentu dapat dilakukan. Ini termasuk menyesuaikan rasio air-semen, menggunakan campuran kimia untuk meningkatkan kemampuan mengalir, dan mengoptimalkan gradasi agregat kasar untuk meningkatkan pengemasan partikel yang lebih baik. Kemampuan kerja beton porous dapat dievaluasi dengan menggunakan berbagai tes, seperti *slump flow test* atau *flow cone test*. Pengujian ini mengukur kemampuan campuran beton untuk mengalir dan menyebar karena beratnya sendiri [4].

Permeabilitas

Beton porous dirancang khusus untuk memiliki permeabilitas yang tinggi. Dalam konteks beton porous, permeabilitas yang tinggi dengan nilai permeabilitas berkisar antara 0,0039 hingga 3,9 inch/detik (0,001 hingga 10 cm/detik) merupakan karakteristik yang diinginkan karena memungkinkan air untuk menyusup melalui struktur berpori beton, mengurangi limpasan air hujan dan mendorong pengisian ulang air tanah. Permeabilitas yang tinggi dari beton porous membuatnya menjadi solusi yang efektif untuk pengelolaan air hujan, karena memungkinkan air meresap ke dalam tanah, mengurangi beban pada infrastruktur air hujan dan membantu mengurangi risiko banjir [11]. Pengujian permeabilitas beton porous dilakukan berdasarkan ACI 522R-2010 dengan menggunakan alat permeameter jenis *falling head* dengan persamaan sebagai berikut:

$$k = \frac{aL}{At} \ln \frac{H_i}{H_f} \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- k = tingkat koefisien permeabilitas (cm/s)
- a = luas penampang dalam silinder air (cm²)
- L = ketebalan spesimen beton yang permeabel (cm)
- A = luas penampang benda uji beton yang permeabel (cm²)
- t = waktu yang ditampilkan oleh *stopwatch* ketika permukaan air turun dari level atas yang ditandai ke level air yang lebih rendah (detik)
- H_i = level air atas yang setara dengan 15 cm dalam penelitian ini
- H_j = level air bawah yang setara dengan 0 cm dalam penelitian ini

METODE PENGUJIAN

Penentuan Proporsi Material Beton Poros

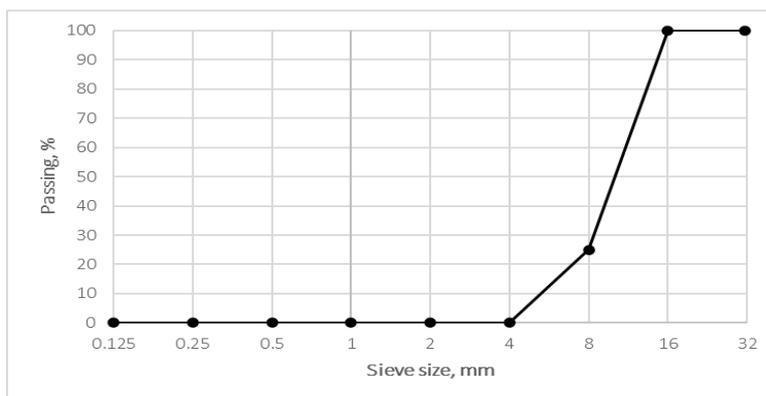
Analisa proporsi campuran beton porous dilakukan berdasarkan ACI 522R-10 “*Report on Pervious Concrete*”. Menurut ASTM C33-99 gradasi agregat kasar tertahan di saringan No. 8 berkisar antara 9.5 – 19 mm seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Gradasi agregat kasar

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent												
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ¾ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...
8	9.5 to 2.36 mm (¾ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5
89	9.5 to 1.18 mm (¾ in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10
9 ^A	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5

^A Although size 9 aggregate is defined in Terminology C 125 as a fine aggregate, it is included as a coarse aggregate when it is combined with a size 8 material to create a size 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.

Gradasi agregat yang digunakan untuk persiapan campuran beton pervious ini adalah 9.5 – 19 mm, dengan kurva distribusi ukuran butir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Agregat kasar sebagai komponen pembentuk utama beton pervious perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui berat isi, *specific gravity* dan absorpsi agregat kasar. Rasio w/cm adalah 0,35 dan jumlah air ditentukan sehingga campuran beton yang stabil dapat dibentuk dengan tangan tanpa hancur.



