

Uji Kuat Tekan dan Kuat Lentur *Pervious Concrete* dengan Reduksi Kandungan Pasir pada Campuran *High Strength Concrete*

La Ode Waehidin *, Slamet Widodo

Departemen Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

Kata kunci:
Kuat Lentur
Kuat Tekan
Laju Perkolasi
Porositas

Keywords:
Compressive Strength
Flexural Strength
Permeability Rate
Porosity

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur dapat menjadi pendorong pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kualitas hidup bagi masyarakat Indonesia yang semakin bertambah jumlahnya. Untuk itu, penerapan prinsip pembangunan berkelanjutan atau sustainable development goals (SDGs) menjadi salah satu fokus penting dalam pengembangan infrastruktur dan teknologi konstruksi. Penelitian dilakukan untuk mengetahui efek reduksi agregat halus terhadap kuat tekan, kuat lentur, porositas dan laju perkolasi pervious concrete dengan basis campuran high strength concrete. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Departemen Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Penggunaan pasir dibagi atas 6 variasi yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 100% berdasarkan berat. Sampel benda uji sebanyak 30 silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan 30 balok dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 50 cm. Sampel diuji setelah masa curing 28 hari. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif untuk mengetahui efek yang diberikan dari reduksi pasir yang dilakukan. Nilai rerata kuat tekan dengan 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 100% pasir berturut-turut adalah 16,5 MPa, 23,4 MPa, 20,1 MPa, 26,4 MPa, 24 MPa, dan 54 MPa. Nilai rerata porositas dengan variasi serupa berturut-turut adalah 12%, 10%, 10%, 7%, 8%, dan 0,4%. Nilai rerata laju perkolasi dengan variasi serupa berturut-turut adalah 0,2888 cm/s, 0,1814 cm/s, 0,1775 cm/s, 0,1597 cm/s, 0,1472 cm/s, dan 0,005 cm/s. Hasil penelitian menyatakan komposisi campuran terbaik untuk mengaplikasikan pervious concrete pada lahan parkir adalah campuran beton non pasir, 5%, dan 10%.

ABSTRACT

Infrastructure development can drive economic growth and improve the quality of life for the increasing number of Indonesian people. For this reason, implementing the principles of sustainable development or sustainable development goals (SDGs) is an important focus in developing infrastructure and construction technology. The research was conducted to investigate the effect of fine aggregate reduction on compressive strength, flexural strength, porosity, and permeability rate of pervious concrete based on high-strength concrete mixtures. The method used in the study was an experimental method carried out in the Laboratory of Building Materials, Department of Civil Engineering and Planning, Faculty of Engineering, Yogyakarta State University. The use of sand was divided into 6 variations: 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 100% based on weight. Thirty cylindrical test specimens with a diameter of 15 cm and height of 30 cm, as well as thirty beams with dimensions of 10 cm x 10 cm x 50 cm, were prepared. The specimens were tested after a 28-day curing period. The obtained data were analyzed descriptively and quantitatively to understand the effects of the sand reduction. The average compressive strength values with the use of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 100% sand were 16.5 MPa, 23.4 MPa, 20.1 MPa, 26.4 MPa, 24 MPa, and 54 MPa, respectively. The average flexural strength values with similar variations were 2.6 MPa, 2.8 MPa, 3.2 MPa, 3.4 MPa, 3.1 MPa, and 5.8 MPa. The average porosity values with similar variations were 12%, 10%, 10%, 7%, 8%, and 0.4%, respectively. The average permeability rates with similar variations were 0.2888 cm/s, 0.1814 cm/s, 0.1775 cm/s, 0.1597 cm/s, 0.1472 cm/s, and 0.005 cm/s, respectively. The research results state that the optimal mixture composition for applying pervious concrete in parking areas is a non-sand concrete mix, along with the use of 5% and 10% sand.



This is an open access article under the [CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur adalah mutlak harus dihadapi oleh negara Indonesia [1]. Melalui pendekatan yang terencana dengan baik, pembangunan infrastruktur dapat menjadi pendorong pertumbuhan ekonomi dan

peningkatan kualitas hidup bagi masyarakat Indonesia yang semakin bertambah jumlahnya. Untuk itu, penerapan prinsip pembangunan berkelanjutan atau sustainable development goals (SDGs) menjadi salah satu fokus penting dalam pengembangan infrastruktur dan teknologi konstruksi. Sustainable development goals (SDGs) adalah

*Corresponding author.

