

PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG SAWIT UNTUK BETON BERPORI RAMAH LINGKUNGAN

Adriansyah¹, Herni Suryani², Irma Ridhayani³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat

e-mail: *adriansyahst2@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi penggunaan limbah cangkang sawit sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam beton berpori ramah lingkungan. Beton berpori efektif menyerap air dan mengurangi limpasan, cocok untuk drainase perkotaan. Beton dibuat dengan penggantian agregat kasar oleh cangkang sawit sebesar 25% dan 50%, diuji kuat tekan (7 dan 28 hari), permeabilitas, total void, densitas, kuat tarik belah (28 hari), dan pertumbuhan rumput (30 hari). Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi proporsi cangkang sawit, kuat tekan dan densitas beton menurun, sedangkan permeabilitas dan total void meningkat. Penggantian 25% memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan mekanik dan sifat hidrologis dibandingkan 50%. Pada umur 28 hari, beton dengan 25% cangkang sawit memiliki kuat tekan 2,028 MPa, permeabilitas 1,097 cm/s, total void 23,907%, densitas 1587,46 kg/m³, dan kuat tarik belah 0,444 MPa. Kesimpulannya, limbah cangkang sawit berpotensi mendukung konstruksi berkelanjutan sebagai substitusi agregat kasar.

Kata Kunci: Beton berpori, cangkang sawit, agregat kasar, sifat mekanik beton, material berkelanjutan.

Abstract

Utilization Of Palm Shell (Cs) Waste For Environmentally Porous Concrete. This study evaluated the use of palm shell waste as a partial replacement of coarse aggregate in environmentally friendly porous concrete. Porous concrete effectively absorbs water and reduces runoff, suitable for urban drainage. Concrete made by replacing coarse aggregate by palm shells by 25% and 50%, tested for compressive strength (7 and 28 days), permeability, total voids, density, splitting tensile strength (28 days), and grass growth (30 days). The results showed that the higher the proportion of palm shells, the compressive strength and density of concrete decreased, while permeability and total voids increased. The 25% replacement provided the best balance between mechanical strength and hydrological properties compared to 50%. At the age of 28 days, concrete with 25% palm shells had a compressive strength of 2.028 MPa, permeability of 1.097 cm/s, total voids of 23.907%, density of 1587.46 kg/m³, and splitting tensile strength of 0.444 MPa. In conclusion, palm shell waste has the potential to support sustainable construction as a substitute for coarse aggregate.

Keywords: Porous concrete, palm shell, coarse aggregate, mechanical properties of concrete, sustainable materials.

I. PENDAHULUAN

Beton berpori adalah jenis material bangunan yang memiliki karakteristik unik. Beton ini memiliki pori-pori yang memungkinkan air untuk mengalir melalui strukturnya. Penggunaan beton berpori dapat menjadi alternatif dalam konstruksi, karena pori-porinya dapat

digunakan untuk menyerap air yang mengalir di permukaan. Dalam beberapa dekade terakhir, pertumbuhan urbanisasi yang pesat telah menyebabkan peningkatan penggunaan permukaan kedap air seperti aspal dan beton konvensional. Hal ini berdampak pada berkurangnya kemampuan tanah dalam menyerap air hujan, yang akhirnya berkontribusi terhadap berbagai

masalah lingkungan, seperti banjir perkotaan, erosi tanah, pencemaran air, dan efek pulau panas. (Anggraeni, Yusrianti, and Amrullah, 2020)

Beton berpori adalah salah satu jenis beton yang ramah lingkungan karena dapat mengisi kembali muka air tanah dan mengurangi limpasan air permukaan. Beton berpori digunakan secara luas dalam pengaspalan jalan, trotoar, halaman parkir dan jalur pedesaan karena permeabilitasnya yang tinggi, dan sifat termal yang baik. Namun, untuk mencapai tingkat porositas tinggi dan rongga yang terhubung, beton harus memiliki jumlah pori yang sedikit dengan cara tanpa menggunakan agregat halus, namun hal ini menghasilkan pengurangan yang signifikan pada kekuatan daya tahan. (Patah and Dasar, 2023)

Salah satu inovasi terbaru dalam pembuatan perkerasan tanah yang ramah lingkungan adalah penggunaan beton pori. Beton ini memiliki pori yang lebih besar dibandingkan dengan beton biasa dan aspal, sehingga memungkinkan air mengalir dan meresap ke dalam tanah secara alami. Beton berpori tidak hanya memberikan solusi terhadap permasalahan hidrologi perkotaan, tetapi juga memiliki potensi dalam mendukung pengurangan jejak karbon. Penggunaannya dapat dikombinasikan dengan bahan daur ulang, mengurangi konsumsi agregat alami, serta meningkatkan efisiensi energi dalam pembangunan. Dengan berbagai manfaatnya, beton berpori telah menjadi bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan di banyak kota modern, mendukung visi lingkungan yang lebih sehat dan lebih adaptif terhadap perubahan iklim. (Abrar, 2021)

