



Studi Komparatif Ketahanan Beton Serat Fc = 20 Mpa Terhadap Serangan Klorida: Aditif Vs. Substitusi Serabut Kelapa

Naomi Hutahaean¹, Riki handoko², Salamudinsyah³

Politeknik Negeri Medan, Indonesia^{1,2,3}

Email: naomi@polmed.ac.id¹, rikihandoko@polmed.ac.id²,
salam24041981@gmail.com³

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mendukung pengembangan beton berkelanjutan berbasis material lokal melalui pemanfaatan serabut kelapa sebagai penguat alami. Secara jangka panjang, studi ini diarahkan untuk menghasilkan formulasi beton serat yang tidak hanya memiliki kuat tekan optimal tetapi juga ketahanan tinggi terhadap serangan klorida pada lingkungan agresif pesisir. Novelty penelitian ini terletak pada minimnya studi komparatif terpadu antara metode aditif dan substitusi serabut kelapa pada beton yang terpapar lingkungan klorida tropis, serta kontribusi pada pengembangan eco-material untuk infrastruktur pesisir berkelanjutan. Penelitian eksperimental ini menggunakan data primer berupa hasil uji slump dan kuat tekan pada benda uji silinder beton normal f'c 20 MPa dengan variasi kadar serabut kelapa (0,1%, 0,5%, 1%, dan 1,5%) melalui dua pendekatan: metode aditif dan substitusi sebagian agregat halus. Data kuantitatif yang diperoleh dianalisis secara deskriptif-komparatif untuk menilai pengaruh variasi serabut terhadap sifat fisis dan mekanis beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar serabut kelapa menurunkan nilai slump, menandakan berkurangnya workabilitas campuran. Namun, pada aspek kekuatan tekan, metode aditif menghasilkan performa lebih tinggi dibanding metode substitusi pada seluruh variasi campuran. Kadar optimum serabut kelapa diperoleh pada metode aditif sebesar 1% dengan kuat tekan 21,59 MPa (kenaikan 35,87% dibanding beton normal), sedangkan metode substitusi mencapai optimum pada 0,5% dengan kuat tekan 18,22 MPa (kenaikan 14,66%). Penurunan kuat tekan terjadi pada kadar lebih tinggi akibat peningkatan porositas dan segregasi serabut. Temuan ini menegaskan potensi serabut kelapa sebagai bahan penguat alami dalam pengembangan beton durabel dan ramah lingkungan untuk aplikasi struktural di lingkungan korosif.

Kata kunci: beton serat kelapa, kuat tekan, slump, aditif, substitusi

Abstract

This research aims to support the development of sustainable concrete based on local materials through the use of coconut fiber as a natural strengthener. In the long term, this study is directed to produce a fiber concrete formulation that not only has optimal compressive strength but also high resistance to chloride attack in aggressive coastal environments. The novelty of this research lies in the lack of integrated comparative studies between additive and coconut fiber substitution methods in concrete exposed to tropical chloride environments, as well as its contribution to the development of eco-

materials for sustainable coastal infrastructure. This experimental study used primary data in the form of slump and compressive strength test results on normal concrete cylinder test objects f_c 20 MPa with variations in coconut fiber content (0.1%, 0.5%, 1%, and 1.5%) through two approaches: additive method and partial substitution of fine aggregate. The quantitative data obtained were analyzed descriptively-comparatively to assess the effect of fiber variation on the physical and mechanical properties of concrete. The results showed that an increase in coconut fiber content lowered the slump value, indicating a reduction in the workability of the mixture. However, in terms of compressive strength, the additive method produces higher performance than the substitution method on all variations of the mixture. The optimum level of coconut fiber was obtained in the additive method of 1% with a compressive strength of 21.59 MPa (an increase of 35.87% compared to normal concrete), while the substitution method reached the optimum at 0.5% with a compressive strength of 18.22 MPa (an increase of 14.66%). The decrease in compressive strength occurs at higher levels due to increased porosity and fiber segregation. These findings confirm the potential of coconut fiber as a natural reinforcing material in the development of durable and environmentally friendly concrete for structural applications in corrosive environments.