E-mail: la510ft.2020@student.uny.ac.id
Available online 31 Maret 2024

suatu prinsip pembangunan dalam skala global yang berfokus pada upaya kolaboratif untuk mengatasi tantangan global seperti kemiskinan, pendidikan, kesehatan, perubahan iklim dan perlindungan lingkungan. Dalam sektor konstruksi, penekanan pada pembangunan berkelanjutan mendorong inovasi dalam material konstruksi untuk meminimalkan dampak lingkungan, meningkatkan efisiensi energi, dan menciptakan bangunan yang ramah lingkungan.

Peningkatan kebutuhan akan pembangunan berkelanjutan mendorong para peneliti dan praktisi konstruksi untuk mencari inovasi dalam material konstruksi. Salah satu solusi yang sedang dikembangkan adalah penggunaan beton berpori atau pervious concrete, yang memiliki kemampuan untuk meresap air dan mengurangi genangan air. Namun beton jenis ini memiliki kuat tekan yang rendah dibandingkan dengan beton konvensional. Faktor ini muncul karena adanya rongga yang terbentuk akibat ketiadaan agregat halus sebagai bahan pengisi, sehingga penggunaannya hanya terbatas pada elemen-elemen bangunan yang tidak membutuhkan kuat tekan dan kuat lentur yang tinggi. Untuk mengatasi tantangan tersebut, berbagai penelitian telah dilakukan dengan tujuan menjaga porositas beton berpori sambil meningkatkan nilai kuat tekannya. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah dengan menambahkan bahan tambahan ke dalam campuran beton berpori. Upaya ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas mekanis beton tanpa mengorbankan porositas yang menjadi keunggulan utama dari beton berpori.

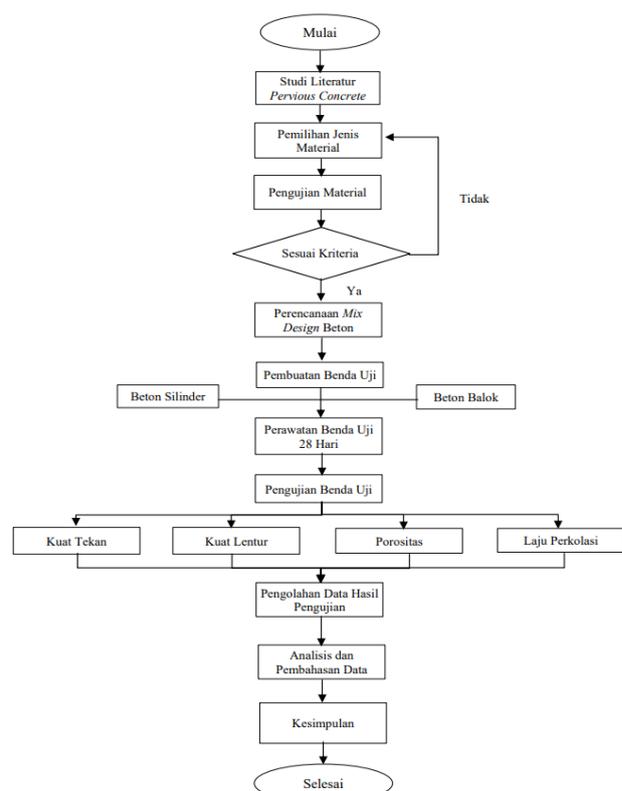
Dalam penelitian ini, peneliti akan memfokuskan pada peningkatan kekuatan tekan dan kekuatan lentur beton berpori melalui modifikasi komposisi material high strength concrete untuk dapat digunakan pada lahan parkir kendaraan umum. High strength concrete (HSC) sendiri merupakan jenis beton yang dicirikan dengan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton konvensional. Beton didefinisikan sebagai beton berkualitas tinggi apabila kuat tekan yang dimiliki beton lebih besar dari 40 MPa [2].