Cangkang sawit adalah limbah yang dihasilkan dari proses ekstraksi minyak sawit. Proses ini melibatkan pengepresan buah kelapa sawit sehingga menghasilkan cangkang sebagai produk sekunder. Umumnya, Cangkang sawit diproses melalui pabrik-pabrik kelapa sawit di seluruh Indonesia. Limbah kelapa sawit merupakan limbah lignoselulosik yang bersifat organik dan tersedia dalam jumlah yang sangat besar di lingkungan. Hingga kini, limbah ini belum dimanfaatkan secara maksimal dan memiliki nilai ekonomi yang rendah. Terkait pemanfaatan limbah dari tanaman kelapa sawit, Abdullah dan rekan-rekannya (2010) pernah melakukan penelitian dengan menggunakan Bongkahan Cangkang Sawit (BCS) sebagai bahan campuran agregat. Dengan proporsi tertentu, penggunaan BCS dapat menghasilkan mutu beton di atas 25 MPa untuk beton ringan busa. Ini

menunjukkan cangkang sawit berpotensi untuk menggantikan bahan agregat alami. (Asiva Noor Rachmayani, 2015) & (Riadi and Danil, 2016). Selain itu penggunaan limbah pada beton telah banyak dilakukan yang memiliki pengaruh penambahan kekuatan dan durabilitas pada beton (Patah et al., 2025a; Dasar et al. 2025; Patah et. al., 2025b; Patah et. al., 2024; Patah et al., 2024)

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja mekanik bata ringan yang diproduksi dengan menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus dan penambahan foaming agent dengan rasio 1:60. Parameter utama yang dianalisis meliputi kuat tekan dan *electrical resistivity* sebagai indikator performa struktural dan durabilitas material.

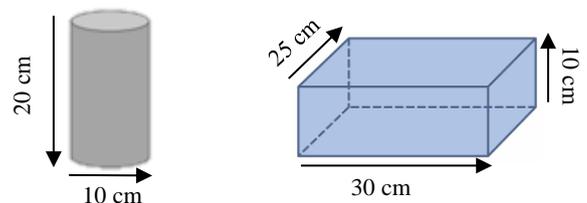
II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Bahan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat. Bahan tambah yang digunakan adalah cangkang sawit yang diperoleh dari PT. Surya Lestari II. Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil diperoleh dari CV. Anato, Kec. Dampnua, Kab. Pinrang, Provinsi Sulawesi Selatan. Bahan utama dalam pembuatan beton berpori terdiri dari kerikil, semen Portland (PCC), air tawar, cangkang sawit. Proporsi campuran ditentukan berdasarkan rasio bahan yang telah ditetapkan, mengikuti standar SNI.

B. Desain Benda Uji dan Komposisi Campuran

Benda uji berbentuk silinder 10 x 20 cm dan plat 30 x 25 x 10 cm dibuat untuk pengujian kuat tekan, permeabilitas, densitas, total void, kuat belah dan pertumbuhan rumput. Variasi campuran dibedakan berdasarkan persentase penggantian agregat kasar, yaitu 0%, 25%, dan 50%. Tabel 1 menampilkan jumlah benda uji yang digunakan dalam setiap variasi campuran untuk masing-masing pengujian. Gambar 1 memperlihatkan dimensi benda uji yang digunakan.



Gambar 1. Bentuk dan Ukuran Benda Uji Bata Ringan

TABEL 1. Jumlah Benda Uji per Variasi Campuran

Variasi	Uji Kuat Tekan		Permeabilitas	Total Void	Densitas	Kuat Belah	Pertumbuhan Rmput
	7 Hari	28 Hari	28 Hari	28 Hari	28 Hari	28 Hari	30 Hari
	Silinder						Plat
CS0-TP	3	3	3	3	3	3	1
CS25-TP	3	3	3	3	3	3	1
CS50-TP	3	3	3	3	3	3	1

Proses pembuatan benda uji meliputi tahap pencampuran material, pencetakan, perawatan (curing), dan pengujian (Gambar 2).



