

ANALISIS KINERJA BETON PERMEABEL DENGAN PENAMBAHAN COCOPEAT DAN IJUK TERHADAP KUAT TEKAN UNTUK PENINGKATAN EFEKTIVITAS DRAINASE

Muji Listyo Widodo^{1,*}, Hezliana Syahwanti¹, Irvhaneil¹

¹)Program Studi Teknik Sipil Universitas Panca Bahkti Pontianak
Jl. Kom. Yos Sudarso No.1, Sungai Jawi, Kec. Pontianak Barat,
Kalimantan Barat 78113

^{*})Correspondent Author: muji.l.widodo@upb.ac.id

Abstract

This research is driven by the increasing need for environmentally friendly construction materials to address sand scarcity and flooding issues in Pontianak. The study aims to analyze the performance of permeable concrete by incorporating coconut coir powder (cocopeat) and sugar palm fiber (ijuk) as partial substitutes for sand, with the goal of enhancing drainage effectiveness. The methodology involved a laboratory experiment where cylindrical concrete test specimens were created with a mixture variation of 1% cocopeat and 1% ijuk by weight of sand. Subsequently, compressive strength tests were conducted at concrete ages of 7, 14, 21, and 28 days. The test results indicate a trend of increasing strength as the concrete ages, with the average compressive strength of the mixed concrete reaching 10.6 MPa at 28 days. Although this value is lower than that of conventional concrete, which averages 13.0 MPa, the addition of cocopeat was proven to increase the porosity essential for drainage functions. Meanwhile, the sugar palm fiber played a positive role in controlling micro-cracks. Therefore, this permeable concrete shows significant potential as a sustainable material for non-structural applications such as sidewalks, pedestrian paths, and light-load parking areas where water absorption is a priority.

Keywords: permeable concrete, cocopeat, arenga fiber, compressive strength, drainage

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan material konstruksi yang ramah lingkungan terus berkembang sejalan dengan prioritas pembangunan nasional dan tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs). Hal ini mendorong banyak penelitian untuk mencari bahan pendamping dari limbah alami sebagai bahan penyusun material konstruksi. Salah satu material utama yang ketersediaannya terus berkurang setiap tahun akibat eksploitasi berlebihan adalah pasir

(Fidelis, 2025). Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji pemanfaatan bahan alami dan limbah organik dalam campuran beton sebagai upaya mengurangi ketergantungan terhadap pasir alam sekaligus mendukung pembangunan berkelanjutan. Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan *cocopeat* sebagai substitusi parsial agregat halus mampu meningkatkan daya serap air dan porositas beton, namun cenderung menurunkan kuat tekan sehingga membatasi penggunaannya pada aplikasi tertentu.

Di sisi lain, panellation mengenai penambahan serat ijuk pada beton menunjukkan adanya peningkatan kemampuan beton dalam mengendalikan retak mikro dan perbaikan sifat mekanik, khususnya kuat tekan dan daktilitas. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih mengkaji penggunaan *cocopeat* dan ijuk secara terpisah, atau diterapkan pada beton normal dan paving block, bukan pada beton permeabel.

Selain itu, penelitian beton permeabel umumnya lebih banyak berfokus pada parameter kuat tekan dan permeabilitas dengan bahan agregat konvensional atau bahan tambah sintetis, sementara pemanfaatan kombinasi bahan alami lokal yang melimpah seperti *cocopeat* dan ijuk masih sangat terbatas. Belum banyak kajian yang secara komprehensif menganalisis kinerja beton permeabel dengan kombinasi *cocopeat* dan ijuk sebagai substitusi parsial pasir, khususnya terkait perkembangan kuat tekan pada berbagai umur beton serta implikasinya terhadap fungsi *drainase*. Oleh karena itu, terdapat celah penelitian (*research gap*) berupa belum tersedianya data eksperimental yang menjelaskan secara jelas pengaruh sinergis *cocopeat* dan ijuk terhadap kinerja mekanik beton permeabel sebagai material ramah lingkungan untuk aplikasi non-struktural.

Cocopeat adalah produk limbah sampingan dari sabut kelapa yang melimpah, khususnya di Kalimantan Barat, dan sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal sehingga

berpotensi mencemari lingkungan. Namun, pemanfaatan *cocopeat* pada pembuatan beton menghasilkan nilai kuat tekan yang belum optimal, meskipun memiliki daya serap yang baik (Syahwanti H & Irvhaneil, 2024). Oleh karena itu, dibutuhkan bahan tambahan yang dapat memperkuat ikatan molekul penyusun beton, seperti ijuk.

Kalimantan Barat juga memiliki potensi ijuk dari pohon aren yang besar, tetapi pemanfaatannya masih terbatas. Ijuk merupakan serat tipis yang kuat, berfungsi untuk menghubungkan antar molekul dan diketahui dapat meningkatkan ikatan antar unsur penyusun beton serta meningkatkan nilai kuat tekan beton. Penelitian sebelumnya menunjukkan beton dengan campuran ijuk dan serat kelapa memiliki nilai tekan yang memadai dan penambahan ijuk saja telah menghasilkan peningkatan kuat tekan beton yang signifikan.