Modifikasi komposisi *high strength concrete* ini menjadi suatu pendekatan yang menjanjikan karena keunggulannya dalam ketahanan tekan yang tinggi, sehingga dengan modifikasi proporsi yang tepat, diharapkan dapat meningkatkan kinerja kuat tekan dan kuat lentur dari pervious concrete untuk digunakan pada perkarasan lahan parkir kendaraan umum di Indonesia. Karena belum adanya aturan mengenai syarat kuat tekan beton berpori untuk digunakan pada lahan parkir kendaraan umum di Indonesia, maka peneliti

menggunakan syarat kuat tekan yang mengacu pada klasifikasi *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996, yang mana menyatakan kuat tekan paving block untuk penggunaan pada lahan parkir berkisar antara 17 – 20 MPa [3].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan studi eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui efek reduksi kandungan pasir *pervious concrete* pada basis campuran *high strength concrete* (HSC). Penelitian dilakukan dengan menggunakan pendekatan data kuantitatif dari hasil data pengujian. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bangunan, Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Eksperimen yang dilakukan berupa reduksi kandungan pasir pada campuran *high strength concrete* secara menyeluruh hingga (100%), kemudian dilakukan peningkatan penggunaan pasir mulai dari 5%, 10%, 15%, dan 20%. Benda uji *high strength concrete* dengan tanpa pangurangan pasir pada campurannya (pasir 100%), akan digunakan sebagai variabel kontrol dalam penelitian ini. Bagan alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir penelitian.

Sampel uji yang digunakan berbentuk silinder dan balok. Silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, yang akan digunakan untuk menguji kuat tekan, porositas dan laju perkolasi, sedangkan balok dengan dimensi 10 cm x

10 cm x 50 cm akan digunakan untuk menguji kuat lentur beton. Pada Tabel 1 ditunjukkan benda uji yang akan digunakan, dengan “S” sebagai kode dari silinder dan “B” kode untuk benda uji balok. Setiap persentase penggunaan pasir terdiri dari 5 benda uji.

Tabel 1. Sampel benda uji previous concrete.

No	Penggunaan Pasir (%)	Kode	Jumlah
1	0	S000	5
2	5	S005	5
3	10	S010	5
4	15	S015	5
5	20	S020	5
6	100	S100	5
7	0	B000	5
8	5	B005	5
9	10	B010	5
10	15	B015	5
11	20	B020	5
12	100	B100	5
Jumlah Total			60

3. Pembahasan

3.1. Mix Design

Perencanaan *mix design* pada penelitian ini mengacu pada *mix design* beton berkekuatan tinggi atau *high strength concrete* (HSC) dengan metode *metha/aitchin*. Untuk meningkatkan sifat mekanik beton, sangat disarankan untuk menggunakan superplasticizer [4]. Dengan penggunaan superplasticizer pada dosis tertentu, nilai slump dapat meningkat hingga 50% [5]. Proporsi material disajikan dalam satuan per m³ dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Proporsi material per 1 m³

No	Pasir (kg)	Agregat Kasar (kg)	Semen	Silica fume (kg)	Superplasticizer (kg)
S000	0	1398,9	514	57,1	12,448
S005	36,83	1398,9	514	57,1	12,448
S010	73,66	1398,9	514	57,1	12,448
S015	110,49	1398,9	514	57,1	12,448
S020	147,32	1398,9	514	57,1	12,448
S100	736,59	1398,9	514	57,1	12,448
B000	0	1398,9	514	57,1	12,448
B005	36,83	1398,9	514	57,1	12,448
B010	73,66	1398,9	514	57,1	12,448
B015	110,49	1398,9	514	57,1	12,448
B020	147,32	1398,9	514	57,1	12,448
B100	736,59	1398,9	514	57,1	12,448

Perhitungan proporsi material ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$w/c = -0.0076fc28 + 0.9082 \quad (1)$$

$$m = 6.4323w/c + 1.8704 \quad (2)$$

$$cem = -121.1m + 972.09 \quad (3)$$

Keterangan:

w/c = Faktor air semen

m = Agregat

cem = Semen

3.2. Pengujian Pasir

Pengujian dilakukan pada pasir alami berasal dari Kaliurang, Sleman Progo, DIY, Indonesia. Untuk memastikan konsistensi hasil pengujian agregat, maka pengujian dilakukan sebanyak 3 kali dan diambil nilai rata – rata dari pengujian tersebut. Tabel 3 menunjukkan nilai rerata hasil pengujian pasir.