Gambar 2. Proses Pembuatan dan Perawatan: Mixing, Pencetakan, Curing, dan Pengujian

TABEL 2. Mix Design Benda Uji

Variasi	Berat (Kg)			
	Semen	Cangkang Sawit	Kerikil	Air Tawar
CS0-TP	10.286	-	33.966	3,600
CS25-TP	10.286	9.519	25.475	3,600
CS50-TP	10.286	19.03778	16,983	3,600

C. Pengujian

Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat tekan yang dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari untuk menilai kekuatan struktural. Kuat tekan beton (f^c) adalah beban per satuan luas yang menyebabkan beton hancur saat diberi gaya tekan tertentu dari mesin. Ini adalah sifat paling penting dalam menentukan kualitas beton. Menurut (SNI 1974-2011), kuat tekan beton dihitung dengan membagi kuat tekan maksimum benda uji dengan luas penampang. Kuat tekan dapat dihitung menggunakan persamaan (1)

$$f^c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana:

f^c = Kuat tekan beton dengan benda uji silinder (Mpa)

P = Gaya tekan aksial (Newton, N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

Selain itu dilakukan pengujian permeabilitas yang dilakukan pada umur 28 hari untuk menilai bagaimana kemudahaan air melewati beton berpori. Permeabilitas merupakan kemudahaan air atau gas melewati beton. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas adalah faktor air semen dari campuran beton, kondisi lingkungan, dan sifat dari semen. Nilai akhir permeabilitas air pada beton berpori dihitung menggunakan rumus berikut. dihitung menggunakan persamaan (2).

$$I = \frac{K M}{D^2 t} \quad (2)$$

Dimana,

I = Lanju infiltrasi (Cm/C)

D = Diameter benda uji (mm)

T = Waktu yang dibutuhkan ntuk meloloskan air (s)

K = Konstanta dengan nlai 4,584,666,000

M = Massa dengan nilai 1 Kg

Lalu dilakukan juga pengujian total void yang dilakukan pada umur 28 hari, total void pada beton berpori adalah persentase volume ruang kosong (pori-pori) dalam beton dibandingkan dengan volume totalnya. Pori-pori ini terbentuk akibat kombinasi antara rongga udara, evaporasi air, serta celah antar agregat yang tidak sepenuhnya terisi pasta semen. Isi pori ditentukan berdasarkan prosentase total dari pori-pori oleh volume dalam benda uji. Isi pori dari beton berpori dihitung berdasarkan persamaan (3)

$$\text{Total Void (\%)} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana:

A = Berat benda uji dalam air (gram)

B = Berat benda uji kondisi permukaan jenuh (gram)

C = Berat benda uji kering oven (gram)

Selain itu dilakukan pengujian densitas yang dilakukan pada umur 28 hari untuk mengetahui nilai massa dari benda uji. Densitas adalah rasio antara massa suatu objek dan volume objek tersebut. Pengujian dilakukan dengan cara menimbang berat objek yang

diuji dan membaginya dengan volume objek tersebut. Berdasarkan (SNI 1973:2008), nilai densitas beton berpori dapat dihitung dengan persamaan (4).

$$D = \frac{M}{V} \quad (4)$$

Dimana :

Mm = massa benda uji (kg)

Vm = volume benda uji (m³)

Lalu dilakukan juga pengujian kuat belah yang juga dilakukan pada umur 28 hari, kuat tarik belah beton berpori adalah kemampuan beton berpori untuk menahan gaya tarik tidak langsung yang diberikan melalui uji belah (*splitting tensile test*). Kekuatan tarik diukur melalui percobaan belah silinder (*the split cylinder*), di mana silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm diberikan beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinalnya. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2491-2002), kekuatan tarik belah suatu material dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5).

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi l D} \quad (5)$$

Dimana:

F_{ct} = Kuat tarik belah (Mpa)

P = Beban pada waktu belah (N)

l = Panjang benda uji (mm)

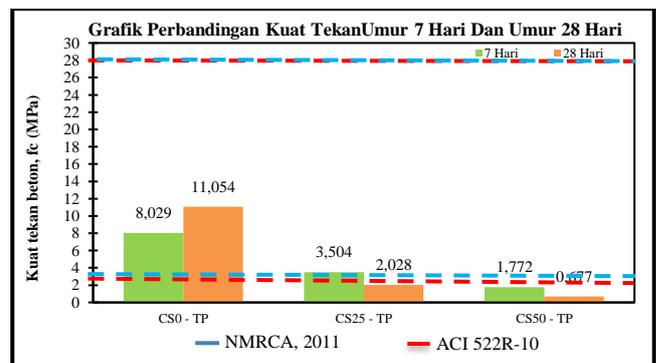
D = Diameter benda uji (mm)

Dan terakhir dilakukan pengujian pertumbuhan rumput untuk mengetahui bagaimana infiltrasi pada beton berpori. Laju infiltrasi pada beton berpori menunjukkan kecepatan air meresap melalui beton ke tanah di bawahnya, berkat rongga-rongga yang terbentuk dari agregat kasar, berbeda dengan beton biasa yang sulit dilalui air. Pengujian pertumbuhan rumput pada beton berpori penting karena infiltrasi air mempengaruhi ketersediaan air, oksigen, dan nutrisi di zona akar rumput. Beton berpori dirancang untuk memungkinkan air meresap ke tanah, mendukung pertumbuhan tanaman, termasuk rumput. Pengujian ini mengacu pada jurnal Horiguchi, Itaru, Yoichi Mimura, and Paulo J M Monteiro. 2021. "Bahan Pembersih Performa Pertumbuhan Tanaman Dari Beton Tembus Pandang Yang Mengandung Agregat Cangkang Tiram Yang Dihancurkan".

