

PENGARUH FAKTOR UMUR DAN LINGKUNGAN TERHADAP ORGANISASI TERHADAP DURABILITAS BETON DENGAN SUBSTITUSI PARSIAL SERBUK KAYU

Nisrina Salsabila¹

Musbar^{2*}

Ruhana³

^{1,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung

Politeknik Negeri Lhoksumawe

Jl. Banda Aceh-Medan 280 3, RW. Buketrata, Mesjid Punteut, Kec. Blang Mangat, Kota Lhokseumawe, Aceh 24301, INDONESIA

²Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan

Politeknik Negeri Lhoksumawe

Jl. Banda Aceh-Medan 280 3, RW. Buketrata, Mesjid Punteut, Kec. Blang Mangat, Kota Lhokseumawe, Aceh 24301, INDONESIA

Abstract

Concrete is one of the most widely used construction materials owing to its excellent compressive strength. Nevertheless, its long-term performance remains susceptible to environmental factors. Fluctuations in temperature, humidity, and solar radiation can significantly impair concrete durability and structural integrity. This study explores the potential of utilizing sawdust waste as a partial replacement (2% by weight of fine aggregate) to improve environmental sustainability while evaluating its effects on mechanical properties. The research investigates the compressive strength of concrete incorporating 2% sawdust at curing ages of 28, 45, and 60 days under two distinct exposure conditions: indoor (controlled) and outdoor (natural) environments. An experimental laboratory approach was adopted using the Department of the Environment (DoE) mix design method. Cube specimens (150 × 150 × 150 mm) were prepared in two variants: normal concrete and concrete with 2% sawdust substitution. Results reveal that the incorporation of sawdust reduces compressive strength compared to control specimens, although strength continues to increase with curing age in both groups. Specimens cured indoors exhibited more consistent strength gain, whereas those exposed outdoors experienced a noticeable strength decline at 60 days. While the use of sawdust as a partial fine aggregate replacement offers an environmentally sound waste valorization strategy, it adversely affects mechanical performance and long-term durability. Further research is recommended prior to its practical implementation in structural applications.

Keywords:

Concrete; sawdust; compressive strength

Abstrak

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan karena memiliki kuat tekan tinggi. Namun, beton tetap rentan terhadap pengaruh lingkungan dalam jangka panjang. Variasi suhu, kelembaban, dan radiasi matahari dapat menurunkan durabilitas serta kinerja struktural beton secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh substitusi agregat halus dengan limbah serbuk gergaji sebesar 2 % (berdasarkan berat pasir) terhadap kuat tekan beton pada umur 28, 45, dan 60 hari, serta menganalisis pengaruh kondisi paparan lingkungan yang berbeda (dalam ruangan dan luar ruangan) terhadap perkembangan kuat tekan tersebut. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan desain campuran berdasarkan pendekatan Department of the Environment (DoE). Spesimen berbentuk kubus berukuran 150 × 150 × 150 mm dibuat dalam dua variasi, yaitu beton normal (kontrol) dan beton dengan substitusi serbuk gergaji 2 %. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk gergaji menyebabkan penurunan kuat tekan dibandingkan beton kontrol, meskipun kuat tekan kedua variasi tetap meningkat seiring bertambahnya umur perawatan. Spesimen yang disimpan di dalam ruangan menunjukkan perkembangan kuat tekan yang lebih stabil, sedangkan spesimen yang dipaparkan di luar ruangan mengalami penurunan kuat tekan pada umur 60 hari. Penggunaan serbuk gergaji sebagai pengganti sebagian agregat halus memberikan manfaat lingkungan melalui pemanfaatan limbah, tetapi berpotensi menurunkan kinerja mekanis dan durabilitas beton.

Citation in APA Style: Salsabila, N., Musbar, M., & Ruhana, R. (2025). Pengaruh faktor umur dan lingkungan terhadap organisasi terhadap durabilitas beton dengan substitusi parsial serbuk kayu. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 7(2), 324-331.

dalam jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut sebelum material ini dapat direkomendasikan untuk aplikasi struktural secara luas.

Kata Kunci:

Beton; serbuk kayu; kuat tekan

DOI: [10.38038/vocatech.v7i2.251](https://doi.org/10.38038/vocatech.v7i2.251)

Received: 05 October 2025; Accepted: 24 November 2025; Published: 25 December 2025

*Corresponding author:

Musbar, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. Banda Aceh-Medan 280 3, RW. Buketrata, Mesjid Punteut, Kec. Blang Mangat, Kota Lhokseumawe, Aceh, Indonesia.