Tabel 3. Pengujian pasir

No	Pengujian	Rerata	Satuan
1.	<i>Fines Modulus</i>	3,37	-
2.	Berat Jenis SSD	2,71	-
3.	Penyerapan Air	2.92	%
4.	Kadar Air Alami	0.46	%
5.	Kadar Air SSD	2.79	%
6.	Kadar Lumpur	0.21	%
7.	Bobot Isi Padat	1752.8	kg/m ³
8.	Bobot Isi Gembur	1591.8	kg/m ³

3.3. Pengujian Agregat Kasar

Pengujian dilakukan pada kerikil pecah berjenis andesit yang berasal dari Clereng, Kulon Progo, DIY, Indonesia. Untuk memastikan konsistensi hasil pengujian agregat, maka pengujian dilakukan sebanyak 3 kali dan diambil nilai rata – rata dari pengujian tersebut. Tabel 4 menunjukkan nilai rerata hasil pengujian agregat kasar. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh agregat kasar yang digunakan sebagai bahan penyusun beton pori masuk ke dalam daerah gradasi nomor 1 termasuk dalam kelas agregat kasar.

Table 4. Hasil pengujian agregat kasar

No	Pengujian	Rerata	Satuan
1.	<i>Fines Modulus</i>	7.5	-
2.	Berat Jenis SSD	2,71	-
3.	Penyerapan Air	1,61	%
4.	Kadar Air Alami	0.81	%
5.	Kadar Air SSD	2.35	%
6.	Kadar Lumpur	0.51	%
7.	Bobot Isi Padat	1640,0	kg/m ³
8.	Bobot Isi Gembur	1453.3	kg/m ³

3.3 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan benda uji Kuat tekan benda uji beton merujuk pada kemampuan beton untuk menahan tekanan atau gaya tekan sebelum mengalami deformasi atau retak. Perhitungan kuat tekan pada balok dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \quad (4)$$

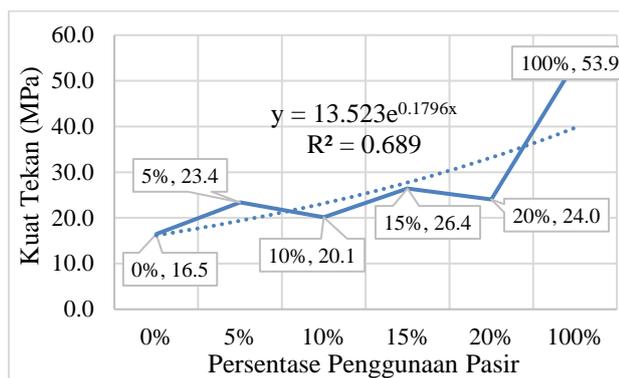
Keterangan:

Kuat tekan beton dinyatakan dalam N/mm² atau MPa

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang beton (mm²)

Dari total 30 silinder beton berumur 28 hari yang dilakukan pengujian terhadap kuat tekan yang mampu diterima, didapatkan hasil dengan kuat tekan tertinggi untuk beton pori senilai 29,5 MPa dan yang terendah senilai 11,35 MPa. Sedangkan kuat tekan silinder HSC yang menjadi kontrol adalah 66,43 MPa. Nilai rerata kuat tekan pada setiap variasi penggunaan pasir menunjukkan perbedaan yang dapat dicermati pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik nilai rerata kuat tekan akibat perbedaan penggunaan pasir

Berdasarkan grafik pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa, kuat tekan *pervious concrete* cenderung meningkat seiring dengan peningkatan persentase penggunaan pasir. Rerata kuat tekan *pervious concrete* tertinggi terjadi pada penggunaan pasir 15% dengan nilai 26,4 MPa 20 % dengan nilai 24 MPa. Meskipun beberapa variasi beton pori menunjukkan kuat tekan yang tinggi, namun hasil tersebut tetap berada jauh di bawah kuat tekan beton dengan penggunaan 100% pasir yang disini adalah *high strength concrete* sebagai variabel kontrol dengan rata-rata kuat tekan senilai 56 MPa. Hal ini mencerminkan karakteristik alami *pervious concrete* yang memiliki porositas lebih tinggi dan oleh karena itu, menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton konvensional.