Keywords: coconut fiber concrete, compressive strength, slump, additives, substitution

PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam berbagai jenis infrastruktur karena kemampuannya menahan gaya tekan, ketersediaan bahan baku, dan biaya produksinya yang relatif murah (Ahmad et al., 2021; Muhammad Rizka Fadli Wibowo & Said, 2025; Wicaksono, 2025). Namun, keberlanjutan dan ketahanan jangka panjang beton sangat bergantung pada lingkungan tempat beton diaplikasikan (Andira, Nurhadi, Damayanti, & Nugroho, 2024; Yansiku & Duran, 2025). Di wilayah pesisir atau daerah dengan tingkat kelembapan tinggi, beton sering terpapar oleh ion klorida baik dari air laut maupun garam yang digunakan untuk keperluan jalan dan perkerasan (Harahap, 2020; Sudarsono, 2023). Paparan ion klorida dapat menyebabkan korosi pada baja tulangan, yang pada akhirnya menurunkan kekuatan struktural dan mempercepat kerusakan beton (Arjuna, 2025; Kurniasari & Amalia, 2022; Rahmawati, 2023). Masalah ini menjadi salah satu tantangan terbesar dalam pengembangan material beton yang lebih tahan terhadap lingkungan agresif (Irawan Agung Wibowo & Kristanto, 2025).

Seiring meningkatnya perhatian terhadap aspek keberlanjutan dan durabilitas material konstruksi, muncul pendekatan baru dalam pengembangan beton, salah satunya adalah pemanfaatan serat alami seperti sabut kelapa sebagai bahan campuran beton (De Side, Khalil, Zulfikar, & Putra, 2025; Lubis & Putri, 2024). Serabut kelapa, yang merupakan limbah organik dari industri pertanian, memiliki struktur berserat dan sifat mekanik yang mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap retak serta memperbaiki ikatan antara pasta semen dan agregat (Ardhiansyah, 2018; As-Shofa, 2024;

Putra & Naufaldi, 2025; Wardhana et al., 2025). Selain itu, sifat serat yang fleksibel dan ringan juga memberikan kontribusi terhadap pengendalian propagasi retak mikro, sehingga berpotensi memperpanjang umur layan beton (Nuryadin, 2020). Penelitian-penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa tanpa mengurangi volume agregat halus, terbukti dapat meningkatkan kuat tekan, tarik belah, serta lentur beton pada kondisi normal (Majid, 2021; Maulana, 2021; Mawardhi, 2024). Penelitian oleh Ardiansyah (2018), menunjukkan bahwa penambahan serat serabut kelapa pada campuran beton dengan persentase dan panjang serat yang berbeda dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton dari kuat tekan awal 25 MPa dan mencapai maksimum dengan penambahan komposisi serabut kelapa 0,2% dari berat beton normal dan panjang serat 3 cm, yaitu 29,859 MPa.

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Ryan Andika Ibrahim dkk, 2025) menunjukkan bahwa beton dengan campuran serabut kelapa 0,1% pada perendaman 14 hari dalam larutan NaCl mengalami peningkatan sebesar 73,62%, begitu pula pada perendaman 30 hari terjadi peningkatan sebesar 144,14%. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Ramli dkk, 2013) yang meneliti sifat mekanik beton bersabut kelapa yang berada di lingkungan laut. Mereka menyatakan bahwa penggunaan serabut kelapa pada beton meningkatkan durabilitasnya dibandingkan dengan beton konvensional, dimana kekuatan tertinggi terdapat pada kandungan 0,6% sabut kelapa dengan kuat tekannya meningkat hingga 13% durasi perendaman selama 365 dan 546 hari.

Di sisi lain, penelitian dengan pendekatan substitusi parsial agregat halus dengan serabut kelapa menawarkan alternatif ramah lingkungan dan berkelanjutan, namun studi tentang pendekatan substitusi ini masih sangat terbatas dan belum banyak dievaluasi terutama dalam konteks lingkungan yang agresif seperti paparan klorida.

Untuk itu melalui celah riset ini, peneliti ingin melakukan studi yang membandingkan dua pendekatan tersebut yaitu serabut kelapa sebagai bahan aditif dan bahan substitusi parsial aggregate halus melalui komparatif eksperimental. Fokus utama adalah pada ketahanan terhadap serangan klorida yang diukur melalui penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah, serta analisis terhadap perbedaan workabilitas dari masing-masing campuran. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam pemilihan metode terbaik untuk memperkuat beton mutu menengah dalam lingkungan agresif secara berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pendekatan terbaik dalam pemanfaatan serabut kelapa untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap serangan klorida, khususnya dari segi penurunan kuat tekan. Fokusnya adalah membandingkan ketahanan antara beton normal, beton dengan serabut kelapa sebagai aditif, dan beton dengan substitusi sebagian agregat halus oleh serabut

kelapa. Selain itu, penelitian juga akan menganalisis perbedaan pengaruh ketiga pendekatan tersebut terhadap workabilitas beton serta menentukan persentase optimum serabut kelapa yang memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap penetrasi klorida.