Pengembangan ini juga relevan dengan permasalahan lingkungan seperti banjir di Kota Pontianak, Kalimantan Barat, yang sering terjadi dan meningkat setiap tahun (Wahyu Z & Widodo ML, 2022). Salah satu solusi untuk peningkatan efektivitas *drainase* yang dapat dimanfaatkan adalah dengan mengaplikasikan beton permeabel. Beton permeabel memiliki rongga atau pori-pori kecil yang memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah di bawah permukaan beton, sehingga mengurangi limpasan permukaan dan risiko banjir. Untuk itu, beton permeabel memerlukan nilai kuat tekan dan daya serap yang baik, di mana *cocopeat*

terbukti berpotensi untuk meningkatkan daya serap.

Penggunaan *cocopeat* dan ijuk secara bersamaan sebagai bahan pendamping pasir dalam pembuatan beton permeabel belum pernah dilakukan sebelumnya, sehingga tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui kualitas kuat tekan dan daya serap yang dihasilkan dengan kombinasi kedua bahan tambahan tersebut. Secara keseluruhan, penelitian ini memiliki urgensi untuk mengurangi ketergantungan pada pasir alam dan mengembangkan beton permeabel dengan bahan tambahan alami untuk meningkatkan sistem drainase, mengurangi risiko banjir, dan mendukung pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini merupakan penelitian eksperimental di laboratorium yang berfokus pada analisis kinerja beton permeabel dengan substitusi parsial pasir menggunakan *cocopeat* dan ijuk. Penelitian dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Panca Bhakti pada bulan Juni hingga Agustus 2025. Pembuatan beton permeabel dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. Pengumpulan Alat dan Bahan:

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu saringan, drum, mesin mixing, alat cetak beton, timbangan, ember, skop dan alat uji kuat tekan sesuai SNI 7656:2012. Sedangkan bahan yang akan digunakan yaitu semen *Portland Composite Cement*, Agregat halus

yang digunakan mempunyai ukuran maksimal 2 mm, agregat kasar yang akan digunakan berukuran maksimal 10mm, sedangkan *cocopeat* lolos saringan no.100 mm serta serat ijuk dengan panjang 3 cm dan air yang akan digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas panca Bhakti.

2. Proses Pembuatan Beton Permeabel

Cocopeat yang telah dikeringkan kemudian dilanjutkan dengan uji saringan terlebih dahulu. Selain itu uji saringan juga dilakukan pada agregat kasar yaitu batu kerikil. Setelah itu *cocopeat* akan digunakan dalam proses pencampuran adonan agregat untuk pembuatan beton permeabel yang terdiri dari pasir, batu kerikil, semen, *cocopeat*, ijuk dan air. Setelah semua bahan tercampur dan kental secara merata kemudian campuran tersebut akan dilakukan uji slump terlebih dahulu. Setelah mendapatkan nilai slump yang baik kemudian dilanjutkan dengan memasukkan adonan beton ke dalam cetakan beton berbentuk silinder. Adapun presentase campuran *cocopeat* dan ijuk pada agregat beton permeabel tersebut adalah 1% dari berat pasir. Cetakan beton akan dilumuri minyak terlebih dahulu agar tidak lengket. Setelah itu adonan akan dicetak dengan menggunakan cetakan beton dan akan dilanjutkan dengan proses penjemuran di bawah sinar matahari selama 24 jam.

3. Pengujian Beton Permeabel

Penelitian ini akan melakukan pengujian kuat tekan pada sampel beton permeabel sesuai SNI 1974:2011 dengan 4 umur sampel telah ditentukan yaitu 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Setiap umur beton permeabel akan memiliki 20 sampel yang diuji. Proses pembuatan beton permeabel dalam beton akan menggunakan alat uji tekan dengan memberikan tekanan beban secara berkala sampai benda uji tersebut hancur. Pengujian uji tekan beton dilakukan untuk mengetahui kuat tekan maksimal pada benda uji tersebut. Beton yang telah jadi kemudian akan melewati proses pengujian untuk diketahui kualitas kekuatan beton permeabel dengan campuran *cocopeat* dan ijuk pada agregatnya.

4. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan pada penelitian ini bersifat komperatif atau perbandingan. Pada penelitian ini peneliti bermaksud untuk menganalisis data kuat tekan pada beton permeabel berdasarkan perbedaan umur benda uji dengan agregat halus campuran dari *cocopeat* dan ijuk. Kuat tekan sampel uji (f_c) dijelaskan melalui persamaan berikut (BSN, 2011):

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

P = beban maksimum (N)

A = luas bidang tekan (mm^2)

d = diameter sampel (mm)

Berdasarkan nilai kuat tekan beton masing-masing sampel kemudian

dihitung nilai kuat tekan beton permeabel rata-rata (f_{cr}) dengan persamaan sebagai berikut:

$$f_{cr} = \frac{\sum_{i=1}^N f_{ci}}{N} \quad (2)$$

Keterangan :

f_{cr} = kuat tekan masing-masing sampel beton permeabel (MPa)

N = jumlah seluruh sampel beton

Pencarian kuat tekan beton permeabel akan dilakukan untuk beton umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Setelah itu akan dilakukan perbandingan statistik pada data yang dihasilkan dalam penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran standar diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sesuai dengan ketentuan SNI 1974:2011 tentang uji kuat tekan beton. Benda uji dibuat dalam beberapa kelompok umur pengujian, yaitu 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari, dengan tujuan untuk mengetahui perkembangan kekuatan beton seiring proses hidrasi semen. Masing-masing kelompok uji terdiri dari 80 sampel beton dengan komposisi campuran semen, pasir, batu pecah, air, serta tambahan *cocopeat* dan ijuk sebagai bahan substitusi parsial agregat halus yaitu pasir. *Cocopeat* dan ijuk dipilih karena memiliki sifat menyerap air serta dapat meningkatkan rongga dalam beton sehingga diharapkan berdampak pada kemampuan drainase beton permeabel. Komposisi untuk 80 sampel setiap variasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Komposisi Beton Permeabel

Bahan	Beton Konvensional	Beton Campuran
Semen	161,2 kg	161,2 kg
Pasir	421,04 kg	412,64 kg
Batu Pecah	4.877,6 kg	4.877,6 kg
Air	100,64 kg	100,64 kg
Cocopeat 1%	0	4,2 kg
Ijuk 1%	0	4,2 kg

Setelah semua komposisi dibuat maka selanjutnya dilakukan pencetakan sampel beton. Cetakan beton yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Proses pencetakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pencetakan Sampel Beton

Setelah sampel mengeras, maka sampel dapat dikeluarkan dari cetakan dan dilanjutkan dengan proses *curing* (Gambar 2). Setelah itu dilanjutkan dengan proses pengujian kuat tekan (Gambar 3).

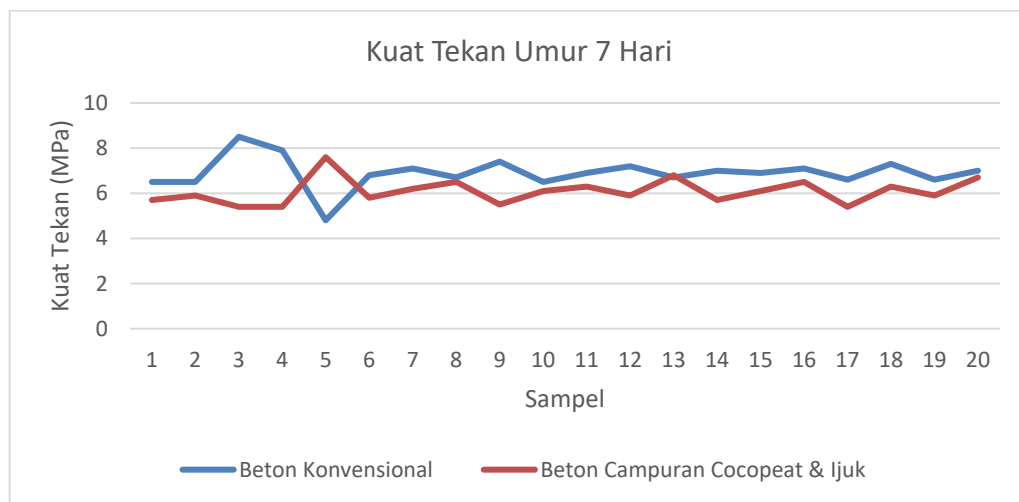


Gambar 2. Proses *Curing*



Gambar 3. Uji Tekan Sampel

Hasil pengujian menunjukkan variasi nilai kuat tekan pada tiap umur pengujian (Neville AM & Brooks JJ, 2010) sesuai hasil pada Tabel 2. Secara umum, diperoleh tren peningkatan kekuatan seiring bertambahnya umur beton. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Konvensional dan Beton Campuran *Cocopeat* 1% dan Ijuk 1% terhadap berat pasir Pada Umur 7 Hari

Pada hasil pengujian nilai slump menunjukkan berada pada kisaran 7–10 cm. Nilai ini menggambarkan bahwa beton memiliki konsistensi sedang, tidak terlalu kaku tetapi juga tidak terlalu cair, sehingga masih mudah untuk dikerjakan di lapangan (Mindess S, *et al*, 2003). Penambahan *cocopeat* yang memiliki sifat menyerap air dan serat ijuk yang berfungsi sebagai pengikat mikro memberikan pengaruh langsung terhadap workability. Meskipun slump masih berada pada rentang normal, kecenderungan *cocopeat* untuk menyerap air menyebabkan sebagian air campuran hilang sehingga dapat menurunkan efektivitas ikatan pasta semen dengan agregat. Hal ini menegaskan bahwa nilai slump bukanlah indikator tunggal dari kualitas beton permeabel, karena meskipun nilai slump masih baik, struktur internal beton yang berpori tetap memengaruhi performa mekanisnya.