Gambar 3 Kurva distribusi ukuran butir agregat kasar

Semen Portland tipe I, yang tidak memerlukan persyaratan khusus, digunakan dalam campuran beton pervious. Semen ini harus memenuhi standar ASTM C150/C150M, C1157/C1157M, atau spesifikasi lain yang menghasilkan campuran yang dapat diterima. Serat sintesis jenis polyamide 6.6 ditambahkan ke dalam campuran beton porous sebanyak 1.25% dari total volume bahan semen. Properti fisik serat *polyamide*, seperti panjang, diameter, kuat tarik, dan densitas, tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2 Properti fisik serat *polyamide*

Fibre	Kratos Micro PS 12 mm
Type	Polyamide 6.6
Density (g/cm ³)	1.38
Diameter (µm)	17-21
Length (mm)	12
Tensile strength (MPa)	800-1100
Melting point (°C)	255-265

Pengujian *specific gravity* dan absorpsi dilakukan untuk memperoleh berat jenis dari agregat kasar serta untuk mengetahui persentase berat air yang diserap oleh pori agregat kasar. Berat jenis diperiksa pada kondisi agregat jenuh kering permukaan atau *Saturated Surface Dry* (SSD). Data tersebut digunakan untuk menghitung koreksi berat agregat dan berat air pada perencanaan campuran beton. Hasil pengujian *specific gravity* dan absorpsi agregat kasar ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3 Hasil pengujian *specific gravity* dan absorpsi agregat kasar

Item	Unit of Sample		
	Sample 1	Sample 2	Average
Weight of oven dried sample in air (g)	1857.4	1867.5	1862.5
Weight of SSD sample in air (g)	2010.8	2009.0	2009.9
Weight of sample in water (g)	1168.8	1169.9	1169.4
Bulk Specific Gravity (Dry)	2.21	2.23	2.22
Bulk Specific Gravity (SSD)	2.39	2.39	2.39
Apparent Specific Gravity	2.70	2.68	2.69
Absorption (%)	8.26%	7.58%	7.92%

Analisa Mix Design Beton Poros

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, proporsi campuran beton poros direncanakan dengan kuat tekan rencana sebesar 19 MPa, seperti ditampilkan pada Tabel 4. Untuk menghindari efek penggumpalan pada campuran, serat ditambahkan secara manual selama pencampuran. Sebanyak 8 sampel beton poros dibuat, terdiri dari 4 spesimen tanpa serat (0% fiber) dan 4 spesimen dengan penambahan serat sebanyak 1.25%.

Tabel 4 Proporsi campuran untuk 1 m³ beton poros

Mixture	w/c	Cement kg	Water kg	Aggregate No.8		Fibre			Tensile Strength Mpa	kg
				kg	Type	Density g/cm ³	Diameter µm	Length mm		
NF, PC	0.35	350	122.5	1481.5	-	-	-	-	-	-
Ratio		1.000	0.350	4.233	-	-	-	-	-	-
PF, PC	0.35	350	122.5	1481.5	PP	1.38	17-21	12	800-1100	1.92
Ratio		1.000	0.350	4.233	-	-	-	-	-	0.005

Tahap Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Seluruh material yang akan digunakan dalam campuran beton harus memenuhi syarat yang ditentukan baik itu berat jenis agregat, berat volume, kadar lumpur, analisa ayak, dan persentase penyerapan pada agregat. Pencampuran material dilakukan dengan alat *mixer* beton sesuai dengan *job mix* yang sudah direncanakan berdasarkan data pengujian material. Campuran beton porous yang sudah tercampur dengan baik dimasukan ke dalam cetakan silinder ukuran 15x30 cm untuk uji tekan sebanyak 3 lapisan dimana tiap lapisan dilakukan pemadatan dengan *standard proctor hammer* sebanyak 25 kali hentakan penuh. Sedangkan untuk uji permeabilitas digunakan cetakan ukuran 10x20 cm dengan pemadatan dibagi 2 lapisan sebanyak 25 kali hentakan penuh. Perawatan dilakukan setelah benda uji dilepaskan dari cetakan setelah berumur satu hari atau 24 jam, kemudian diberikan perawatan dengan cara meletakkannya dalam genangan air dan di ruangan yang tidak terpapar langsung sinar matahari dengan tujuan untuk melancarkan proses hidrasi, menjaga Faktor Air Semen (FAS) agar tidak berkurang akibat penguapan, memastikan mutu beton yang diinginkan, dan mencegah retakan sehingga karakteristik beton yang diinginkan dapat tercapai. Pengujian beton porous meliputi pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah dan permeabilitas dilakukan saat beton telah mencapai umur 28 hari.