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kuat Tekan Beton Berpori

Hasil pengujian kuat tekan beton berpori dengan variasi campuran pada umur 7 dan 28 hari menunjukkan bahwa penambahan cangkang sawit sebagai pengganti sebagian kerikil menurunkan nilai kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh kekerasan cangkang sawit yang lebih rendah dan kemampuannya menyerap air, yang mengurangi air untuk hidrasi semen. Variasi CS0-TP memiliki nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya. Pada umur 7 hari, kuat tekan tertinggi berada pada variasi CS0-TP dengan nilai sebesar 8,029 MPa, sedangkan variasi CS50-TP memiliki nilai terendah sebesar 1,772 MPa. Pada umur 28 hari variasi CS0-TP kembali unggul dalam kuat tekan tertinggi dengan nilai 11,054 MPa, sementara Variasi CS25-TP, dan CS50-TP menunjukkan nilai yang lebih rendah.

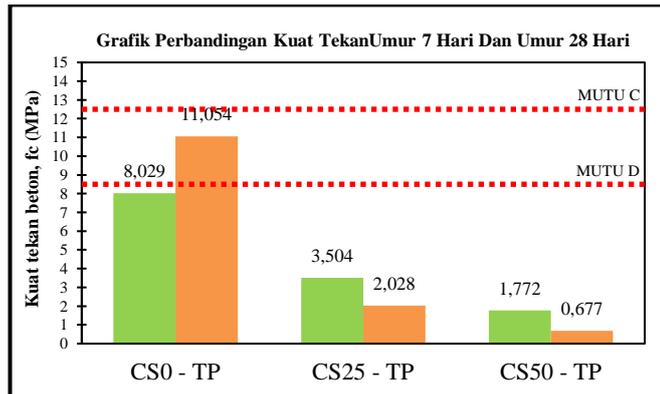


Gambar 3. Perbandingan Kuat Tekan Beton Berpori pada Umur 7 dan 28 hari

Gambar 4 memperlihatkan hasil pengujian kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari untuk berbagai variasi. Berdasarkan NMRCA 2011 yang menetapkan nilai kuat tekan beton berpori dengan minimum 3,5 MPa dan maksimum 28 MPa, dan ACI 522R-10 dengan nilai minimum 2,8 MPa dan maksimum 28 MPa. Baik pada umur 7 maupun umur 28 hari variasi CS0-TP memenuhi persyaratan nilai kuat tekan beton berpori. sementara itu variasi CS25-TP pada umur 7 hari juga memenuhi persyaratan, namun pada umur 28 hari tidak memenuhi. Serta variasi CS50-TP pada umur 7 dan 28 hari juga tidak memenuhi persyaratan nilai kuat tekan beton berpori.

Selain itu berdasarkan SNI 03-0691-1996, benda uji dengan kuat tekan 35-40 Mpa termasuk mutu A (jalan), 17-20 Mpa mutu B (pelataran parkir), 12,5-15 Mpa

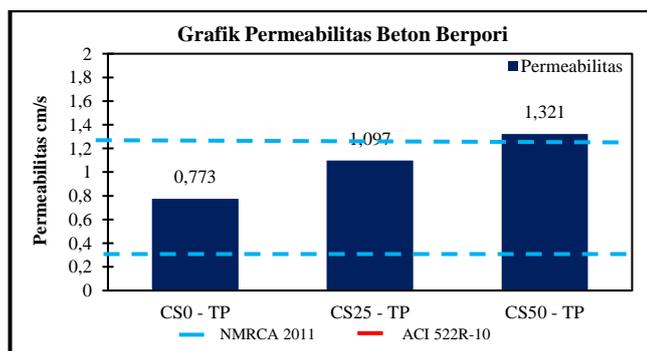
mutu C (pejalan kaki), dan 8.5-10 Mpa mutu D (taman dan lainnya). Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semua variasi benda uji pada umur 7 hari tidak termasuk dalam mutu. Pada umur 28 hari, variasi CS0-TP termasuk mutu D, sedangkan CS25-TP dan CS50-TP tidak termasuk dalam mutu. Data hasil kuat tekan beton berpori umur 28 hari yang dijelaskan dapat dilihat lebih jelas pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Perbandingan Kuat Tekan Beton Berpori pada Umur 7 dan 28 hari

B. Permeabilitas Beton Berpori

Gambar 4 memperlihatkan Hasil pengujian permeabilitas beton berpori menunjukkan bahwa penambahan cangkang sawit sebagai pengganti sebagian kerikil meningkatkan permeabilitas karena cangkang sawit memiliki rongga besar dan menyerap air, sehingga air mengalir lebih cepat. Variasi CS50-TP memiliki permeabilitas tertinggi (1,321 cm/s), diikuti CS25-TP, sedangkan CS0-TP terendah (0,773 cm/s).