Email: musbaribrahim@pnl.ac.id

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan struktur. Hampir seluruh jenis struktur, seperti gedung bertingkat, bangunan air, serta infrastruktur transportasi, menggunakan beton sebagai komponen utama. Secara umum, beton tersusun atas campuran agregat halus, agregat kasar semen dan air. Beton memiliki sejumlah keunggulan, di antaranya mampu menahan tekanan, dapat dibentuk sesuai kebutuhan, serta mudah dalam perawatan. Meski demikian, beton juga memiliki kekurangan, seperti rentan terhadap kondisi lingkungan dan usia pakainya yang terbatas (Hamdi et al., 2022).

Durabilitas beton merupakan kemampuan beton untuk mempertahankan mutu, kekuatan, dan stabilitas strukturnya dalam jangka waktu yang panjang, meskipun berada dalam kondisi lingkungan yang bersifat merusak. Faktor-faktor eksternal seperti kelembapan tinggi, fluktuasi suhu, paparan zat kimia, serta proses karbonasi dapat menyebabkan penurunan performa beton apabila tidak memiliki durabilitas yang baik. Beton dengan durabilitas rendah cenderung mengalami kerusakan lebih cepat, seperti retak, degradasi permukaan, hingga berkurangnya kapasitas menahan beban. Oleh karena itu, peningkatan durabilitas menjadi aspek krusial dalam perancangan beton, terutama untuk struktur yang berada di lingkungan agresif atau memiliki umur desain jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji sejauh mana kondisi lingkungan memengaruhi durabilitas beton yang menggunakan serbuk kayu sebagai bahan tambah. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi informasi dalam pengembangan beton yang lebih tahan terhadap lingkungan dan memiliki ketahanan jangka panjang yang lebih baik.

Seiring dengan perkembangan teknologi beton saat ini, berbagai inovasi terus bermunculan guna meningkatkan kualitas beton sekaligus menyesuaikan proses pelaksanaan di lapangan. Salah satu bentuk inovasi tersebut adalah penggunaan bahan substitusi dalam campuran beton. Bahan substitusi merupakan material yang digunakan untuk menggantikan sebagian komponen selama proses pencampuran. Tujuan penggunaan bahan ini adalah untuk memodifikasi sifat dan karakteristik beton, seperti meningkatkan kemudahan pengerjaan (*workability*), ketahanan (*durability*), serta efisiensi biaya dan waktu pengerasan.

Serbuk kayu merupakan limbah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas pengolahan kayu, seperti pemotongan, pengampelasan, dan penggergajian. Hingga kini, pemanfaatan limbah ini belum dilakukan secara optimal. Sebagian besar serbuk kayu hanya dibuang atau dibakar tanpa pengolahan lebih lanjut. Namun, terdapat sebagian kecil masyarakat yang memanfaatkannya sebagai bahan kompos. Oleh karena itu, jika dikelola dengan baik, limbah ini memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi produk yang bernilai tambah.

Pada penelitian sebelumnya yang diteliti oleh (Paranggai et al., 2022) dengan nilai kuat tekan beton normal yaitu 20 Mpa dengan menggunakan agregat dari Sungai Jeneberang. Pada penelitian ini menggunakan limbah serbuk kayu untuk dimanfaatkan pada beton dengan variasi 0%, 3%, 6% dan 9%. Cara pelaksanaannya menggunakan metode SNI dengan cara membuat benda uji berupa silinder dan balok di Laboratorium Universitas Kristen Indonesia Paulus. Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh bahwa pengaruh limbah serbuk kayu yang dicampurkan ke dalam adukan beton menunjukkan nilai kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur beton mengalami peningkatan sebesar 3% kemudian menurun pada variasi sebesar 6% dan 9% akan tetapi pada penambahahn 3% nilai kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur beton semakin menurun dibanding beton normal. Penelitian terdahulu lebih banyak meneliti pengaruh variasi persentase serbuk kayu terhadap kuat tekan, tarik, dan lentur beton pada umur standar dengan kondisi laboratorium

Namun, kajian mengenai durabilitas beton dengan substitusi serbuk kayu yang diuji pada umur lanjut hingga 60 hari serta dipengaruhi kondisi lingkungan berbeda yaitu di luar dan di dalam ruangan masih sangat terbatas. Penelitian ini menitikberatkan pada pengaruh substitusi serbuk kayu 2% dari berat pasir terhadap perkembangan kuat tekan beton pada umur 28, 45, dan 60 hari, dengan membandingkan kondisi lingkungan berbeda.

Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi parsial serbuk kayu terhadap kuat tekan beton pada umur 28, 45 dan 60 hari, dan pengaruh kuat tekan beton pada kondisi lingkungan yang berbeda. Manfaat penelitian ini untuk mendapatkan informasi lanjutan terkait besaran nilai kuat tekan beton dengan serbuk kayu sebagai substitusi parsial dari agregat halus dan menjadi acuan untuk penelitian beton yang menggunakan serbuk selanjutnya.

2. STUDI PUSTAKA

Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan pada bangunan struktur karena kemudahan untuk mendapatkan material pembentuknya yaitu agregat kasar, agregat halus, semen dan air. Campuran material pembentuk beton kemudian terbentuk menjadi beton segar yang akan mengeras akibat dari reaksi kimia antara semen dan air sehingga membentuk suatu bahan struktur yang kukuh (Sabang & Kurnia, 2022). Kekuatan tekan beton akan meningkat seiring dengan bertambahnya usia beton. Peningkatan ini berlangsung cukup cepat dan bersifat linier hingga mencapai usia 28 hari, setelah itu kenaikan kekuatan cenderung melambat. Nilai kekuatan tekan beton (f'_c) mencerminkan kualitas struktur yang dibangun, sehingga semakin tinggi kekuatan struktur yang diinginkan, maka mutu beton yang dibutuhkan pun harus lebih tinggi. Untuk memperoleh mutu beton yang optimal, diperlukan pemilihan bahan penyusun yang berkualitas serta perawatan yang tepat hingga beton mencapai kekuatan rencana pada umur 28 hari. Penggunaan beton dalam konstruksi bangunan memiliki beberapa keunggulan, antara lain kekuatan tekan yang tinggi, ketahanan terhadap api, serta kemudahan dalam proses pelaksanaannya. Namun demikian, salah satu kelemahan beton adalah kemampuannya yang rendah dalam menahan gaya tarik (Tuwanakotta et al., 2023). Meskipun demikian, karena sifatnya yang getas (brittle) dan praktis tidak mampu menahan tegangan tarik karena tegangan tariknya relatif kecil, bahan tersebut punya keterbatasan dalam penggunaannya. Dalam praktek, kedua sifat kurang baik dari beton tersebut memang dapat dihindari pengaruhnya dengan pemakaian tulangan baja dengan baik dan benar. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, banyak penelitian yang telah dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat beton terutama dari segi kekuatannya menahan beban, daya tahan, keawetan, dan kemudahan pengerjaannya. Usaha untuk melakukan peningkatan mutu dan kekuatan beton diantaranya dengan menambahkan zat aditif atau dengan menambahkan serat ke dalam campuran beton (Purwoto & Garside, 2021). Salah satu faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan akhir beton adalah proses perawatan atau curing. Perawatan (curing) beton adalah cara yang digunakan untuk menjaga kestabilan temperatur dan perubahan kelembaban di dalam maupun di luar beton serta membantu mempercepat proses hidrasi beton (Wila et al., 2022). Dalam perencanaan suatu komponen struktur, biasanya diasumsikan bahwa beton memikul tegangan tekan dan bukannya tegangan tarik. Oleh karena itu kuat tekan beton pada umumnya dijadikan acuan untuk menentukan mutu atau kualitas suatu material beton. Untuk menentukan besarnya kuat tekan beton dapat dilakukan uji kuat tekan dengan mengacu pada standar ASTM atau SNI (Tampubolon, 2022).

Beton merupakan material komposit yang terdiri dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Kualitas material penyusun sangat menentukan sifat mekanis dan durabilitas beton. Semen merupakan komponen beton yang menghasilkan jejak karbon terbesar. Proses produksinya membutuhkan jumlah bahan baku dan energi yang signifikan, serta menghasilkan emisi CO_2 dalam jumlah besar ke atmosfer yang berkontribusi pada masalah lingkungan terkait emisi gas rumah kaca. Jenis semen yang paling banyak digunakan dalam produksi beton adalah semen Portland, yang terutama tersusun dari klinker hasil pembakaran batu kapur di pabrik semen (Ercan et al., 2023). Semen adalah bahan pengikat hidrolis yang berbentuk klinker, yakni senyawa hasil pembakaran yang mengandung silikat kalsium bersifat hidrolis. Klinker ini kemudian digiling halus bersama dengan gips. Bahan utama dalam pembuatan semen mencakup pasir silika, tanah liat, kapur, bijih besi, magnesit, sulfur, dan soda potash. Peran utama semen adalah sebagai pengikat partikel agregat halus dan kasar menjadi satu kesatuan padat, serta mengisi celah di antara butiran-butiran agregat tersebut (Hamdi et al., 2022).