3.4. Pengujian Kuat Lentur

Kuat lentur balok adalah kemampuan balok dalam menahan tekanan beban tertentu yang tegak lurus terhadap sumbu balok pada saat pengujian sampai benda uji tersebut rusak. Rumus perhitungan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\sigma_l = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (5)$$

Atau

$$\sigma_l = \frac{P.a}{b.h^2} \quad (6)$$

Keterangan:

σ_l = Kuat lentur (MPa)

P = Beban tertinggi yang muncul pada mesin uji

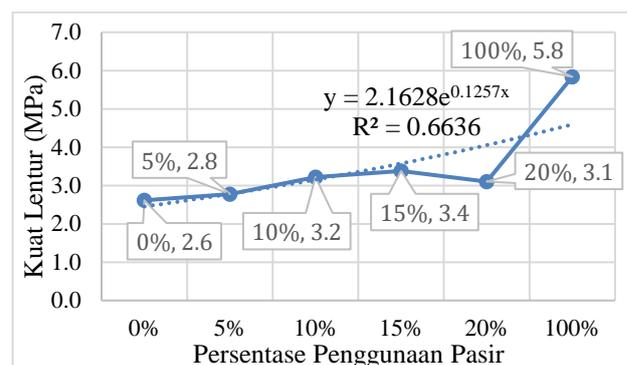
L = Jarak antara dua garis perletakan (mm)

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = Lebar tampang lintang arah vertical (mm)

a = Rata – rata jarak antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat.

Dari total 30 balok beton berumur 28 hari yang dilakukan pengujian terhadap kuat lentur yang diterima, didapatkan hasil rerata kuat lentur tertinggi *pervious concrete* pada beton dengan penggunaan pasir 15% senilai 3,4 MPa dan yang terendah terjadi pada beton dengan penggunaan pasir 0% 2,61 MPa. Kuat lentur tertinggi balok HSC yang menjadi variabel kontrol adalah 6,33 MPa, dan yang terendah 5,22. Gambar 3 menunjukkan nilai rerata kuat tekan akibat perbedaan penggunaan pasir.



Gambar 3 Grafik nilai rerata kuat lentur akibat perbedaan penggunaan pasir

3.5. Pengujian Porositas

Untuk mengetahui porositas beton, persamaan yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{c-A}{c-D} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

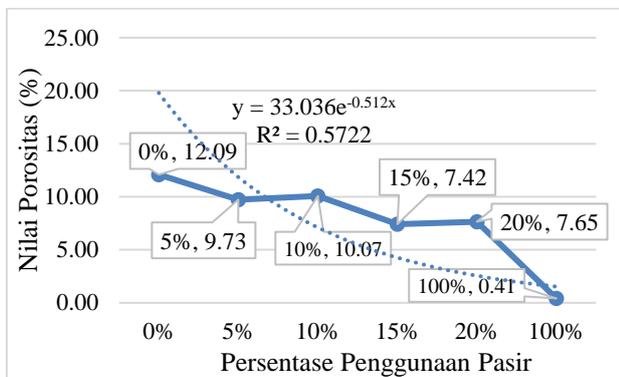
A = Berat kering oven (kg)

C = Berat keadaan jenuh (kg)

D = Berat dalam air (kg)

Dari total 30 benda uji penelitian berumur 28 hari yang dilakukan pengujian terhadap porositas yang dimiliki, didapatkan hasil rerata porositas tertinggi *pervious concrete* pada beton tanpa pasir senilai 12,09% dan yang terendah terjadi pada beton dengan penggunaan pasir 15% dan 20% yaitu berturut-turut 7,42% dan 7,65%.

Gambar 4 menunjukkan nilai rerata kuat takan akibat perbedaan penggunaan pasir. Yang mana, dapat disimpulkan bahwa volume agregat halus pada campuran beton pori akan mempengaruhi nilai porositasnya. Agregat halus tersebut akan mengisi rongga – rongga yang ada pada beton, dan rongga akan semakin mengecil berbanding lurus dengan penambahan jumlah agregat halus tersebut.



Gambar 4. Grafik nilai rerata porositas akibat perbedaan penggunaan pasir

3.6. Pengujian Laju Perkolasi

Nilai laju perkolasi dihitung menggunakan hukum (*darcy*) dengan persamaan sebagai berikut:

$$K = \frac{A_1 \cdot l}{A_1 \cdot t} \log \frac{h_2}{h_1} \tag{8}$$

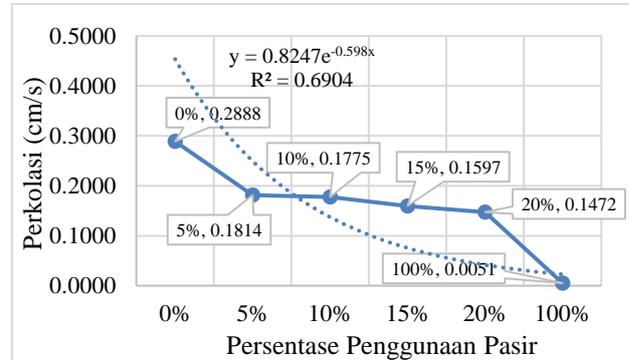
Keterangan:

- K = Laju perkolasi (cm/s)
- A₁ = Luas permukaan beton ([cm] ^2)
- A₂ = Luas tabung ([cm] ^2)
- l = Tinggi beton (cm)
- t = Waktu (detik)
- h₁ = Tinggi awal muka air (cm)
- h₂ = Tinggi akhir muka air (cm)

Rerata laju perkolasi tertinggi *pervious concrete* terjadi pada beton tanpa pasir dengan nilai laju perkolasi senilai 0,288 cm/s dan yang terendah terjadi pada beton dengan penggunaan pasir 20% dengan nilai 0,147 cm/s. Gambar 5 menunjukkan nilai rerata laju perkolasi akibat perbedaan penggunaan pasir.

Gambar 5 menunjukkan grafik nilai rerata laju perkolasi akibat perbedaan penggunaan pasir, yang mana dapat

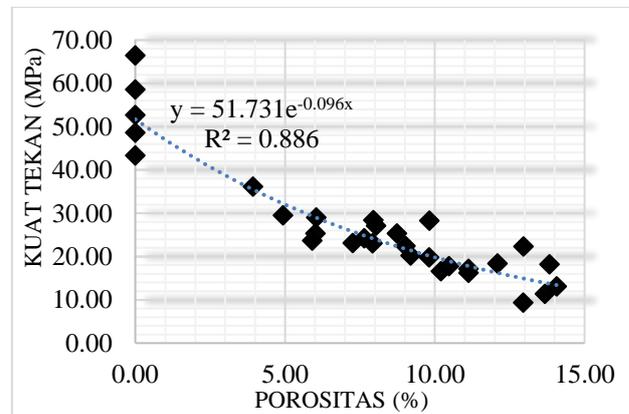
disimpulkan bahwa semakin besar persentase penggunaan pasir menyebabkan laju perkolasi yang terjadi pada *pervious concrete* semakin rendah, Yang mana disebabkan oleh jumlah agregat halus yang ada membuat rongga-rongga yang ada menjadi kecil.



Gambar 5. Grafik nilai rerata laju perkolasi akibat perbedaan penggunaan pasir

3.7. Hubungan Setiap Pengujian

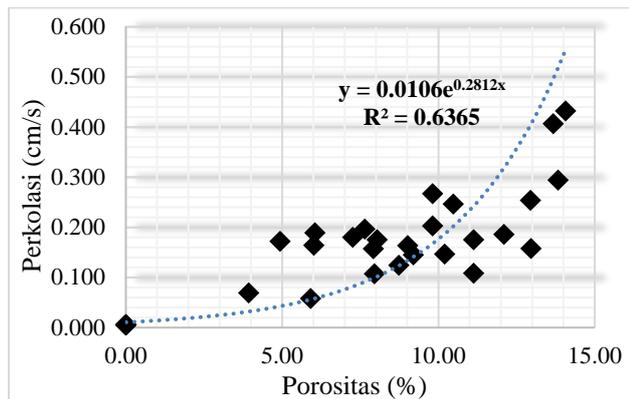
Hasil pengujian menunjukkan adanya korelasi yang kompleks antara parameter-parameter yang ada, termasuk nilai laju perkolasi, porositas, kuat lentur, dan kuat tekan pada beton pori. Analisis menyeluruh terhadap hubungan ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam terkait performa beton pori dalam respon terhadap variasi komposisi material dan volume agregat. Grafik perbandingan nilai kuat tekan dengan nilai porositas beton dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai kuat tekan dengan nilai porositas beton