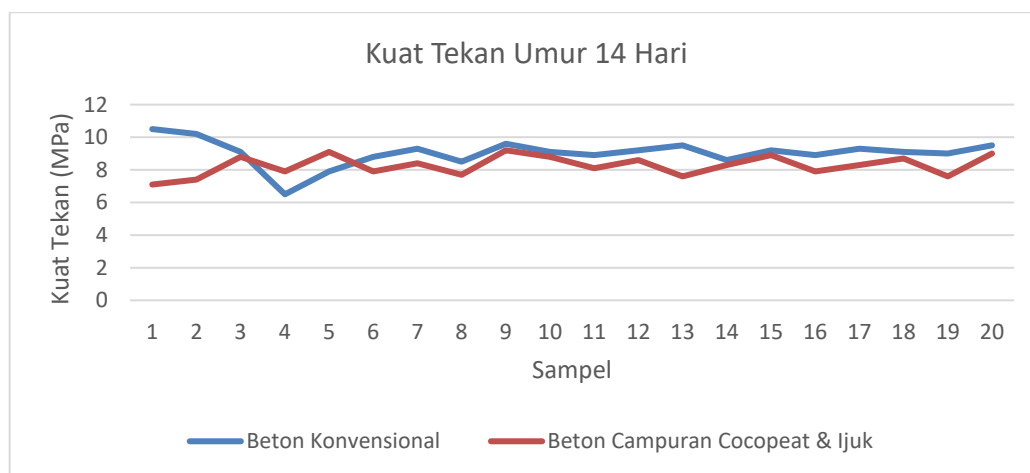
Hasil uji kuat tekan beton dengan komposisi campuran *cocopeat* 1% dan

ijuk 1% pada umur 7 hari menunjukkan nilai berada pada kisaran 5,4–7,8 MPa dengan rata-rata sekitar 6,1 MPa. Nilai ini lebih rendah jika dibandingkan dengan beton konvensional pada umur yang sama yaitu 6,9 MPa. Penurunan ini disebabkan oleh bertambahnya porositas akibat penambahan *cocopeat*, sementara serat ijuk memang membantu menahan retak mikro namun tidak cukup untuk mengimbangi efek negatif porositas tinggi. Dengan demikian, kuat tekan beton permeabel dengan campuran *cocopeat* 1% dan ijuk 1% pada umur 7 hari hanya mencapai sekitar 88% dari kekuatan beton normal (beton konvensional).

Secara keseluruhan, kinerja beton pada umur 7 hari masih menunjukkan fase perkembangan awal kekuatan (Mehta PK & Monteiro PJM, 2014). Beton permeabel dengan campuran *cocopeat* dan ijuk belum dapat digunakan untuk aplikasi struktural, namun tetap menunjukkan potensi besar untuk aplikasi non-struktural yang lebih menekankan fungsi

drainase, seperti perkerasan jalan lingkungan, area parkir, maupun jalur pedestrian (Puspitasari R dkk, 2021). Dengan nilai slump yang masih dalam rentang normal, pengerjaan di lapangan relatif aman, tetapi perlu dilakukan perawatan (curing) yang ketat untuk

menjaga kelembaban agar proses hidrasi semen berjalan optimal dan tidak terganggu oleh sifat penyerap air dari *cocopeat*. Kemudian pengujian kuat tekan dilanjutkan pada umur 14 hari. Hasil uji tekan beton tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Konvensional dan Beton Campuran *Cocopeat* 1% dan Ijuk 1% terhadap berat pasir Pada Umur 14 Hari

Pada umur 14 hari, hasil uji menunjukkan peningkatan signifikan pada kekuatan beton dibandingkan umur 7 hari. Kelompok sampel beton permeabel dengan penambahan *cocopeat* dan ijuk di umur 14 hari menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata yaitu 8,3 MPa. Ini menunjukkan bahwa telah terjadi kenaikan kurang lebih sebesar 2,2 MPa yang menunjukkan perkembangan hidrasi semen yang cukup baik pada dua minggu pertama walaupun beton mengandung bahan organik dan serat alami. Nilai slump yang tercatat (7–10 cm) tetap menunjukkan konsistensi sedang, artinya beton masih mempunyai *workability* yang dapat diterima untuk penempatan; namun karena *cocopeat* bersifat menyerap air, nilai slump yang

tampak “cukup” tidak otomatis mencerminkan ketersediaan air efektif untuk hidrasi di dalam matriks beton.