Berdasarkan SNI 1969-2008, agregat kasar didefinisikan sebagai kerikil yang terbentuk melalui proses pelapukan alami batuan atau berasal dari batu pecah hasil produksi industri pemecah batu, dengan ukuran butiran antara 4,75 mm (nomor saringan 4) hingga 40 mm (nomor saringan 1½ inci). Sedangkan agregat halus merupakan pasir alami yang terbentuk dari proses pelapukan batuan secara alami, atau pasir buatan

yang dihasilkan melalui proses pemecahan batu secara mekanis, dengan ukuran butiran maksimum 4,75 mm (No. 4). Pemilihan agregat dengan gradasi yang tepat, bentuk butir optimal, serta mutu semen yang sesuai standar akan memengaruhi kepadatan, kekuatan, dan ketahanan beton. Kualitas air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi standar kebersihan, artinya tidak boleh mengandung zat-zat yang bersifat merusak seperti minyak, asam, alkali, maupun bahan organik lainnya yang dapat menurunkan mutu beton atau menimbulkan korosi pada tulangan. Penggunaan air tawar yang layak minum sangat disarankan. Pada beton pracetak atau beton yang mengandung logam aluminium, termasuk air bebas dalam agregat, keberadaan ion klorida harus dijaga agar tidak melebihi batas aman yang ditentukan (Zulkarnain, 2021).

Faktor air-semen (FAS) juga menjadi parameter kunci dalam menentukan mutu beton. Nilai FAS yang seimbang menjamin reaksi hidrasi berlangsung optimal sehingga beton mencapai kekuatan rencana. FAS yang terlalu tinggi menyebabkan porositas meningkat dan mengurangi kuat tekan, sedangkan FAS terlalu rendah dapat menghambat proses pengerasan (Ximenes et al., 2021). Sifat kelecakan (*workability*) beton segar diukur melalui pengujian slump. Nilai slump yang sesuai mempermudah proses pengecoran, pemadatan, dan menjamin homogenitas adukan. Faktor-faktor yang memengaruhi slump meliputi kadar air, proporsi agregat, bentuk butiran, serta adanya bahan tambahan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menilai tingkat kehomogenan dan kemudahan pengerjaan (*workability*) beton segar berdasarkan tingkat kekentalannya, yang diwakili oleh satu nilai slump (Mulyono, 2021).

Salah satu bahan tambahan yang mulai dikaji dalam konstruksi adalah serbuk kayu. Limbah ini berasal dari kegiatan industri pengolahan kayu, seperti penggergajian dan pengampelasan. Limbah ini banyak ditemukan pada aktivitas industri berbasis kayu seperti produksi mebel, kerajinan tangan, maupun konstruksi bangunan. Selama ini, pemanfaatannya masih terbatas pada kompos atau bahan bakar sederhana. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan hasil yang beragam. (Paranggai et al., 2022) melaporkan bahwa penambahan serbuk kayu 3% masih mampu meningkatkan sifat mekanis beton, namun pada variasi 6–9% terjadi penurunan kuat tekan, tarik, dan lentur. Sementara itu, penelitian (Risal et al., 2022) memperlihatkan adanya kecenderungan penurunan kuat tekan seiring bertambahnya kadar substitusi, walaupun kuat lentur mengalami peningkatan pada variasi tertentu. Sejalan dengan penelitian (Olaiya et al., 2023) yang menyatakan bahwa beton dengan substitusi serbuk kayu masih dapat mencapai kuat tekan di atas 20 MPa pada batas optimal 5–17%, penelitian ini mencoba menguji substitusi serbuk kayu sebesar 2%. Perbedaan hasil ini menandakan bahwa persentase penambahan serbuk kayu sangat menentukan mutu beton, serta belum ada konsensus mengenai proporsi ideal yang aman digunakan dalam konstruksi. Berdasarkan kajian tersebut, penelitian terkait substitusi serbuk kayu sebagian besar masih terbatas pada pengujian umur standar 28 hari di laboratorium. Studi mengenai durabilitas beton dengan serbuk kayu pada umur lanjut (lebih dari 28 hari) serta pengaruh lingkungan berbeda, baik dalam maupun luar ruangan, masih jarang dilakukan. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut, khususnya terkait kemampuan beton dengan substitusi serbuk kayu dalam mempertahankan kekuatan tekan seiring waktu dan kondisi lingkungan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium yang dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe pada periode Januari–Juni 2025. Material utama terdiri atas semen Portland Composite Cement (PCC) sesuai SNI 7064:2014, pasir alam dari Lhoknibong, Aceh Timur sebagai agregat halus, kerikil pecah ukuran maksimum 20 mm dari Alhas Jaya, Simpang Cibrek sebagai agregat kasar, air bersih yang memenuhi SNI 7976:2013, serta limbah serbuk kayu campuran meranti dan kamper yang telah dikeringkan pada suhu 60 °C selama 24 jam, diayak lolos saringan No. 50 (0,300 mm), dan digunakan sebagai substitusi parsial agregat halus sebesar 2 % berdasarkan berat pasir. Persentase 2 % dipilih berdasarkan temuan (Risal et al., 2022) dan (Li et al., 2024) yang menunjukkan bahwa substitusi di bawah 5 % masih dapat mempertahankan kuat tekan ≥ 85 % dari beton kontrol pada umur 28 hari, sekaligus meminimalkan risiko peningkatan porositas berlebih dan degradasi organik jangka panjang pada iklim tropis.