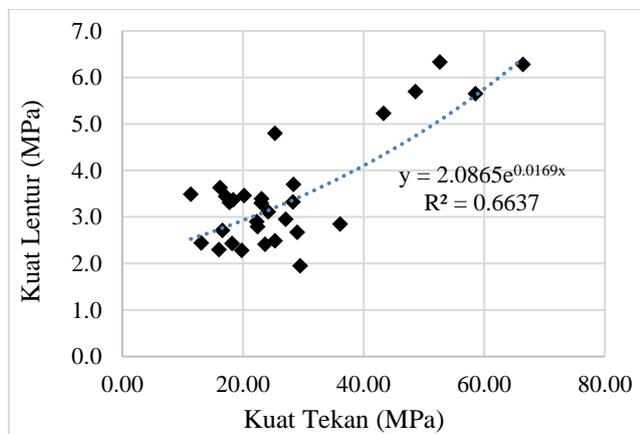
Berdasarkan grafik hubungan antara kuat tekan dan porositas di atas (Gambar 6), dapat terlihat bahwa semakin tinggi nilai porositas pada beton pori menyebabkan kuat tekannya semakin rendah. Ini sesuai dengan ekspektasi bahwa beton pori dengan porositas yang tinggi memiliki rongga-rongga yang lebih kecil, dan akan menghambat pergerakan air. Yang mana juga berpengaruh terhadap laju perkolasi beton itu sendiri. Gambar 7 memperlihatkan

bagaimana porositas beton mempengaruhi laju perkolasi beton itu sendiri.



Gambar 7. Grafik perbandingan perkolasi dan laju porositas beton

Gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan persentase agregat halus secara langsung berkontribusi pada penurunan porositas beton pori. Korelasi ini juga mempengaruhi kuat lentur, dimana penurunan porositas diikuti oleh peningkatan kuat lentur. Yang mana juga sama halnya terhadap kuat tekan *pervious concrete*. Semakin tinggi kuat tekan yang dimiliki, maka semakin tinggi pula nilai kuat lentur yang dihasilkan. Gambar 8 menunjukkan hubungan kuat tekan dan kuat lentur itu sendiri.



Gambar 8. Grafik perbandingan nilai kuat tekan dan kuat lentur beton

3.8. Beton Poros Pada Perkerasan Lahan Parkir Kendaraan Umum

Hasil pengujian *pervious concrete* dengan komposisi *high strength concrete* (HSC) yang dilakukan reduksi pada kandungan pasirnya, memberikan gambaran yang signifikan terhadap potensi aplikatifnya pada lahan parkir kendaraan umum di Indonesia. Persyaratan yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia adalah nilai kuat tekan permukaan lahan parkir senilai 17-20 MPa.

Namun untuk mengoptimalkan manfaat beton pori ini, perlu juga diperhatikan nilai porositas dan perkolasi yang muncul dalam hasil pengujian. Pada setiap pengujian beton berdasarkan variasi yang sama dengan kuat tekan sebelumnya, didapatkan nilai porositas berturut-turut sebesar 12.09%, 9.73%, 10.07%, 7.42%, dan 7.65%. Analisis nilai porositas tersebut mencerminkan tingkat pori-pori yang terdapat dalam struktur beton pori pada masing-masing komposisi. Terlihat bahwa pada penggunaan pasir 0% (non pasir), porositas mencapai nilai tertinggi sebesar 12.09, yang kemudian mengalami penurunan dengan peningkatan persentase penggunaan pasir.

4. Simpulan

- (1). Rerata kuat tekan *pervious concrete* yang dihasilkan pada setiap variasi berada di atas 16 MPa.
- (2) Nilai kuat lentur yang dihasilkan berbanding lurus dengan peningkatan penggunaan pasir.
- (3) Porositas yang dihasilkan pada setiap variasi cenderung menurun pada setiap peningkatan penggunaan pasir.
- (4) Laju Perkolasi yang dihasilkan cenderung menurun di setiap peningkatan penggunaan pasir.

Daftar Rujukan

- [1] Prasetyo, Y. E., & Widodo, S. (2015). Pengaruh Cara Perawatan Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur High Early Strength Fiber Reinforced Concrete. In *46 INERSIA: Vol. XI No.1*.
- [2] Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. Pearson Education.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. (1996). *SNI-03-0691-1996 tentang Bata Beton (Paving Block)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- [4] Widodo, S. (2015). Kajian Sifat Mekanik Beton Ringan Dengan Penggunaan Polystyrene Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus. In *46 INERSIA: Vol. XI No.1*.
- [5] Kusnadi & Sulistyorini, D. (2011). Pengaruh Penambahan Superplastisizer terhadap Campuran Beton Ringan yang menggunakan Styrofoam. *INERSIA: Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 7(2), 124-140