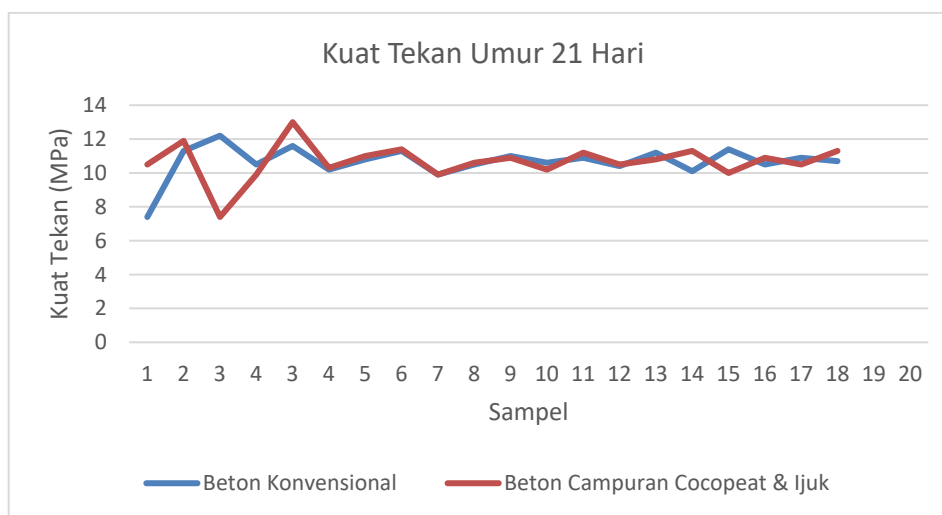
Kenaikan kuat tekan pada umur 14 hari ini dapat dijelaskan secara mekanistik: seiring berjalannya waktu hidrasi, produk-produk hidrasi (C-S-H dan lain-lain) membentuk ikatan yang lebih kontinu antara partikel semen dan agregat, sehingga sebagian pori superfisial yang dihasilkan oleh *cocopeat* mulai terisi oleh produk hidrasi dan kekuatan meningkat (Nugroho H & Rachmansyah A, 2019). Namun, karena *cocopeat* meningkatkan porositas total menciptakan rongga yang mendukung permeabilitas hasilnya tetap menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih rendah dibanding beton konvensional tanpa substitusi.

Peran ijuk sebagai serat alami tampak membantu menahan propagasi mikroretakan sehingga beberapa sampel justru menunjukkan nilai kuat tekan tinggi (contoh 9,1 MPa dan 9,2 MPa), menunjukkan bahwa distribusi serat dan keseragaman pencampuran berpengaruh besar pada keandalan mekanik.

Berdasarkan perspektif desain dan aplikasi, hasil umur 14 hari ini menegaskan *trade-off* yang khas antara permeabilitas dan kekuatan mekanik. Dengan rata-rata 8,3 MPa pada 14 hari, beton permeabel ini sudah menunjukkan kapasitas beban yang layak untuk aplikasi non-struktural misalnya perkerasan jalan lingkungan, area resapan, trotoar, dan area parkir ringan, dimana fungsi drainase menjadi prioritas. Namun untuk aplikasi yang menuntut beban lebih tinggi atau keselamatan struktural, proporsi *cocopeat* harus direduksi atau

dikombinasikan dengan perlakuan penguat (misal penambahan serat sintetis, perbaikan w/c, penggunaan *pozzolan*) agar dapat mendekati performa beton konvensional.

Secara ringkas, umur 14 hari menampilkan perkembangan kekuatan yang baik tetapi masih dipengaruhi oleh efek peningkatan porositas dari *cocopeat*; ijuk berperan positif pada ketahanan retak sehingga beberapa sampel mencapai nilai kuat tekan yang relatif tinggi (Putra RE dkk, 2018). Beton jenis ini cocok untuk aplikasi yang menuntut drainase baik dan beban ringan dengan catatan proporsi bahan organik dan perlakuan campuran harus dioptimalkan jika ingin meningkatkan performa mekanis tanpa mengorbankan fungsi permeabilitas. Selanjutnya uji tekan dilakukan pada umur 21 hari. Hasil pengujian diumur 21 hari dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Konvensional dan Beton Campuran *Cocopeat* 1% dan Ijuk 1% terhadap berat pasir Pada Umur 21 Hari

Pada umur 21 hari, hasil uji kuat tekan untuk beton permeabel dengan

penambahan *cocopeat* dan ijuk menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata

yaitu 10,7 MPa. Rentang nilai cukup lebar, nilai terendah 7,4 MPa dan tertinggi 13 MPa yang mengindikasikan variabilitas internal antar sampel cukup besar. Kenaikan dari rata-rata 14 hari dari 8,3 MPa ke 21 hari sebesar 10,7 MPa memperlihatkan perkembangan hidrasi yang signifikan pada minggu ketiga, menandakan bahwa meskipun bahan organik (*cocopeat*) meningkatkan porositas, proses hidrasi tetap berlangsung dan menghasilkan penguatan yang nyata hingga hari ke-21.