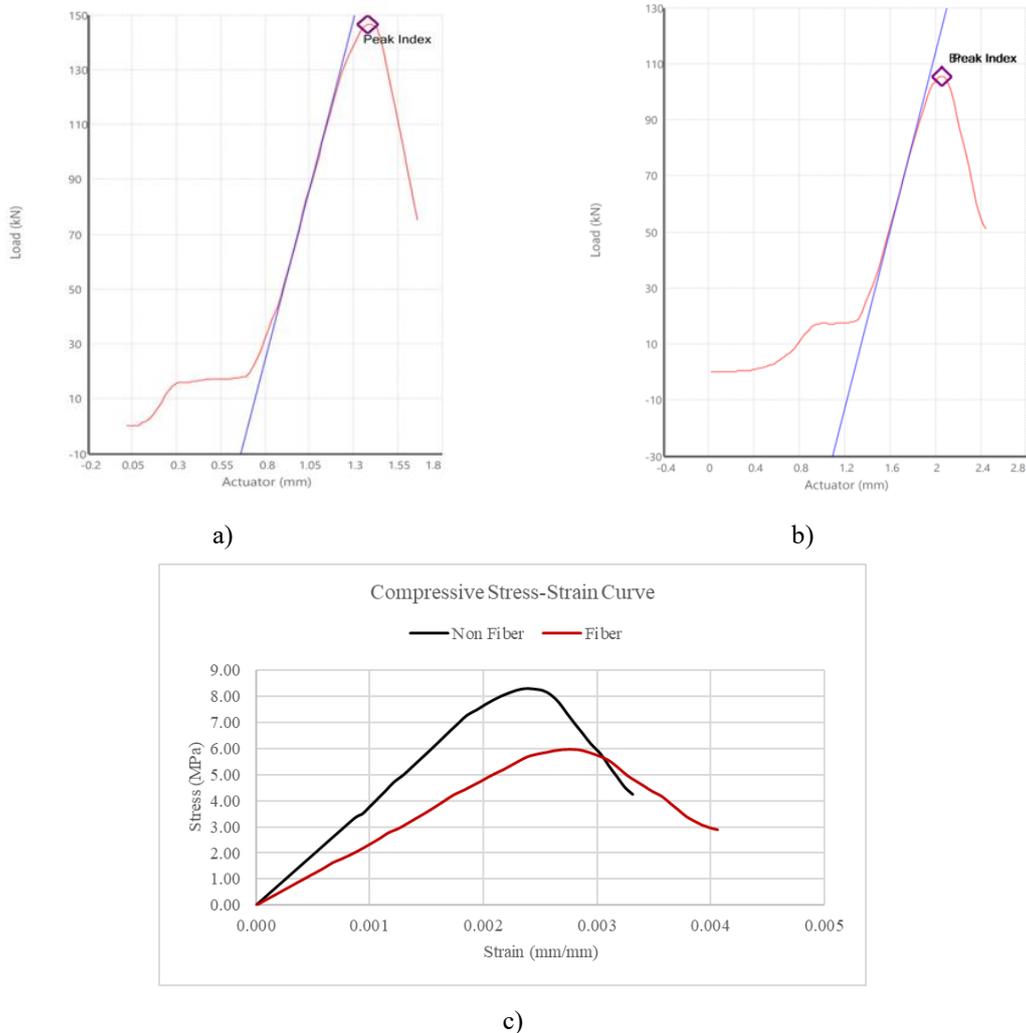
Gambar 4 Dokumentasi perawatan dan pengujian beton porous

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton normal dan beton dengan menggunakan *polyamide fiber* dilakukan saat beton telah mencapai umur 28 hari dengan masing-masing jumlah spesimen yang diuji sebanyak 1 buah pada setiap variasi. Hasil pengujian kuat tekan beton berdasarkan data yang diperoleh dari laboratorium terlihat pada Tabel 5 dan Gambar 5.