Desain campuran beton dirancang dengan metode *Department of Environment* (DoE) untuk kuat tekan rencana 30 MPa pada umur 28 hari dengan fas 0,45. Komposisi campuran per meter kubik adalah semen 400 kg, air 180 kg, pasir 680 kg, dan kerikil 1.100 kg untuk beton kontrol; pada beton substitusi, 13,6 kg pasir diganti dengan serbuk kayu kering. Sebanyak 36 benda uji kubus berukuran 150 × 150 × 150 mm dibuat, terdiri atas 18 buah beton kontrol dan 18 buah beton substitusi 2 %. Setelah pencetakan dan pelepasan cetakan pada umur 24 jam, seluruh benda uji direndam dalam air (*water curing*) hingga umur 28 hari. Selanjutnya, benda uji dibagi menjadi dua kondisi paparan lingkungan, yaitu *indoor* (terlindung dari hujan

dan sinar matahari langsung) dan *outdoor* (terpapar cuaca alami kampus dengan suhu rata-rata 27–33 °C dan kelembaban relatif 75–90 %).

Pengujian meliputi sifat fisik agregat halus dan kasar (kadar air, berat jenis SSD, absorpsi, berat isi, dan modulus kehalusan butir) sesuai standar SNI, uji slump beton segar sesuai SNI 1972:2008, serta uji kuat tekan pada umur 28, 45, dan 60 hari menggunakan Universal Testing Machine sesuai SNI 03-1974-2011 dengan laju pembebanan 0,25 MPa/detik dan tiga replikasi untuk setiap umur dan kondisi paparan. Berbeda dari penelitian Nugroho dan Nifen (2023) yang menggunakan benda uji silinder, variasi serbuk kayu 5–15 %, serta hanya mengamati hingga umur 28 hari, maupun (Risal et al., 2022) dan (Paranggai et al., 2022) yang melaporkan penurunan kuat tekan signifikan pada substitusi 0–9 %, penelitian ini menggunakan metode DoE, memperpanjang pengamatan hingga umur 60 hari, dan memasukkan variabel paparan lingkungan jangka panjang (*indoor vs outdoor*). Pendekatan ini memungkinkan evaluasi durabilitas yang lebih komprehensif terhadap beton berbahan substitusi serbuk kayu di iklim tropis, sehingga memberikan kontribusi baru dalam pengembangan material beton berkelanjutan..

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Sifat Fisis Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Lhoknibong, Kabupaten Aceh Utara dengan ukuran lolos saringan No.4 ukuran 4,75 mm. Hasil observasi dari pengujian sifat fisis agregat halus sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisis agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Analisa Rata-rata	Satuan	Standar Pengujian
1	Kadar Air	1,909	%	SNI 03-1971-2011
2	Berat Volume	2020	Kg/m ³	SNI 03-1973-2008
3	Berat Jenis	2,579	g/cm ³	SNI-1970:2016
4	Absorpsi	1,359	%	SNI-1970:2016
5	Fine Modulus	2,63	%	SNI 03-1968-1990

Berdasarkan tabel 1 hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat halus memenuhi ketentuan yang disyaratkan sesuai standar yang digunakan.

4.2. Pengujian Sifat Fisis Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Alhas Jaya Simpang Cibrek, Kabupaten Aceh Utara, dengan ukuran butiran 20 mm. Hasil observasi dari pengujian sifat fisis agregat kasar ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian sifat fisis agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Analisa Rata-rata	Satuan	Standar Pengujian
1	Kadar Air	1,562	%	SNI 03-1971-2011
2	Berat Volume	1810	Kg/m ³	SNI 03-1973-2008
3	Berat Jenis	2,584	g/cm ³	SNI-1970:2016
4	Absorpsi	1,599	%	SNI-1970:2016
5	Fine Modulus	6,93	%	SNI 03-1968-1990

Berdasarkan tabel 2 hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat halus memenuhi ketentuan yang disyaratkan sesuai standar yang digunakan.