Batasan penelitian dirancang secara spesifik, dimana karakteristik beton yang diuji hanya kuat tekan dan workabilitas. Serabut kelapa yang digunakan dipotong sepanjang 2-3 cm dan diaplikasikan dalam empat variasi persentase: 0,1%, 0,5%, 1%, dan 1,5% dari berat beton untuk metode aditif, serta dari berat agregat halus untuk metode substitusi. Untuk mensimulasikan lingkungan laut, beton akan direndam dalam larutan garam 3,5% selama 28 hari sebelum pengujian kuat tekan pada sampel silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Secara akademis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah pengetahuan dalam teknologi beton berkelanjutan, khususnya mengenai pemanfaatan serat alami untuk meningkatkan ketahanan terhadap ion klorida. Temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah untuk penelitian lanjutan dan menguatkan roadmap penelitian dalam bidang material konstruksi berwawasan lingkungan, sekaligus memberikan kontribusi dalam pengembangan eco-materials for construction durability.

Manfaat praktis dari penelitian ini adalah memberikan alternatif bahan tambahan alami yang murah dan mudah diperoleh secara lokal untuk meningkatkan ketahanan beton di wilayah pesisir. Hasil penelitian ini dapat menjadi informasi teknis bagi praktisi konstruksi dalam mengoptimalkan pemanfaatan serabut kelapa, mengurangi timbunan limbah melalui pendekatan circular economy, serta menjadi dasar rekomendasi bagi penyusunan standar teknis penggunaan serat kelapa dalam beton berketahanan tinggi di lingkungan agresif klorida.

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Pendekatan ini dipilih untuk menguji dan membandingkan pengaruh metode aditif dan substitusi serabut kelapa terhadap ketahanan beton $F_c=20$ Mpa terhadap serangan klorida serta menentukan komposisi terbaik untuk mencapai ketahanan maksimal beton terhadap serangan klorida.

Subjek Penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah benda uji beton yang dibuat dengan variasi campuran serat sabut kelapa sebagai bahan aditif dan bahan substitusi parsial terhadap agregat halus. Benda uji berupa silinder beton berdiameter 15

cm dan tinggi 30 cm, yang dibuat dengan proporsi campuran berdasarkan metode *mix design* SNI 03-2834-2000 yang memiliki kuat tekan rencana ($f'_c = 20$ MPa). Variasi serat sabut kelapa digunakan sebagai faktor utama penelitian, dengan persentase serat serabut kelapa terhadap agregat halus sebesar 0,1%, 0,5%, 1%, dan 1,50% .Setiap variasi dibuat dalam dua perlakuan, yaitu:

1. Aditif, yaitu serat sabut kelapa ditambahkan ke dalam campuran tanpa menggantikan agregat.
2. Substitusi, yaitu serat sabut kelapa menggantikan sebagian volume agregat halus dengan persentase yang sama.

Dengan demikian, terdapat 9 kelompok campuran yang terdiri atas 4 variasi dengan 2 tipe perlakuan, dan 1 campuran yang merupakan beton normal tanpa tambahan serat serabut kelapa. Masing-masing terdiri dari 4 benda uji, sehingga total jumlah benda uji adalah 36 silinder beton.

Subjek penelitian ini dipilih karena serat sabut kelapa merupakan limbah organik lokal yang berpotensi meningkatkan ketahanan beton terhadap retak akibat serangan klorida.

Rancangan Penelitian

Jenis rancangan penelitian ini adalah eksperimental komparatif. Spesimen dibagi dalam tiga kelompok untuk tes uji kuat tekan, yaitu

1. Kontrol (tanpa serabut kelapa) sebanyak 4 sampel.
2. Aditif (dengan serabut kelapa sebagai serat) sebanyak 4 sampel untuk setiap variasi persentase serat (0,1%,0,5%,1%,1,5% terhadap berat beton),
3. Substitusi (dengan serabut kelapa menggantikan sebagian pasir) sebanyak 4 sampel untuk setiap variasi persentase serat (0,1%,0,5%,1%,1,5%) terhadap agregat halus.

Bahan utama yang digunakan terdiri dari semen PCC Dynamic, agregat halus alami (pasir binjai), agregat kasar alami (kerikil), air bersih, serta serat sabut kelapa yang telah melalui proses pengeringan, pemotongan dengan panjang 2-3 cm, dan penimbangan sesuai proporsi yang ditentukan. Beton dirancang dengan kuat tekan rencana $f'_c = 20$ MPa sesuai SNI 03-2834-2000 dengan faktor air-semen tetap untuk seluruh variasi.