Gambar 5. Hasil Pengujian Permeabilitas

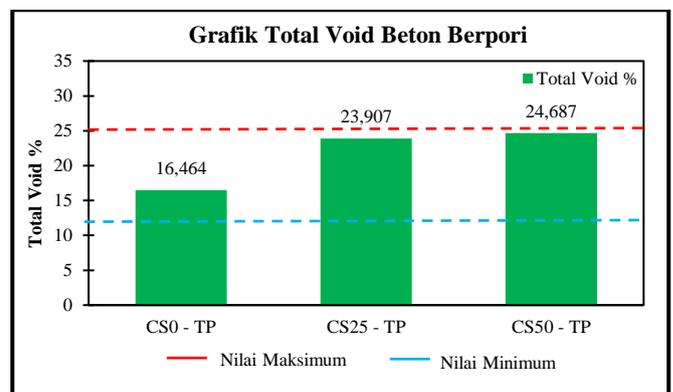
Gambar 4 memperlihatkan, berdasarkan persyaratan NRMCA 2011, yang menetapkan nilai minimum

sebesar 0,2 cm/s dan nilai maksimum sebesar 1,22 cm/s. Selain itu, menurut ACI 522R-10, syarat nilai minimum sebesar 0,14 cm/s dan nilai maksimum yang sama yaitu 1,22 cm/s. Variasi CS0-TP dan CS25-TP memenuhi syarat, sedangkan variasi CS50-TP tidak memenuhi syarat dikarenakan menggunakan bahan tambah cangkang sawit 50% dengan kadar rongga yang lebih tinggi mengakibatkan nilai permeabilitasnya melebihi syarat.

C. Total Void Beton Berpori

Hasil pengujian total void beton berpori menunjukkan bahwa penggunaan cangkang sawit sebagai pengganti kerikil meningkatkan total void karena cangkang sawit memiliki rongga tinggi, pori lebih besar, dan koneksi antar pori lebih baik. Nilai total void tertinggi pada variasi CS50-TP sebesar 24,687%, diikuti CS25-TP, sedangkan CS0-TP terendah dengan 16,464%.

Berdasarkan buku Beton Non Pasir oleh Trisnoyuwono 2014, yang menetapkan persyaratan nilai total void dengan nilai minimum sebesar 12% dan maksimum 25%. variasi CS0-TP dengan nilai sebesar 16,464% , CS25-TP dengan nilai 23,907% dan CS50-TP dengan nilai 24,687 masing-masing memenuhi persyaratan nilai total void beton berpori. Dari semua data uji total void umur 28 hari diatas, dapat dilihat lebih jelas pada gambar 6 berikut ini.



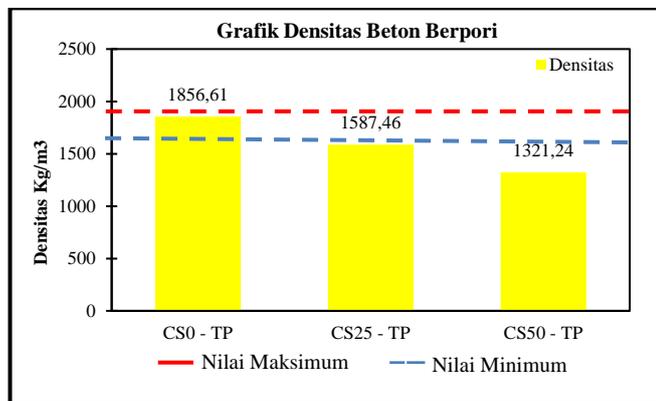
Gambar 6. Hasil Pengujian Total Void

D. Densitas Beton Berpori

Pengujian densitas menunjukkan bahwa penambahan cangkang sawit sebagai pengganti sebagian kerikil menurunkan densitas beton karena cangkang sawit memiliki rongga besar, struktur pori

tidak teratur, dan berat jenis lebih rendah. Semakin banyak cangkang sawit, densitas beton berpori semakin rendah. Beton normal (CS0-TP) memiliki densitas tertinggi 1856,61 Kg/m³, sedangkan beton dengan 50% cangkang sawit (CS50-TP) memiliki densitas terendah 1321,24 Kg/m³.