Variasi besar antar sampel kemungkinan disebabkan beberapa faktor operasional dan material (Muthusamy K & Kamarudin NF, 2017). Pertama, sifat *cocopeat* yang menyerap air dapat menyebabkan ketidakseragaman ketersediaan air efektif di dalam pasta semen bila *cocopeat* tidak dipresaturasi secara konsisten, beberapa sampel akan mengalami defisit air untuk hidrasi sehingga menunjukkan kuat tekan rendah (contoh pada sampel 3 yaitu 7,4 MPa). Kedua, distribusi serat ijuk yang tidak merata selama pencampuran dapat menghasilkan perbedaan kemampuan menahan mikroretak; sampel dengan dispersi ijuk yang baik cenderung memperlihatkan nilai lebih tinggi (sampel 5 yaitu 13 MPa). Ketiga, variasi dalam pemadatan (*vibration/compaction*) dan praktik *curing* di lapangan/laboratorium juga turut memperlebar sebaran hasil beton permeabel memang memerlukan keseimbangan antara menjaga porositas untuk drainase dan cukup pemadatan untuk integritas mekanik (ACI, 2010).

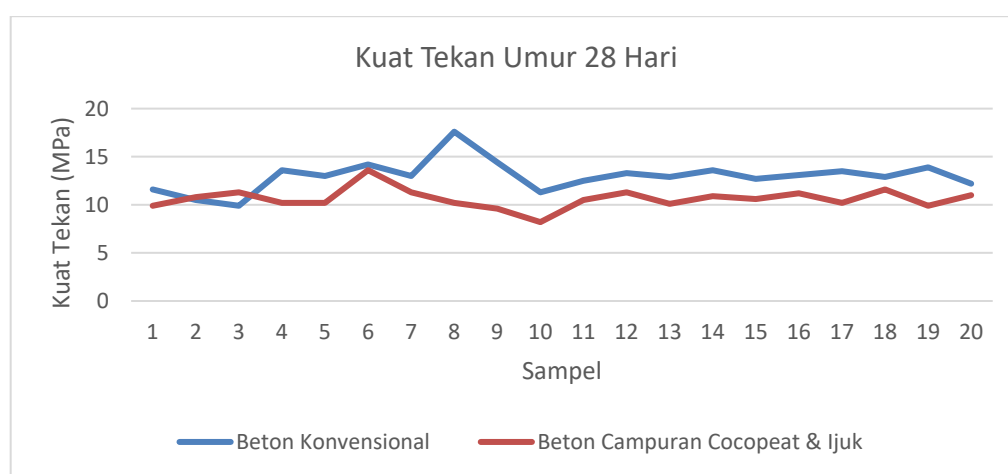
Selain itu, kemungkinan cacat uji (*misalignment* saat pengujian tekan, kehadiran rongga makroskopis pada sampel) juga tidak bisa diabaikan sebagai sumber *outlier*.

Secara mekanistik, kenaikan kuat tekan hingga hari ke-21 dijelaskan oleh kelanjutan reaksi hidrasi (pembentukan C-S-H dan produk hidrasi lain) yang mulai mengisi sebagian pori superfisial dan memperkuat antarmuka pasta-agregat (Prabowo R & Susanto H, 2020). Namun, karena *cocopeat* menciptakan porositas tersambung yang meningkatkan permeabilitas, beton jenis ini cenderung memiliki densitas matriks lebih rendah dibanding beton konvensional sehingga nilai absolut kuat tekan juga relatif lebih rendah. Ijuk bertindak sebagai elemen pengikat mikro yang memperlambat propagasi retak dan membantu penyerapan energi, sehingga bila dispersi dan proporsinya optimal, dapat memperbaiki konsistensi hasil dan meningkatkan nilai rata-rata.

Implikasi praktis dari temuan hari ke-21 adalah beton permeabel ini, setelah mengalami penguatan signifikan, layak dipertimbangkan untuk aplikasi non-struktural yang mengutamakan drainase misalnya perkerasan permeabel pada trotoar, area parkir ringan, dan sistem penyerapan air hujan. Namun, variabilitas tinggi menunjukkan perlunya kontrol proses yang lebih ketat sebelum aplikasi skala lapangan: tanpa kontrol tersebut, ada risiko beberapa elemen mengalami kekuatan yang jauh di bawah target desain. Untuk penggunaan yang lebih menuntut (beban lebih tinggi), perlu