Setiap campuran akan diuji slump untuk mengetahui pengaruh serat serabut kelapa terhadap workability dari campuran tersebut dengan standar pengujian slump beton yang mengacu pada SNI 1972:2008 . Kemudian dituang ke cetakan benda uji berupa silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Cetakan dibuka satu hari setelah pengecoran lalu benda uji direndam dengan larutan NaCl dengan konsentrasi 3,5%. Pada umur 28 hari benda uji di test kekuatan tekannya dengan menggunakan Compression Testing Machine sesuai standar pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder (SNI 1974:2011).

Rancangan ini sesuai untuk simulasi situasi di mana beton terekspos garam sangat dini (pengecoran di lingkungan sangat korosif tanpa curing).

Roadmap Penelitian

Penelitian ini secara konseptual dan tematik beririsan langsung dengan bidang kajian Construction Materials and Methods yang tercantum dalam roadmap Program Studi Teknik Sipil, dengan arah pengembangan menuju *“Manajemen dan Rekayasa Konstruksi Gedung yang Efektif, Efisien, Berkelanjutan, dan Berwawasan Lingkungan.”* Fokus utama dalam bidang tersebut adalah pengembangan material konstruksi inovatif yang memiliki ketahanan tinggi, ramah lingkungan, dan berpotensi meningkatkan keberlanjutan infrastruktur bangunan.

Secara spesifik, penelitian ini mengkaji inovasi material beton berbasis serat alami, yaitu serat sabut kelapa, yang diaplikasikan dalam dua pendekatan komparatif—sebagai aditif dan sebagai substitusi sebagian agregat halus—pada beton dengan kuat tekan rencana 20 MPa. Pendekatan ini relevan dengan isu terkini dalam bidang rekayasa material konstruksi, yang menekankan upaya reduksi emisi karbon, pemanfaatan limbah pertanian, serta peningkatan daya tahan material terhadap kondisi lingkungan agresif, seperti serangan ion klorida yang lazim terjadi di wilayah pesisir tropis.

Keterkaitan penelitian ini dengan roadmap program studi dapat dijelaskan melalui tiga aspek utama. Pertama, dari sisi Construction Materials and Methods, penelitian ini berkontribusi terhadap pengembangan beton ramah lingkungan (*eco-friendly concrete*) dengan pemanfaatan bahan lokal terbarukan, sekaligus mengurangi ketergantungan pada material sintetis atau aditif kimia berbasis industri. Kedua, dari perspektif Environmental Issues, penelitian ini mendukung prinsip green construction dengan mengubah limbah sabut kelapa menjadi bahan rekayasa bernilai tambah yang berpotensi menekan timbulan limbah organik di daerah penghasil kelapa. Ketiga, dalam konteks Structural Engineering of Buildings, penelitian ini memperkuat arah riset terkait durabilitas struktur beton terhadap agen perusak eksternal, khususnya penetrasi ion klorida yang menjadi penyebab utama korosi tulangan dan degradasi kinerja jangka panjang struktur beton bertulang.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi nyata terhadap pencapaian visi strategis roadmap program studi, yaitu menghasilkan teknologi material konstruksi yang efektif, efisien, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Agregat

Sebelum melakukan perhitungan mix design, terlebih dahulu dilakukan pengujian material yang digunakan yaitu agregat halus dan kasar, yang meliputi pengujian analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, kadar air dan kadar lumpur yang hasilnya dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian Agregat

No	Pemeriksaan Agregat	Hasil
1	Analisa saringan (Fine Modulus)	
	a. Agregat Kasar (Kerikil)	6,92
	b. Agregat Halus (Pasir Binjai)	2,89
2	Berat Jenis Penyerapan	
	a. Agregat Kasar (Kerikil)	0,594%
	b. Agregat Halus (Pasir Binjai)	1,833%
3	Berat Isi	
	a. Agregat Kasar (Kerikil)	2,628
	b. Agregat Halus (Pasir Binjai)	2,545
4	Kadar Air	
	a. Agregat Kasar (Kerikil)	0,230%
	b. Agregat Halus (Pasir Binjai)	4,780%
5	Pemeriksaan Kadar Lumpur	
	a. Agregat Kasar (Kerikil)	0,447%
	b. Agregat Halus (Pasir Binjai)	1,56%