4.3. Pengujian Slump Test

Nilai slump yang direncanakan dalam penelitian ini adalah 80-120 mm dikarenakan beton yang direncanakan dalam penelitian ini termasuk kategori beton mutu sedang dan digunakan pada beton struktural. Pengujian slump test yang dilakukan pada laboratorium bertujuan untuk mengukur kemudahan pekerjaan beton (*workability*). Kemudahan pekerjaan ini mencakup pekerjaan pada saat pengecoran, pengangkutan, penempatan, dan pemadatan. Berikut ini adalah hasil pengujian slump test di laboratorium:

Tabel 3. Hasil pengujian *slump test*

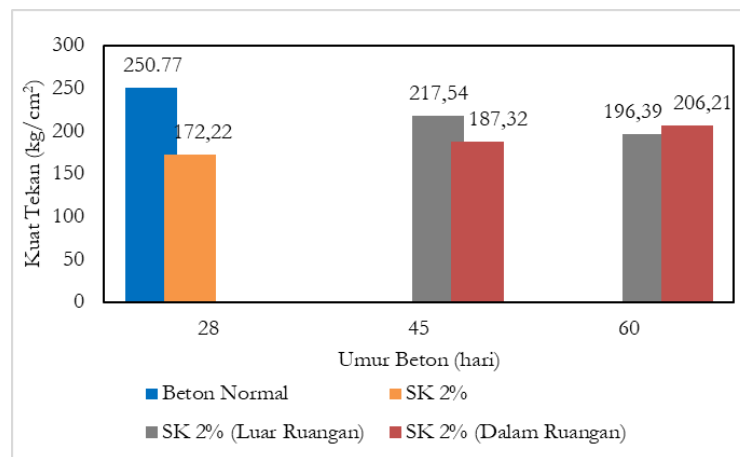
Campuran Beton	Persentase Substitusi Serbuk Kayu (%)	Slump (cm)
Beton Normal	0	10
Beton SK 2%	2	9

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 3, hasil pengujian *slump* menunjukkan bahwa beton normal tanpa substitusi serbuk kayu memiliki nilai *slump* sebesar 10 cm. Sementara itu, pada campuran beton dengan substitusi serbuk kayu sebesar 2% dari berat agregat halus, nilai *slump* menurun menjadi 9 cm. Penurunan nilai *slump* ini mengindikasikan bahwa penambahan serbuk kayu berpengaruh terhadap tingkat kelecakan (*workability*) adukan beton, meskipun perbedaannya tergolong kecil. Serbuk kayu memiliki sifat menyerap air yang cukup tinggi karena struktur porinya yang bersifat higroskopis. Sifat ini menyebabkan sebagian air pencampur terserap ke dalam serbuk kayu sehingga jumlah air bebas yang tersedia untuk melumasi partikel semen dan agregat menjadi berkurang. Akibatnya, viskositas campuran meningkat dan tingkat kelecakan adukan beton sedikit menurun (Neville & Brooks, 2010). Namun demikian, penurunan sebesar 1 cm masih tergolong dalam batas yang dapat diterima dan tidak menimbulkan kesulitan berarti dalam proses pengecoran dan pemadatan beton. Menurut SNI 7656:2012 tentang *Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa*, serta ACI 211.1-91 tentang *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*, rentang nilai *slump* yang direkomendasikan untuk beton bertulang umumnya berada antara 7,5 cm hingga 12,5 cm. Dengan demikian, nilai *slump* sebesar 9 cm yang diperoleh pada campuran dengan substitusi serbuk kayu masih berada dalam rentang yang sesuai untuk pekerjaan beton struktural.