Berdasarkan persyaratan nilai yang ditetapkan oleh ACI 522R-10, dengan syarat nilai berkisar antara 1.680 kg/m³ hingga 1.920 kg/m³. Variasi CS0-TP dengan nilai densitas sebesar 1856.61 kg/m³ memenuhi syarat, namun variasi CS25-TP dan CS50-TP dengan penggunaan cangkang sawit 25% dan 50% tidak memenuhi persyaratan nilai densitas, dengan nilai sebesar 1587.46 kg/m³ dan 1321.24 Kg/m³. Dari semua data uji densitas umur 28 hari diatas, dapat dilihat lebih jelas pada gambar 7 dibawah ini.

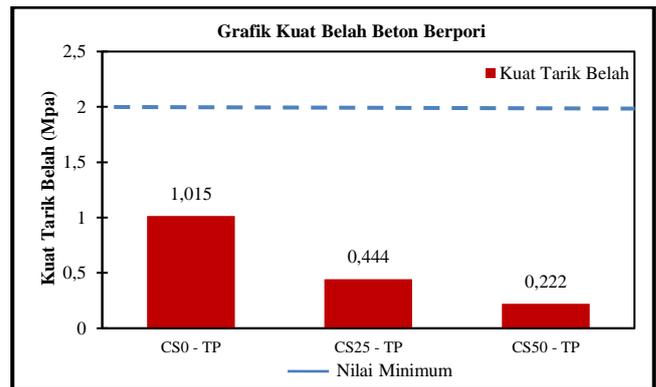


Gambar 7. Hasil Pengujian Densitas

E. Kuat Belah Beton Berpori

Hasil pengujian kuat belah beton bepori menunjukkan bahwa penggantian sebagian kerikil dengan cangkang sawit menurunkan kuat belah akibat rongga tinggi, kepadatan rendah, dan penyerapan air yang mengurangi hidrasi semen. Variasi CS0-TP memiliki kuat belah tertinggi 1,015 MPa, sedangkan CS50-TP terendah sebesar 0,222 MPa, dengan penurunan signifikan mulai dari CS25-TP. variasi CS50-TP dengan nilai sebesar 0,222 MPa.

Bedasarkan (SNI 03-2491-2002), dengan syarat nilai rata-rata kuat belah beton berpori sebesar 2,0 Mpa. beton berpori variasi CS0-TP, CS25-TP, dan CS50-TP dengan nilai kuat belah masing-masing sebesar 1,015 Mpa, 0,444 Mpa, dan 0,222 Mpa tidak memenuhi persyaratan nilai kuat belah. Dari semua data uji kuat belah umur 28 hari diatas, dapat dilihat lebih jelas pada gambar 8 berikut ini.

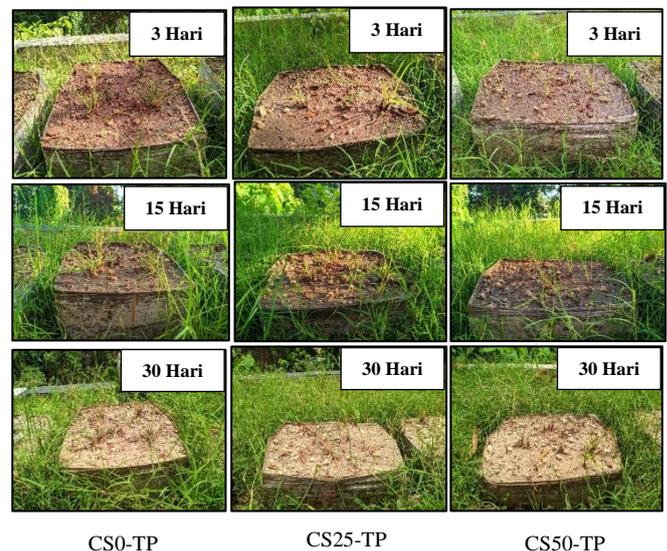


Gambar 8. Hasil Pengujian Kuat Belah

F. Pertumbuhan Rumput Beton Berpori

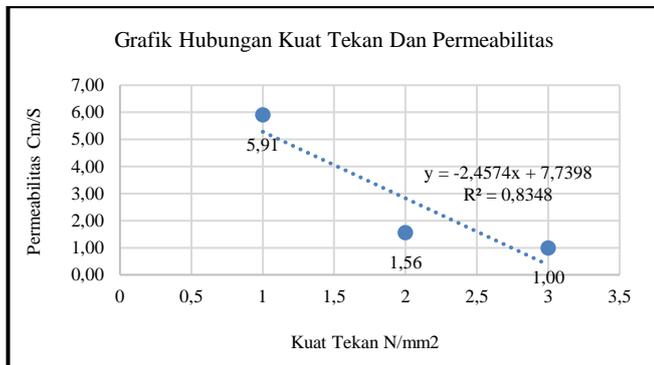
Hasil pengujian menunjukkan rumput tumbuh baik di beton berpori, menandakan material ini ramah lingkungan dan cocok untuk area urban seperti trotoar hijau dan taman kota. Variasi CS25-TP seimbang dalam kekuatan, porositas, dan penyimpanan air, mendukung pertumbuhan rumput dengan baik.