Perencanaan Campuran

Dari hasil pengujian agregat, beton dirancang dengan kuat tekan rencana ($f_c'=20\text{MPa}$) sesuai SNI 03-2834-2000 didapatkan komposisi campuran seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Campuran Beton Rencana ($f_c'=20\text{MPa}$)

Material (Kg)	Komp osisi Beton Norma l untuk 4 benda uji	Komposisi Beton dengan Serabut Kelapa sebagai Aditif untuk 4 benda uji				Komposisi Beton dengan Serabut Kelapa sebagai Substitusi sebagian Agregat Halus untuk 4 benda uji			
		SK 0%	SK 0,1%	SK 0,5%	SK 1%	SK 1,5%	SK 0,1%	SK 0,5%	SK 1%
Semen	10,07	10,07	10,07	10,07	10,07	10,07	10,07	10,07	10,07
Pasir Binjai	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	17,29	17,22	17,1	17,05
						3	3	37	0

Kerikil	30,77	30,77	30,77	30,7 7	30,77	30,77	30,77	30,7 7	30,77
Air	5,43	5,43	5,43	5,43	5,43	5,43	5,43	5,43	5,43
Serabut Kelapa	0	0,017	0,086	0,17	0,259	0,017	0,086	0,17	0,259
		31	55	31	65	31	55	31	65

Hasil Pengujian Slump

Sebelum dituang ke dalam cetakan, campuran beton di lakukan pengujian slump terlebih dahulu dan hasilnya terlihat pada tabel 5.3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Slump

Slump rata-rata Beton Normal	Slump rata-rata Beton dengan Serabut Kelapa sebagai Aditif					Slump rata-rata Beton dengan Serabut Kelapa sebagai Substitusi sebagian Agregat Halus			
	SK 0%	SK 0,1%	SK 0,5%	SK 1%	SK 1,5%	SK 0,1%	SK 0,5%	SK 1%	SK 1,5%
	12	11	8,5	6	3,5	10	7	3,5	2,5

Hasil Pengujian Kuat Tekan

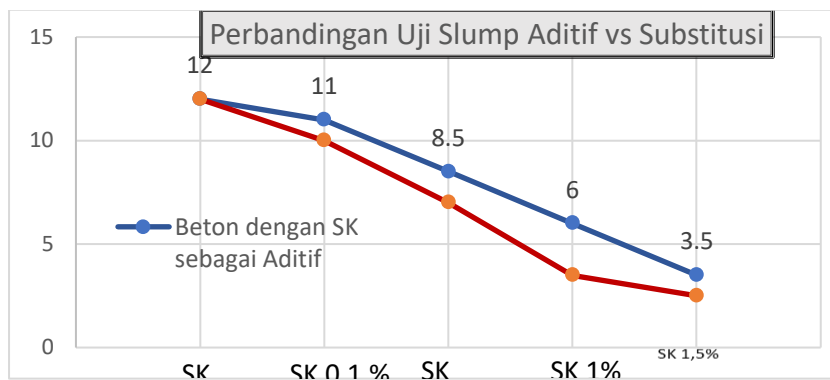
Cetakan dibuka satu hari setelah pengecoran lalu benda uji direndam dengan larutan NaCl dengan konsentrasi 3,5%. Pada umur 28 hari benda uji di test kekuatan tekannya. Hasil pengujian kuat tekan beton tersebut dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton di Umur 28 hari

Jenis Perlakuan Campuran	Persentase Serabut Kelapa	Beban Tekan rata-rata (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	Selisih Kuat Tekan terhadap Beton Normal (15,89 Mpa)	Selisih Kuat Tekan terhadap Beton Rencana (20 Mpa)
Beton Normal	0%	280,75	15,89		-20,55%
Beton dengan Campuran Serabut Kelapa sebagai Aditif	0,10%	277,5	15,7	-1,20%	-21,50%
	0,50%	356,75	20,19	27,06%	0,95%
	1%	381,5	21,59	35,87%	7,95%
	1,50%	254,75	14,42	-9,25%	-27,90%
Beton dengan Campuran Serabut Kelapa sebagai Substitusi sebagian Agregat Halus	0,10%	264,75	14,98	-5,73%	-25,10%
	0,50%	322	18,22	14,66%	-8,90%
	1%	286	16,18	1,83%	-19,10%
	1,50%	275	15,56	-2,08%	-22,20%

Pembahasan

Pengaruh metode campuran Aditif vs Substitusi sebagian agregat halus terhadap workabilitas.