pengurangan kadar *cocopeat* atau kombinasi dengan bahan penguat tambahan. Singkatnya, pada umur 21 hari beton permeabel dengan *cocopeat* dan ijuk menunjukkan perkembangan kekuatan yang baik (rata-rata mendekati 10,7 MPa) tetapi juga menunjukkan variabilitas yang signifikan. Untuk menjadikan material ini andal pada aplikasi nyata perlu ada

perbaikan kontrol material dan proses terutama pengelolaan air pada *cocopeat*, konsistensi dispersal ijuk, serta prosedur *curing* dan pengujian tambahan untuk mengukur parameter drainase dan ketahanan jangka panjang. Selanjutnya uji tekan dilakukan pada umur 28 hari. Hasil uji tekan tersebut dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Konvensional dan Beton Campuran *Cocopeat* 1% dan Ijuk 1% terhadap berat pasir Pada Umur 21 Hari

Pada umur 28 hari, beton permeabel dengan penambahan *cocopeat* dan ijuk menunjukkan peningkatan kekuatan yang berlanjut dan mencapai kondisi yang relatif stabil yaitu dengan kuat tekan rata-rata sebesar 10,6 MPa yang menandakan bahwa reaksi hidrasi masih berlangsung efektif hingga hari ke-28; produk hidrasi C-S-H mulai mengisi beberapa pori superfisial sehingga memperbaiki kontinuitas matriks dan ikatan pasta-agregat.

Namun demikian, keberadaan *cocopeat* sebagai bahan organik substitusi agregat halus tetap meninggalkan efek peningkatan porositas tersambung yang membatasi

nilai kuat tekan absolut bila dibandingkan beton konvensional tanpa substitusi. Hal ini terlihat dari nilai *outlier* tinggi pada sampel dengan kuat tekan sebesar 13,6 MPa yang kemungkinan menggambarkan sampel dengan dispersi serat ijuk yang sangat baik dan sedikit rongga makroskopis, serta nilai kuat tekan terendah yaitu 8,2 MPa yang kemungkinan disebabkan oleh presaturasi *cocopeat* yang kurang seragam atau adanya rongga internal pada saat pemadatan. Variasi antar sampel mengindikasikan bahwa konsistensi proses terutama pra-perawatan *cocopeat* (presaturasi), urutan dan durasi pencampuran untuk

dispersi ijuk, serta pemadatan/compaction berperan besar menentukan keandalan hasil.

Dari sisi aplikasi, nilai rata-rata 10,7 MPa pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton ini sudah cukup kuat untuk aplikasi non-struktural yang menitikberatkan fungsi drainase, seperti perkerasan permeabel di trotoar, area resapan, atau area parkir ringan. Untuk aplikasi yang menuntut kekuatan struktural lebih tinggi, proporsi *cocopeat* perlu dikurangi atau dikombinasikan dengan strategi peningkatan matriks (mis. penambahan *pozzolan*, serat sintesis, atau pengurangan w/c secara terkontrol). Untuk meningkatkan keandalan produksi dan mengurangi variasi, direkomendasikan beberapa tindakan praktis yaitu:

1. Presaturasi *cocopeat* terlebih dahulu agar tidak menyerap air campuran secara tak terkontrol
2. Optimasi *water-cement ratio* dan penggunaan superplasticizer untuk memperbaiki *workability* tanpa menambah porositas
3. Standarisasi prosedur pencampuran (urutan bahan, waktu pencampuran) agar serat ijuk tersebar homogen
4. Kontrol kualitas pemadatan agar meminimalkan rongga makroskopis
5. *Curing* yang ketat minimal sampai 28 hari untuk memaksimalkan hidrasi.

Berdasarkan hasil uji tekan yang telah dilakukan untuk penggunaan beton permeabel dengan penambahan *cocopeat* 1% dan ijuk 1% sebagai substitusi parsial pasir pada umur 7, 14,

21, dan 28 hari memperlihatkan adanya tren peningkatan kekuatan seiring bertambahnya waktu *curing*, meskipun nilai yang dicapai tetap lebih rendah dibanding beton konvensional. Penambahan *cocopeat* terbukti meningkatkan porositas dan mendukung fungsi drainase, namun sekaligus menurunkan densitas matriks beton sehingga kuat tekan berkurang. Sebaliknya, ijuk berperan positif dalam mengendalikan retak mikro dan membantu peningkatan kekuatan pada beberapa sampel, walau penyebarannya yang tidak seragam masih menimbulkan variasi hasil. Secara umum, rata-rata kuat tekan pada umur 28 hari berada di kisaran 10,7 MPa, nilai yang cukup memadai untuk aplikasi non-struktural dengan prioritas pada permeabilitas, seperti trotoar, jalur pedestrian, atau area parkir dengan beban ringan. Oleh karena itu, beton permeabel dengan campuran *cocopeat* dan ijuk dapat dipandang sebagai solusi material ramah lingkungan yang mendukung peningkatan drainase perkotaan, dengan catatan bahwa optimalisasi komposisi campuran, presaturasi bahan organik, serta kontrol proses produksi dan *curing* perlu dilakukan agar diperoleh kinerja yang lebih konsisten dan andal