Tabel 5 Hasil uji kuat tekan beton

Description	Diameter (mm)	Area (mm ²)	Peak Load (N)	Stress (MPa)
NF-1	150	17671.45868	146524	8.29
PF-1	150	17671.45868	105472	5.97



Gambar 5 Hasil uji kuat tekan beton porous; a) spesimen tanpa serat; b) spesimen dengan serat; c) kurva stress-strain

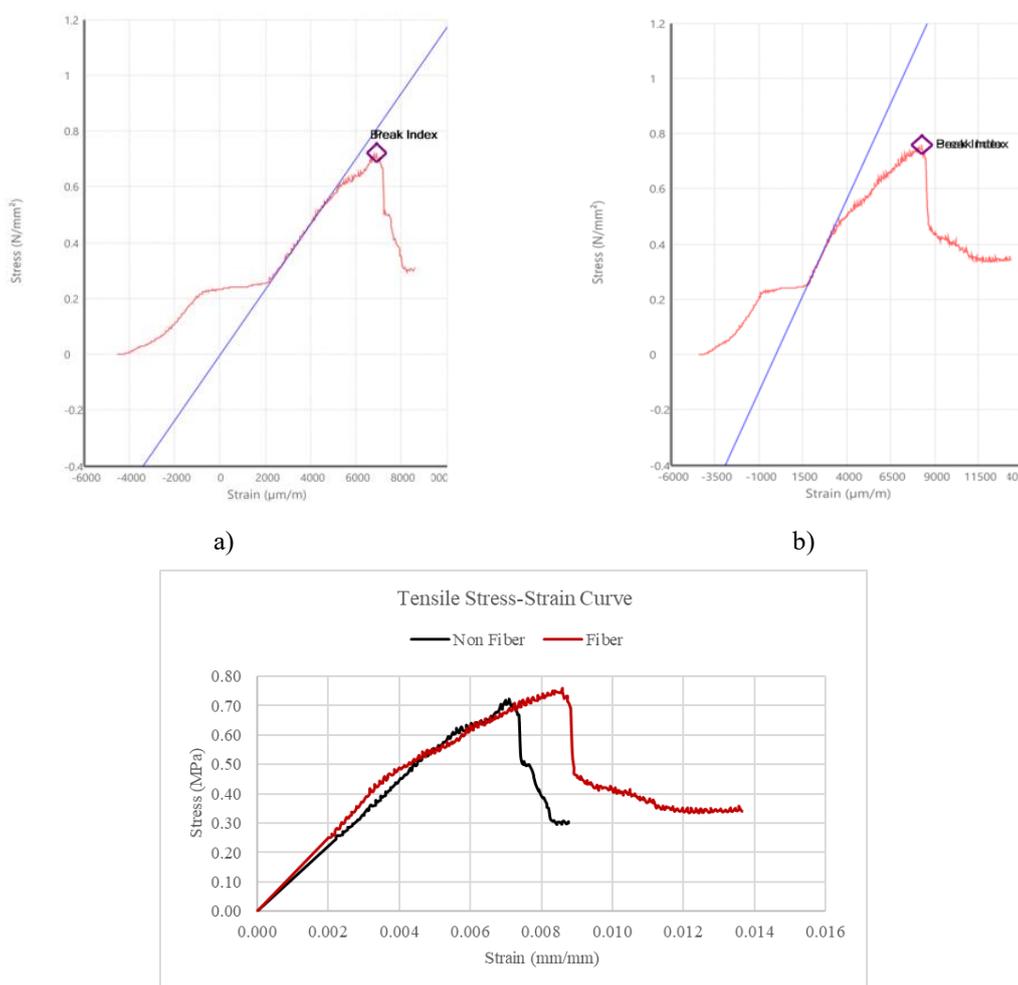
Berdasarkan Gambar 5 dapat ditarik kesimpulan dari hasil pengujian kuat tekan beton bahwa penambahan *polyamide fiber* sebanyak 1.25% mengakibatkan menurunnya nilai kuat tekan beton. Hal ini diakibatkan karena semakin banyak serat yang digunakan pada campuran beton menghambat kemampuan pasta semen untuk mengikat agregat sehingga menyebabkan ikatan pasta semen dengan agregat tidak maksimal. Penambahan serat memberi kemampuan yang lebih baik pada beton dalam menahan regangan yang terjadi, dan dapat dilihat bahwa benda uji tanpa serat lebih dahulu mengalami penurunan tegangan saat uji tekan bila dibandingkan dengan benda uji dengan penambahan serat. Berdasarkan Tabel 5, nilai kuat tekan pada kedua spesimen beton porous lebih rendah dari kuat tekan rencana sebesar 19 MPa, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa

faktor seperti variabilitas material seperti agregat, semen, atau bahan tambah dapat memengaruhi sifat mekanis beton. Kesalahan dalam pelaksanaan selama proses konstruksi, seperti ketidakrataan campuran atau pemadatan yang tidak memadai, dapat menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang lebih rendah dari yang direncanakan.

Hasil pengujian kuat tarik belah beton berdasarkan data yang diperoleh dari laboratorium terlihat pada Tabel 6 dan Gambar 6.

Tabel 6 Hasil uji kuat tarik belah beton

Description	Diameter (mm)	Length (mm)	Peak Load (N)	Stress (MPa)
NF-2	150	300	51041	0.72
PF-2	150	300	53620	0.76



Gambar 6. Hasil uji kuat tarik belah beton porous; a) spesimen tanpa serat; b) spesimen dengan serat; c) kurva stress-strain

Sedangkan dari gambar 6 dapat ditarik kesimpulan dari hasil pengujian kuat tarik belah beton bahwa penambahan *polyamide fiber* sebanyak 1.25% meningkatkan kuat tarik beton sebesar 5,56%. Peningkatan kuat tarik dikarenakan *polyamide fiber* membantu beton dalam menahan retakan beton sehingga menambah kekuatannya. Selain itu penambahan *polyamide fiber*

membuat beton porous menjadi lebih daktail dikarenakan *polyamide fiber* membuat kemampuan beton pada fase plastis menjadi lebih mampu menahan regangan yang terjadi dimana kurva tegangan – regangan benda uji tanpa serat lebih dahulu mengalami penurunan bila dibandingkan dengan benda uji dengan serat. Data grafik hasil pengujian tidak dapat ditentukan seberapa besar peningkatan kemampuan penambahan regangan karena pengujian tekan dan tarik belah tidak dilakukan sampai benda uji hancur seluruhnya. Sedangkan efek dari penambahan serat hanya berpengaruh pada beton setelah fase *crack* dimana serat akan bekerja menahan regangan yang terjadi melalui aksi *bridging* antar *Interfacial Transition Zone* (ITZ) beton. Penelitian lebih lanjut terkait penambahan serat dapat dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh penambahan serat terhadap daktilitas beton.

Hasil pengujian permeabilitas beton porous berdasarkan data yang diperoleh dari laboratorium terlihat pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 7 dapat ditarik kesimpulan dari hasil pengujian permeabilitas bahwa spesimen tanpa serat dan dengan serat memiliki kemampuan permeabilitas lebih besar dari pada permeabilitas rencana. Hal ini menunjukkan penggunaan agregat kasar dengan ukuran nominal 9.5-19 mm menyebabkan void yang dihasilkan menjadi lebih besar sehingga kemampuan permeabilitas juga meningkat. Namun kemampuan permeabilitas dari spesimen dengan serat lebih besar daripada spesimen tanpa serat. Hal ini diluar ekspektasi hipotesa awal dimana seharusnya spesimen dengan serat akan memiliki kemampuan permeabilitas lebih rendah daripada spesimen tanpa serat dikarenakan serat akan menutupi rongga-rongga yang akhirnya menghambat kemampuan porositas dari spesimen dengan serat. Perbedaan hasil pengujian ini kemungkinan disebabkan oleh inkonsistensi selama proses pemadatan yang mengakibatkan jumlah pemadatan dan tekanan pemadatan pada spesimen tanpa serat lebih besar daripada spesimen dengan serat sehingga rongga yang dihasilkan oleh spesimen tanpa serat lebih kecil daripada spesimen dengan serat. Selain itu jumlah spesimen yang sedikit menyebabkan sulitnya memvalidasi hasil pengujian terhadap kemungkinan kesalahan selama proses konstruksi dan pengujian.