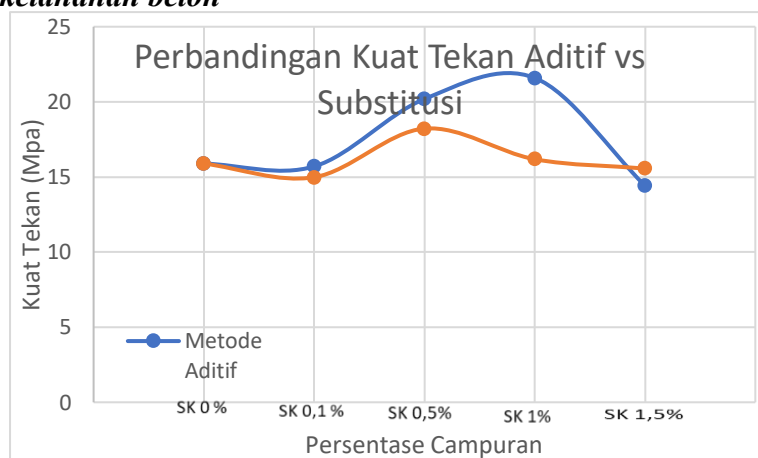


Gambar 1. Perbandingan Slump Metode Aditif vs Substitusi

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa beton dengan penambahan serat memiliki slump yang cenderung menurun. Namun untuk beton dengan metode serat serabut sebagai substitusi sebagian agregat halus memiliki penurunan slump yang lebih signifikan dibandingkan beton dengan metode serat serabut sebagai aditif. Ini disebabkan karena serabut ringan dan mengapung sehingga menyebabkan ketidakstabilan campuran, distribusi tidak seragam. Serabut menggantikan volume pasir sehingga struktur gradasi terganggu sehingga rongga antar agregat meningkat dan aliran campuran berkurang.

Ini berpengaruh terhadap workabilitas dari beton. Beton dengan workabilitas rendah cenderung sulit untuk dikerjakan dan memiliki tingkat kepadatan yang rendah sehingga memiliki kekuatan dan ketahanan lebih rendah. Oleh karena itu, ketika serabut kelapa digunakan sebagai aditif atau substitusi, perlu dilakukan penyesuaian kadar air, atau penambahan bahan kimia pereduksi air (superplasticizer) agar workabilitas tetap dalam rentang optimal.

Pengaruh metode campuran Aditif vs Substitusi sebagian agregat halus terhadap ketahanan beton



Gambar 2. Perbandingan Kuat Tekan Metode Aditif vs Substitusi

Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan kuat tekan beton antara metode aditif dan metode substitusi pada berbagai variasi kadar serabut kelapa (SK) yaitu 0,1%, 0,5%, 1%, dan 1,5%. Secara umum, grafik memperlihatkan bahwa penambahan serabut kelapa mempengaruhi kekuatan tekan beton secara signifikan, baik melalui penambahan (aditif) maupun penggantian sebagian agregat halus (substitusi). Pola hubungan kuat tekan terhadap kadar serabut menunjukkan kecenderungan non-linear, di mana peningkatan kadar serabut tertentu dapat meningkatkan kekuatan beton, namun setelah melewati titik optimum justru menurunkannya.

Pada beton normal tanpa penambahan serabut, nilai kuat tekan berkisar antara 15,89 MPa. Nilai ini menjadi acuan kuat tekan dasar sebelum dilakukan modifikasi komposisi campuran. Namun mengalami penurunan dari kuat tekan beton rencana yaitu 20 Mpa. Ini menunjukkan efek serangan Chlorida tanpa penambahan serabut kelapa. Ketika ditambahkan 0,1% serabut kelapa, terjadi sedikit penurunan kuat tekan pada kedua metode. Fenomena ini diduga akibat distribusi serabut yang belum merata dalam matriks beton serta peningkatan kebutuhan air (water demand) akibat sifat serabut yang menyerap air cukup tinggi. Akibatnya, workabilitas campuran menurun dan terbentuk rongga udara mikro yang menurunkan densitas beton (Neville, 2011; Mindess & Young, 2019).

Peningkatan kekuatan signifikan mulai terlihat pada SK 0,5%, di mana kuat tekan metode aditif mencapai sekitar 20,19 MPa, sedangkan metode substitusi berada pada kisaran 18 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar tersebut, serabut kelapa berperan optimal sebagai mikro-bridging agent yang mampu menahan dan mendistribusikan tegangan internal dalam matriks semen. Serabut juga berfungsi menahan propagasi retak mikro akibat beban tekan, sehingga struktur beton menjadi lebih daktil dan tahan terhadap keruntuhan getas.