SIMPULAN

Penelitian mengenai analisis kinerja beton permeabel dengan penambahan *cocopeat*

1% dan ijuk 1% sebagai substitusi parsial pasir menunjukkan adanya *trade-off* yang jelas antara peningkatan fungsi drainase dan penurunan kuat

tekan struktural, meskipun tren peningkatan kekuatan seiring waktu *curing* tetap terjadi. Pada umur 28 hari, kuat tekan rata-rata beton campuran mencapai 10,6 MPa, yang berada di bawah kuat tekan beton konvensional dengan rata-rata 13,0 MPa pada umur yang sama. Penurunan ini disebabkan oleh sifat *cocopeat* yang meningkatkan porositas tersambung dalam beton untuk mendukung fungsi drainase, namun secara simultan mengurangi densitas matriks, sehingga kuat tekan berkurang. Sebaliknya, ijuk berperan positif dalam mengendalikan retak mikro dan membantu peningkatan kekuatan pada beberapa sampel, meskipun dispersi yang tidak seragam masih menimbulkan variasi hasil yang signifikan. Dengan nilai kuat tekan rata-rata 10,6 MPa pada umur 28 hari, beton permeabel ini memadai untuk aplikasi non-struktural yang memprioritaskan permeabilitas dan drainase, seperti perkerasan di trotoar, jalur pedestrian, area resapan, atau area parkir dengan beban ringan. Secara keseluruhan, beton dengan campuran limbah *cocopeat* dan ijuk ini merupakan solusi material ramah lingkungan yang berpotensi mendukung peningkatan efektivitas drainase perkotaan, namun optimalisasi komposisi campuran (terutama presaturasi *cocopeat*) dan kontrol proses produksi dan *curing* yang lebih ketat diperlukan untuk mencapai kinerja yang lebih konsisten dan andal

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik atas dukungan dan kontribusi

berbagai pihak. Kami menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia (Kemendikbudristek), khususnya melalui Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi (Ditjen Diktiristek) atas dukungan pendanaan yang telah diberikan. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Universitas Panca Bhakti yang memberikan dukungan penuh atas fasilitas yang disediakan, terutama Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Panca Bhakti.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 522, 2010, *Report on Pervious Concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- BSN. 2011. *SNI 1974:2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta.
- BSN. 2012. *SNI 7656:2012. Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Jakarta.
- Fidelis V., 2025, Pulau Gelam: Tambang Pasir Kuarsa Ancam Nelayan Kendawangan. Iniborneo.com. Diakses pada Tanggal 28 Maret 2025 di halaman <https://iniborneo.com/2024/02/22/pulau-gelam-tambang-pasir-kuarsa-ancam-nelayan-kendawangan>.
- Kosmatka S.H., Kerkhoff B, Panarese W.C., 2008, *Design and Control of Concrete Mixtures*. 14th ed. Skokie: Portland Cement Association.

- Mehta P.K., Monteiro P.J.M., 2014, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Mindess S., Young J.F., Darwin D., 2003, *Concrete*. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Muthusamy K., Kamarudin, N.F., 2017, *Compressive strength of coconut shell concrete with addition of coconut fibre*. J Sustain Constr Mater Technol. 2017;2(1):65-71.
- Neville, A.M., Brooks, J.J., 2010, *Concrete Technology*. 2nd ed. Harlow: Pearson Education.
- Nugroho, H., Rachmansyah, A., 2019, *Pengaruh serat alami terhadap sifat mekanik beton ringan*. J Infrastruktur. 2019;9(1):45-52.
- Puspitasari, R., Santosa, H., Wibowo, A., 2021, *Evaluasi penggunaan limbah organik pada beton permeabel untuk peningkatan drainase perkotaan*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil; 2021. p. 331-338
- Putra, R.E., Sulisty, H., Santoso, B., 2018, *Pemanfaatan serat ijuk sebagai bahan tambah untuk meningkatkan kuat tekan beton*. J Tek Sipil. 2018;25(2):123-130.
- Prabowo, R., Susanto, H., 2020, *Kajian beton ramah lingkungan dengan substitusi serat alami*. J Kontruksi. 2020;15(3):201-210.
- Syahwanti H., Irvhaneil, 2024, *Analisis Pengaruh Penambahan Serbuk Sabut Kelapa (Cocopeat) Pada Campuran Agregat Terhadap Kuat Tekan Paving Block*. Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil 2024; 8(2): 145-154.
- Wahyu, Z., Widodo, M.L., 2022, *Kajian Penanganan Genangan Air Dengan Sitem Polder Pada Wilayah Pemukiman di Kota Pontianak*. Jurnal Teknologi Infrastruktur 2022; 1(1): 1-11.