Beton ini kuat dengan 75% kerikil. Variasi CS50-TP lebih baik untuk pertumbuhan rumput karena menyimpan lebih banyak air dan memberi ruang akar lebih, meski kekuatannya lebih rendah. Hasil lengkap dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Pengujian Pertumbuhan Rumput

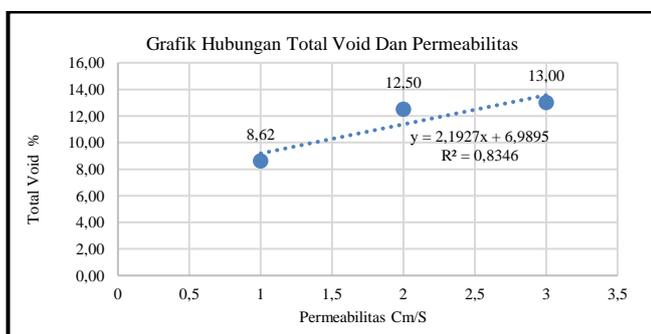
G. Hubungan Antara Kuat Tekan dan Permeabilitas



Gambar 10. Hubungan Antara Kuat Tekan dan Permeabilitas

Pada grafik tersebut, diperoleh persamaan regresi linier $y = 2,4574x + 7,7398$, di mana nilai 2,4574 merupakan koefisien regresi atau kemiringan garis. Ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1-unit kuat tekan (N/mm^2) akan menyebabkan penurunan permeabilitas sebesar 2,4574%. Sementara itu, nilai 7,7398 adalah konstanta atau intersep yang menunjukkan nilai permeabilitas (y) ketika kuat tekan (x) bernilai 0. Selain itu, terdapat nilai R^2 (koefisien determinasi) sebesar 0,8348, yang menunjukkan sejauh mana model regresi linier dapat menjelaskan hubungan antara kuat tekan dan permeabilitas. Nilai ini menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan 83,48% variasi dalam permeabilitas yang dipengaruhi oleh kuat tekan, sedangkan sisanya 16,52% dipengaruhi oleh perbedaan jumlah bahan tambah cangkang sawit yang digunakan.

H. Hubungan Antara Total Void dan Permeabilitas



Gambar 11. Hubungan Antara Total Void dan Permeabilitas

Pada grafik tersebut, diperoleh persamaan regresi linier $y = 2,1927x + 6,9895$, di mana nilai 2,1927 merupakan koefisien regresi atau kemiringan garis. Ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1-unit permeabilitas (Cm/S) akan menyebabkan peningkatan total void sebesar 2,1927%. Sementara itu, nilai 6,9895 adalah konstanta atau intersep yang menunjukkan nilai total void (y) ketika permeabilitas (x) bernilai 0. Selain itu, terdapat nilai R^2 (koefisien determinasi) sebesar 0,8346, yang menunjukkan sejauh mana model regresi linier dapat menjelaskan hubungan antara total void dan permeabilitas. Nilai ini menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan 83,46% variasi dalam total void yang dipengaruhi oleh permeabilitas, sedangkan sisanya 16,52% dipengaruhi oleh perbedaan jumlah bahan tambah cangkang sawit yang digunakan.