Kinerja optimum metode aditif terlihat pada SK 1%, dengan kuat tekan mencapai sekitar 21,59 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan serabut dalam jumlah moderat mampu memperbaiki kohesi internal beton tanpa mengganggu proporsi agregat. Kandungan serabut yang cukup pada kadar ini juga menambah daya tahan beton terhadap gaya tekan karena terbentuk jaringan serabut yang berperan sebagai pengikat tambahan antar pasta semen (Adeniyi et al., 2020). Sebaliknya, metode substitusi mulai menunjukkan penurunan kuat tekan pada kadar yang sama. Hal ini disebabkan oleh pengurangan agregat halus (pasir) yang berfungsi vital dalam mengisi rongga dan meningkatkan kerapatan beton. Penggantian sebagian pasir dengan serabut yang bertekstur kasar dan berserat mengakibatkan meningkatnya porositas dan volume void, yang berdampak langsung pada penurunan kekuatan mekanik (Thomas & Gupta, 2020).

Pada SK 1,5%, kedua metode mengalami penurunan kuat tekan yang cukup tajam hingga mendekati nilai beton normal. Penurunan ini menunjukkan bahwa kelebihan serabut justru menurunkan homogenitas campuran, menimbulkan agregasi serabut (fiber balling), serta menghambat proses pemadatan selama pengecoran. Kandungan serabut yang terlalu tinggi juga mengakibatkan

peningkatan volume pori dan penurunan ikatan pasta semen, yang menyebabkan terbentuknya zona lemah pada struktur beton.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode aditif menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibanding metode substitusi pada seluruh variasi kadar serabut. Hal ini membuktikan bahwa serabut kelapa lebih efektif berfungsi sebagai penguat tambahan (Aditif) daripada sebagai bahan pengganti agregat halus (Substitusi). Penambahan serabut secara langsung mempertahankan densitas dan kerapatan beton, sementara substitusi sebagian agregat mengubah proporsi butiran halus yang memengaruhi struktur mikro beton.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kadar optimum serabut kelapa terhadap peningkatan kuat tekan beton berada pada kisaran 1% untuk metode aditif dengan peningkatan kekuatan mencapai 35,87% dibanding beton normal (dapat dilihat dari tabel 5.4) sebesar 21,59 Mpa, sedangkan kadar di atas 1% menyebabkan penurunan kinerja akibat berkurangnya workabilitas dan meningkatnya porositas. Temuan ini memperkuat teori bahwa efisiensi penggunaan serabut alami pada beton sangat bergantung pada keseimbangan antara volume serabut, distribusi dalam campuran, dan keterikatan dengan matriks semen (Kumar et al., 2021).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa metode aditif lebih unggul dibandingkan metode substitusi dalam pemanfaatan serabut kelapa untuk meningkatkan kuat tekan beton $F_c' 20 \text{ MPa}$ yang terpapar lingkungan klorida. Kadar optimum serabut kelapa adalah 1% pada metode aditif, yang menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 21,59 MPa (meningkat 35,87% dibanding beton normal), sementara pada metode substitusi, kadar optimum hanya 0,5% dengan kuat tekan 18,22 MPa. Namun, kedua metode menyebabkan penurunan workabilitas (slump) seiring meningkatnya kadar serat. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengeksplorasi penggunaan bahan tambahan kimia (seperti superplasticizer) untuk mempertahankan workabilitas, melakukan pengujian ketahanan jangka panjang terhadap klorida (misalnya hingga 90 hari), serta menyelidiki aspek mikrostruktural (melalui SEM) untuk menganalisis secara lebih mendalam interaksi antara serabut kelapa dan matriks beton dalam menghambat penetrasi ion klorida

REFERENSI

- Ahmad, Siti Nurjanah, Hanafie, Isnaeny Maulidiyah, Sriwati, Meny, Kamba, Charles, Lopian, Franky Edwin Paskalis, Risfawany, Lasty Dinulfy, Syam, Alfauzsia, Mustika, Wayan, Tumpu, Miswar, & Suryamiharja, Didik. (2021). *Pemanfaatan material alternatif (sebagai bahan penyusun konstruksi)*. Tohar Media.
- Andira, Novia, Nurhadi, Anggreani, Damayanti, Maya Ariska, & Nugroho,