Tabel 7 Hasil uji permeabilitas beton porous

Tipe Spesimen	Kode spesimen	Waktu h_1 ke h_2 , t (detik)	Permeabilitas, K (mm/s)	Permeabilitas Rencana, K_{target} (mm/s)	Deviasi
Non Fiber	NF - 3	113	6.020	2.117	284%
Fiber	PF - 3	80	8.503	2.117	302%

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penambahan *polyamide fiber* sebesar 1.25% pada campuran beton porous menyebabkan menurunnya nilai kuat tekan beton. Namun penambahan serat memberi kemampuan yang lebih baik pada beton dalam menahan regangan yang terjadi.
2. Penambahan *polyamide fiber* sebanyak 1.25% meningkatkan kuat tarik beton. Peningkatan kuat tarik dikarenakan *polyamide fiber* membantu beton dalam menahan retakan beton sehingga menambah kekuatannya. Selain itu penambahan serat membuat beton porous menjadi lebih daktail dikarenakan *polyamide fiber* membuat kemampuan beton pada fase plastis menjadi lebih mampu menahan regangan yang terjadi.
3. Spesimen tanpa serat dan serat memiliki kemampuan permeabilitas lebih besar daripada permeabilitas rencana. Hal ini menunjukkan penggunaan agregat kasar dengan ukuran nominal 9.5-19 mm menyebabkan *void* yang dihasilkan menjadi lebih besar sehingga kemampuan permeabilitas juga meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak terkait yang telah membantu dan bekerjasama demi kelancaran penelitian ini, khususnya Laboratorium Rekayasa Struktur Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan tempat dan meminjamkan alat pengujian demi kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ACI Committee 212 (2016) 'ACI 212.3R-10 Report on Chemical Admixtures for Concrete, Permeability reducing admixtures', American Concrete Institute [Preprint].
2. ACI Committee 232 (2002) 'ACI 232.2R-96 Use of Fly Ash in Concrete', American Concrete Institute [Preprint].
3. ACI Committee 234 (2006) 'ACI 234R-06 Guide for the Use of Silica Fume in Concrete', American Concrete Institute [Preprint].
4. ACI Committee 522 (2010) 'ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete', American Concrete Institute [Preprint].
5. ACI Committee 544 (1996) 'ACI 544.1R-96 Report on Fiber Reinforced Shotcrete.', Concrete International [Preprint].
6. Alaica, A.L., Dolatabadi, M.H., Sucic, A. and Shehata, M. (2010) 'Optimizing the strength and permeability of pervious concrete', TAC/ATC 2010 - 2010 Annual Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada: Adjusting to New Realities [Preprint].
7. Chandrappa, A.K. and Biligiri, K.P. (2016) 'Pervious Concrete As a Sustainable Pavement Material - Research Findings and Future Prospects: A State of The Art Review', Construction and Building Materials, 111, pp. 262–274. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.054>.
8. Ho, H.L., Huang, R., Hwang, L.C., Lin, W.T. and Hsu, H.M. (2018) 'Waste-based pervious concrete for climate-resilient pavements', Materials, 11(6), pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.3390/ma11060900>.
9. Huang, J., Luo, Z. and Khan, M.B.E. (2020) 'Impact of Aggregate Type and Size and Mineral Admixtures on The Properties of Pervious Concrete: An Experimental

Investigation', *Construction and Building Materials*, 265, p. 120759. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120759>.

10. Juradin, S., Netinger-Grubeša, I., Mrakovcic, S. and Jozic, D. (2021) 'Impact of fibre incorporation and compaction method on properties of pervious concrete', *Materiales de Construcción*, 71(341). Available at: <https://doi.org/10.3989/MC.2021.08020>.
11. Mahboub, K.C., Canler, J., Rathbone, R., Robi, T. and Davis, B. (2009) 'Poros Concrete: Compaction and Aggregate Gradation', *ACI Materials Journal*, 106(6), pp. 523–528. Available at: <https://doi.org/10.14359/51663335>.
12. Ramezaniyanpour, A.A. and Joshaghani, A. (2015) 'Mechanical Characteristic of Poros Concrete Considering The Gradation and Size of Coarse Aggregates', *fib Symposium*, 6(9), pp. 152–153. Available at: <https://doi.org/10.19026/rjees.6.5255>.