IV. KESIMPULAN

Dari data penelitian analisis dan pembahasan dapat ditarik beberapa hal, yaitu sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton berpori pada umur 7 hari untuk variasi CS0-TP, CS25-TP dan CS50-TP adalah 8,029 Mpa, 3,504 Mpa, dan 1,772 Mpa. Sedangkan pada umur 28 hari, nilai kuat tekan untuk variasi yang sama adalah 11,054 Mpa, 2,028 Mpa, dan 0,677 Mpa.
2. Permeabilitas beton berpori pada umur 28 hari untuk variasi CS0-TP, CS25-TP dan CS50-TP memiliki nilai masing-masing sebesar 0,773 cm/s, 1,097 cm/s, dan 1,321 cm/s.
3. Total void beton berpori pada umur 28 hari untuk variasi CS0-TP, CS25-TP dan CS50-TP memiliki nilai masing-masing sebesar 16,44%, 23,907%, dan 24,687%.
4. Densitas beton berpori pada umur 28 hari untuk variasi CS0-TP, CS25-TP dan CS50-TP memiliki nilai masing-masing sebesar 1856.61 kg/m^3 , 1587.46 kg/m^3 , dan 1321.24 kg/m^3 .
5. Kuat belah beton berpori pada umur 28 hari untuk variasi CS0-TP, CS25-TP dan CS50-TP memiliki nilai masing-masing sebesar 1,015 Mpa, 0,444 Mpa, dan 0,222 Mpa.
6. Hasil uji pertumbuhan rumput ini membuktikan bahwa campuran ini memiliki kemampuan infiltrasi yang baik. Pertumbuhan rumput pada beton berpori dengan bahan tambah cangkang sawit menunjukkan bahwa material ini dapat menjadi alternatif yang baik untuk aplikasi perkerasan ramah lingkungan dan penghijauan kota.

REFERENSI

- Abrar, Aidil. 2021. "Komposisi Beton Pori Sebagai Bahan Ramah Lingkungan Mengatasi Banjir." *Jurnal Unitek* 14(2): 48–57. doi:10.52072/unitek.v14i2.244.
- Asiva Noor Rachmayani. (2023). Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2022 Volume 16. Jakarta, BPS: 6.
- Anggraeni, Nurfitri, Yusrianti Yusrianti, and Amrullah Amrullah. 2020. "Pemanfaatan Limbah Botol Plastik Jenis PET Pada Pembuatan Beton Berpori." *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan* 6(1): 53–59. doi:10.29080/alard.v6i1.994.
- ACI Committee. 2010. ACI 522R-10, *Report on Pervious Concrete*. American Concrete Institute, USA.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 03-2491-2002, Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*, Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Indonesia, 2011. *SNI 1974:2011, Uji Kuat Tekan Beton*. Jakarta, BSN.
- Badan Standarisasi Indonesia, 2016. *SNI 1973:2011, Metode Uji Densitas, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara (Gravimetrik)*. Jakarta, BSN.
- Dasar, A., Patah, D. and Okviyani, N., 2025. Impact of incorporating nano-palm oil fuel ash on the mechanical properties and durability of paving blocks prepared with seawater and sea sand for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 481, p.141539.
- Dasar, A., Patah, D., Caronge, M.A., Mahmuddin, F. and Apriansyah, A., 2024. Strength and Durability of Paving Block with Seawater and POFA (Palm Oil Fuel Ash). *Key Engineering Materials*, 1000, pp.11-22.
- Horiguchi, Itaru, Yoichi Mimura, and Paulo J M Monteiro. 2021. "Bahan Pembersih Performa Pertumbuhan Tanaman Dari Beton Tembus Pandang Yang Mengandung Agregat Cangkang Tiram Yang Dihancurkan." 2(November). National Ready Mixed Concrete Assosiation. 2011. *NRMCA 2011, Pervious Concrete and Construction (International Concrete Sustainability Conference Dubai, Desember 2011)*. USA.
- Patah, Dahlia, and Amry Dasar. 2023. "Beton Berpori Dengan Variasi Ukuran Agregat Kasar." *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)* 11(2): 206–12. doi:10.32487/jtt.v11i2.1762.
- Patah, D., Dasar, A. and Nurdin, A., 2025a. Sustainable concrete using seawater, sea-sand, and ultrafine palm oil fuel ash: Mechanical properties and durability. *Case Studies in Construction Materials*, 22, p.e04129.
- Patah, D., Dasar, A. and Noor, N.M., 2025b, January. The Effects of Palm Oil Fuel Ash on Mechanical and Durability Properties of Sustainable Foamed Concrete. In *Journal of the Civil Engineering Forum* (pp. 75-84).
- Patah, D., Dasar, A., Fakhruddin, F., Shintarahayu, B. and Apriansyah, A., 2024. The Impact of Fly Ash and Sea Sand on Strength and Durability of Concrete. *Key Engineering Materials*, 1000, pp.23-33.
- Patah, D., Dasar, A., Ridhayani, I., Suryani, H., Saudi, A.I. and Sainuddin, S., 2024. Kekuatan dan Durabilitas Oil Palm Shell (OPS) sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar pada Beton Bertulang. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 12(1), pp.80-87.
- Riadi, Hafiz, and Danil Danil. 2016. "Pemanfaatan Bahan Limbah Cangkang Sawit Sebagai Bahan Pengisi Agregat Kasar Pada Beton." *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan* 1(2): 80–85. doi:10.29080/alard.v1i2.119.
- Trisnoyuwono, Diarto. (2014). *Beton Non Pasir*. Yogyakarta, Graha Ilmu