- Danang Hadi. (2024). Penggunaan Material Limbah Untuk Pembangunan Berkelanjutan Pada Kontruksi Jalan Raya). *JURNAL DAKTILITAS*. <https://doi.org/10.36563/DAKTILITAS.V4I2.1374>
- Ardhiansyah, Muhammad Dian. (2018). *Pengaruh Pemanfaatan Sabut Kelapa Sebagai Material Serat Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Beton*.
- Arjuna, Sandika. (2025). Uji Durabilitas Beton Normal Setelah Perendaman dalam Air Laut dan Pembakaran pada Suhu Tinggi. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*. <https://doi.org/10.14710/POTENSI.2025.27672>
- As-Shofa, Zierly Mauliya. (2024). *Pengaruh Penambahan Serat Serabut Kelapa Terhadap Kuat Lentur dan Permeabilitas Genteng Beton Berbahan Limbah Bottom Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen*. Universitas Islam Indonesia.
- De Side, Gagassage Nanaluh, Khalil, Fakhru Irfan, Zulfikar, Wahyudi, & Putra, Guyup Mahardian Dwi. (2025). Analisis Bibliometrik Perkembangan Teknologi Beton Serat (Fiber Reinforced Concrete) dengan Campuran Serat Alam. *JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN*. <https://doi.org/10.29303/JSTL.V11I1.671>
- Harahap, Amal Risky. (2020). *Pengaruh Proses Penuaan Akibat Rendaman Air Gambut Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC Berdasarkan Uji Cantabro*. Universitas Islam Riau.
- Kurniasari, Anita Putri, & Amalia, Yasmina. (2022). Pengaruh Korosi Terhadap Kegagalan Logam pada Jembatan : Literature Review. *Jurnal Mekanik Terapan*. <https://doi.org/10.32722/JMT.V3I2.4597>
- Lubis, Nur Azizah, & Putri, Mentari Darma. (2024). Teknologi Nano Dari Bahan Alam Sebagai Prospek Penerapan Konstruksi Berkelanjutan. *International Journal of Science, Technology and Applications*. <https://doi.org/10.70115/IJSTA.V2I2.232>
- Majid, Asrul. (2021). *Pengaruh Penambahan Limbah Zak Semen Terhadap Mutu Kuat Tekan Beton*. Universitas Islam Lamongan.
- Maulana, Kemal. (2021). Pemodelan Pupuk Rilis Lambat Dengan Fly Ash sebagai Matriks Inert yang Dilapisi oleh Ethylcellulose. *TEKNIK*.
- Mawardhi, Yusuf Faraz. (2024). *Kajian Pengaruh Penambahan Serabut Kelapa dan Damdex Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton*. Universitas Islam Indonesia.
- Nuryadin, Bebeh Wahid. (2020). *Pengantar Fisika Nanomaterial: Teori dan Aplikasi*.
- Putra, Muhammad Yasin Prastyadi, & Naufaldi, Efrat Ardian. (2025). *Pengaruh Campuran Serabut Kelapa Terhadap Daya Serap Air Pada Paving Block*.

Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

- Rahmawati, Cut. (2023). Daya Tahan Geopolimer Berbasis Nanosilika dan Cellulose Nanocrystals Terhadap Air Laut. *Jurnal Serambi Engineering*. <https://doi.org/10.32672/JSE.V8I4.6695>
- Sudarsono, Ignatius. (2023). *Durabilitas Beton Dengan Bahan Substitusi Untuk Konstruksi di Lingkungan Laut*. Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia).
- Wardhana, Daffa Dimas, Suwito, Selfa Aulya Safitri, Mukasyaf, Aziz Akbar, Pratiwi, Selvana Bakti, Alyya, Lisana Shidqin, & Nurchasanah, Yenny. (2025). Teknologi Bahan Susun Beton dengan Pemanfaatan Abu-Sekam Padi: Review Artikel. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, 218–228.
- Wibowo, Irawan Agung, & Kristanto, Luluk. (2025). Penggunaan Self Healing Concrete, Teknologi Masa Depan Konstruksi Jalan Di Indonesia. *JURNAL TEKNIK SIPIL PERTAHANAN*. <https://doi.org/10.63824/JPTSP.V12I1.259>
- Wibowo, Muhammad Rizka Fadli, & Said, Balqis Fataya. (2025). *Buku Referensi Konstruksi Perkerasan Jalan Standar, Material, dan Teknik Lapangan*. PT. Media Penerbit Indonesia.
- Wicaksono, Ibnu Bagus. (2025). *Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Bahan Tambah Asbuton Dan Pasir Laut Untuk Perkerasan Jalan*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Yansiku, Sandy I., & Duran, Yohanes G. G. L. (2025). Terak Non-Besi Sebagai Tambah Semen Portland Pada Beton Struktural. *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*. <https://doi.org/10.36728/JTSA.V30I1.4453>