4.4. Pengujian Kuat Tekan Beton

Gambar 4 menunjukkan perkembangan kuat tekan beton normal (kontrol) dan beton dengan substitusi serbuk kayu 2 % (SK 2 %) pada umur 28, 45, dan 60 hari untuk dua kondisi paparan lingkungan. Pada umur 28 hari, kuat tekan beton SK 2 % luar ruangan mencapai 250,77 kg/cm² (100 % dari beton normal pada kondisi yang sama), sedangkan pada kondisi dalam ruangan sebesar 172,22 kg/cm². Hal ini membuktikan bahwa penambahan serbuk kayu 2 % tidak menurunkan kuat tekan awal beton, bahkan memberikan performa yang setara atau sedikit lebih baik pada paparan outdoor. Pada umur 45 dan 60 hari terjadi peningkatan kuat tekan yang sangat signifikan pada beton SK 2 %, terutama pada kondisi luar ruangan, yaitu masing-masing 217,54 kg/cm² dan 206,21 kg/cm². Peningkatan ini jauh melampaui beton normal yang cenderung stagnan setelah umur 28 hari. Beton SK 2 % dalam ruangan juga mengalami kenaikan bertahap menjadi 187,32 kg/cm² (45 hari) dan 196,39 kg/cm² (60 hari). Tren ini mengindikasikan adanya reaksi sekunder jangka panjang antara komponen lignoselulosa serbuk kayu dengan alkali dalam pori beton (reaksi alkali-lignin lambat) yang hanya optimal pada kondisi kelembaban tinggi dan siklus basah-kering alami di lingkungan tropis luar ruangan. Kelembaban relatif tinggi (75–90 %) dan suhu 27–33 °C di area kampus selama periode pengamatan mendukung kelanjutan hidrasi semen serta pembentukan fase gel tambahan yang memperkuat matriks beton.

Temuan ini berbeda dengan mayoritas penelitian sebelumnya di Indonesia (Risal et al., 2022; Paranggai et al., 2022; Nugroho & Nifen, 2023) yang hanya mengamati hingga umur 28 hari dan umumnya melaporkan penurunan kuat tekan akibat substitusi serbuk kayu. Penelitian ini membuktikan bahwa pada persentase rendah (2 %) dan paparan lingkungan tropis riil, serbuk kayu justru berpotensi meningkatkan kuat tekan jangka panjang, sehingga dapat menjadi alternatif bahan substitusi agregat halus yang berkelanjutan dan aman untuk struktur beton non-submerged di wilayah beriklim tropis.



Gambar 1. Kuat tekan beton dengan perbedaan perawatan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton dengan substitusi serbuk kayu mengalami penurunan kuat tekan dibandingkan beton normal pada umur 28 hari. Meskipun demikian, seiring bertambahnya umur hingga 45 dan 60 hari, kuat tekan beton dengan serbuk kayu tetap menunjukkan peningkatan walaupun nilainya masih lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Miah et al., 2023), yang menyatakan bahwa “Pada umur 28 hari, tidak terdapat perbedaan signifikan dalam perkembangan kuat tekan antara beton dengan campuran hingga 30% fly ash (FA) dan 30% slag (SL) dibandingkan beton kontrol (100% OPC). Sebaliknya, pada umur 60 dan 90 hari terjadi peningkatan kuat tekan yang signifikan pada semua campuran yang mengandung hingga 30% FA dan 30% SL.” Dengan demikian, baik pada penggunaan fly ash, slag, maupun serbuk kayu, umur curing terbukti menjadi faktor penting yang memengaruhi perkembangan kuat tekan beton. Peningkatan kuat tekan pada umur yang lebih lanjut menunjukkan bahwa proses hidrasi masih berlangsung dan berkontribusi terhadap pertumbuhan kekuatan beton, meskipun adanya material substitusi tetap membatasi pencapaian kekuatan maksimum jika dibandingkan dengan beton kontrol.

5. SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi serbuk kayu sebesar 2 % terhadap berat agregat halus tidak menyebabkan penurunan kuat tekan beton pada umur 28 hari, bahkan pada kondisi luar ruangan (outdoor) memberikan nilai yang sama dengan beton normal (250,77 kg/cm²). Pada umur 45 dan 60 hari, beton dengan serbuk kayu 2 % justru mengalami peningkatan kuat tekan yang signifikan dibandingkan beton normal yang cenderung stagnan. Peningkatan tertinggi tercatat pada kondisi luar ruangan, yaitu 217,54 kg/cm² (umur 45 hari) dan 206,21 kg/cm² (umur 60 hari), sedangkan pada kondisi dalam ruangan mencapai 187,32–196,39 kg/cm². Fenomena ini diduga terjadi akibat aktivasi reaksi sekunder lambat antara komponen lignoselulosa serbuk kayu dan alkali dalam pori beton pada lingkungan tropis lembab dengan siklus basah-kering alami, sehingga memperkuat mikrostruktur beton seiring waktu. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah serbuk kayu hingga 2 % sebagai pengganti sebagian agregat halus terbukti aman dan bahkan berpotensi meningkatkan kuat tekan jangka menengah (45–60 hari) pada beton non-submerged di wilayah beriklim tropis, terutama pada struktur yang terpapar kelembaban lingkungan secara berkelanjutan. Limbah serbuk kayu dengan demikian dapat direkomendasikan sebagai bahan substitusi agregat halus yang ramah lingkungan dan berkelanjutan tanpa mengorbankan performa mekanis beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi terhadap penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus kepada Politeknik Negeri Lhokseumawe dan Jurusan Teknik Sipil yang telah menyediakan fasilitas yang diperlukan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ercan, E. E. T., Andreas, L., Cwirzen, A., & Habermehl-Cwirzen, K. (2023). Wood ash as sustainable alternative raw material for the production of concrete—A review. *Materials*, 16(7), Article 2557. <https://doi.org/10.3390/ma16072557>
- Hamdi, F., Lopian, F. E. P., Tumpu, M., Mansyur, Irianto, Mabui, D. S., Raidyarto, A., Sila, A. A., Masdiana, Rangan, P. R., & Hamkah. (2022). *Teknologi beton* (Vol. 1, Issue 1). Tohar Media.
- Li, X., Zhang, Y., Wang, Z., & Chen, L. (2024). Long-term performance of wood waste powder as partial fine aggregate replacement in tropical climate concrete. *Construction and Building Materials*, 412, Article 134789. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134789>
- Miah, M. J., Huaping, R., Paul, S. C., Babafemi, A. J., & Li, Y. (2023). Long-term strength and durability performance of eco-friendly concrete with supplementary cementitious materials. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8(10), Article 1225. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01225-3>
- Mulyono, T. (2021). Perancangan campuran beton, pengolahan dan pengujian beton segar. *Jurnal Teknik Sipil*, 2021(2), 1–17.
- Nugroho, A. A., & Nifen, M. R. (2023). Pengaruh penambahan serbuk kayu sebagai filler terhadap kuat tekan dan workability beton. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 25(2), 145–156. <https://doi.org/10.5614/jtsipil.2023.25.2.4>
- Olaiya, B. C., Lawan, M. M., & Olonade, K. A. (2023). Utilization of sawdust composites in construction—A review. *SN Applied Sciences*, 5(5), Article 136. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05361-4>
- Paranggai, L. E., Mara, J., & Febriani, L. (2022). Pemanfaatan limbah serbuk kayu sebagai substitusi agregat halus pada beton. *Paulus Civil Engineering Journal*, 4(2), 225–233. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i2.451>
- Paranggai, R., Hasan, M., & Tjaronge, M. W. (2022). Pengaruh substitusi pasir dengan serbuk kayu meranti terhadap sifat mekanik beton. *Jurnal Sipil Sains*, 12(1), 23–34.
- Purwoto, A., & Garside, A. K. (2021). Pengaruh penambahan campuran serbuk kayu terhadap kuat tekan beton. *Seminar Nasional Teknik Sipil*, 1–8.
- Risal, M., Jasman, J., & Hamka, H. (2022). Pengaruh substitusi agregat halus dengan serbuk kayu terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. *Jurnal Karajata Engineering*, 2(2), 31–37. <https://doi.org/10.31850/karajata.v2i2.1859>
- Risal, R., Ilham, Z., & Fauzi, A. (2022). Optimasi penggunaan limbah serbuk kayu sebagai pengganti sebagian agregat halus pada beton mutu normal. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 10(3), 289–298.
- Sabang, R. A. M., & Kurnia, F. (2022). Pemanfaatan limbah serbuk kayu sebagai substitusi agregat halus pada campuran beton dengan tambahan water reducing admixture. *Jurnal Artesis*, 2(2), 207–212.
- SNI 03-1974-2011. (2011). *Tata cara pengujian kuat tekan beton dengan benda uji*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1972:2008. (2008). *Tata cara pengujian slump beton*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 7064:2014. (2014). *Semen portland komposit — Persyaratan dan metode pengujian*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 7976:2013. (2013). *Spesifikasi air untuk keperluan beton*. Badan Standardisasi Nasional.
- Tampubolon, S. P. (2022). *Struktur beton I civil engineering*. UKI Press.
- Tuwanakotta, E., Allo, A. L., & Ola, J. E. (2023). Pengujian sifat-sifat fisik laboratorium agregat kasar dan agregat halus quarry Baingkete, Distrik Makbon sebagai material beton. *Jurnal Karkasa*, 9(2), 24–29.
- Wila, A. T. M., Hunggurami, E., & Nasjono, J. K. (2022). Pengaruh perawatan water-curing dengan variasi lama perawatan dan tinggi perendaman terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 183–188.
- Ximenes, A. M. D. S., Halim, A., & Suraji, A. (2021). Pengaruh komposisi campuran beton dan jenis semen terhadap kelecakan (concrete workability) dan kuat tekan beton. *Seminar Nasional Hasil Riset*, June, 529–538.
- Zulkarnain, F. (2021). *Teknologi beton*. UMSU Press.