

Efek Kombinasi Abu Dan Serat Daun Nanas Terhadap Kuat Tekan Dan Lentur Beton Berkelanjutan: Studi Eksperimental pada Beton Mutu Normal

Jufri Manga^{1*}, Azriel Tangke Sombolinggi¹, Visca Novita¹, Irwanto¹

¹Universitas Kristen Indonesia, Toraja, Indonesia

*Korespondensi: jufri@ukitoraja.ac.id

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi yang umum digunakan namun memiliki kelemahan dalam hal kuat lentur yang rendah dan sifat getas. Upaya untuk meningkatkan performa mekanik beton dilakukan dengan menambahkan bahan tambahan dari limbah organik seperti abu dan serat daun nanas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi abu dan serat daun nanas terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan benda uji berbentuk silinder (diameter 10 cm, tinggi 20 cm) untuk uji tekan dan balok (15×15×60 cm) untuk uji lentur. Variasi campuran meliputi abu daun nanas sebesar 1%, 2%, dan 3% serta serat daun nanas sebesar 1% dari berat semen. Proses pengujian mengikuti standar SNI 1974:2011 untuk uji tekan dan SNI 4431:2011 untuk uji lentur, dengan pengamatan dilakukan pada umur 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan kadar abu daun nanas menghasilkan peningkatan kuat lentur, dengan nilai tertinggi sebesar 3,135 MPa pada variasi 3% abu dan 1% serat. Namun, kombinasi tersebut justru menurunkan kuat tekan beton, dengan penurunan tertinggi sebesar 16% pada campuran yang sama. Temuan ini menunjukkan bahwa abu dan serat daun nanas berpotensi digunakan sebagai bahan tambah beton ramah lingkungan, khususnya untuk struktur yang menekankan ketahanan lentur.

SEJARAH ARTIKEL

Diterbitkan 29 Juni 2025

KATA KUNCI

Abu; Serat; Daun Nanas; Kuat Tekan; Kuat Lentur; Balok Beton

1. Pendahuluan

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam bidang teknik sipil, baik pada pembangunan gedung bertingkat, jembatan, jalan raya, maupun struktur infrastruktur lainnya. Hal ini disebabkan oleh berbagai keunggulan beton, seperti kemampuannya dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi, ketahanan terhadap suhu tinggi, serta daya tahan yang baik terhadap beban tekan (SNI 7656:2012). Komposisi dasar beton terdiri atas agregat halus, agregat kasar, semen, air, dan bahan tambah (admixture), baik kimia maupun alami, yang berfungsi untuk meningkatkan kinerja beton sesuai karakteristik yang diinginkan (Tjokrodinuljo, 2019). Selain itu, ketersediaan bahan penyusun beton yang melimpah dan proses produksinya yang relatif sederhana menjadikan beton sebagai material pilihan utama dalam dunia konstruksi (Suprobo & Haryanto, 2009).

Meskipun demikian, beton memiliki kelemahan mendasar, yaitu kuat lentur yang rendah dan sifatnya yang getas, sehingga mudah mengalami keretakan terutama ketika menerima beban tarik atau lentur. Hal ini menjadi tantangan dalam perancangan struktur, terutama pada bagian-bagian yang mengalami tegangan tarik dominan (Triwulan & Arifianto, 2020). Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, berbagai penelitian telah dilakukan dengan menambahkan serat ke dalam campuran beton. Jenis serat yang digunakan sangat beragam, mulai dari serat baja, plastik, dan karbon, hingga serat alami dan fiberglass. Tujuan utama penambahan serat ini adalah untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap beban tarik dan lentur, serta memperbaiki sifat daktilitasnya.

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian para peneliti semakin tertuju pada pemanfaatan limbah organik sebagai bahan tambahan dalam beton. Pendekatan ini selaras dengan konsep green construction dan prinsip keberlanjutan (sustainability) yang mendorong penggunaan material ramah lingkungan dalam industri konstruksi. Salah satu limbah pertanian yang berpotensi besar namun belum banyak dimanfaatkan adalah daun nanas (*Ananas comosus*). Tanaman nanas termasuk tanaman monokarpik yang hanya berbuah sekali, dan daunnya yang tersisa setelah panen umumnya dianggap sebagai limbah. Padahal, daun nanas diketahui mengandung serat alam yang kuat dan silika dalam jumlah

signifikan, yang menjadikannya kandidat potensial untuk digunakan sebagai bahan tambah dalam beton (Handayani & Prasetyo, 2021; Wardani & Wibowo, 2018).

Beberapa studi terdahulu menunjukkan bahwa daun nanas memiliki kandungan pozzolan yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida selama proses hidrasi semen, sehingga dapat meningkatkan ikatan antar partikel dalam beton (Fitriani et al., 2021). Penelitian oleh Palupi (2019) menyebutkan bahwa hasil kalsinasi daun nanas menghasilkan abu dengan kandungan silika (SiO_2) sebesar 38,161%, yang berfungsi sebagai pengikat alami. Penambahan abu ini dapat memperbaiki struktur mikro beton dan meningkatkan kekompakan matriksnya, sedangkan serat daun nanas berperan dalam menghambat propagasi retakan dan meningkatkan ketangguhan beton dalam menerima beban lentur.

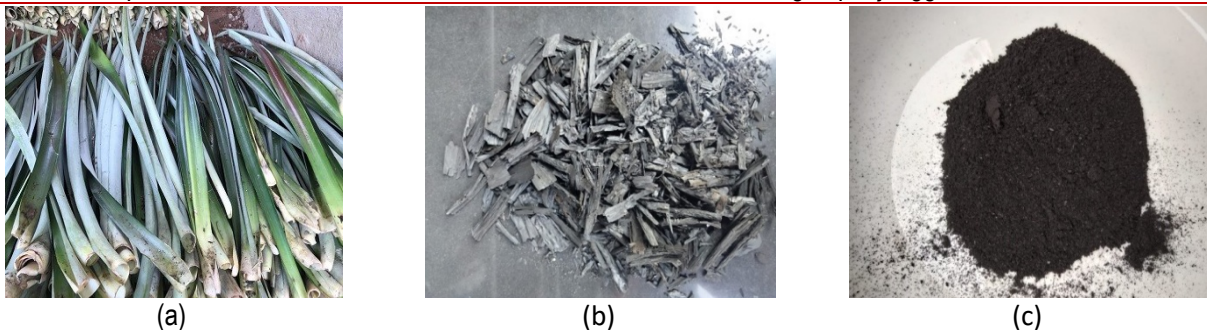
Penelitian oleh Yanti, Zainuri, dan Megasari (2019) menunjukkan bahwa penambahan serat daun nanas sebesar 5% terhadap berat semen mampu meningkatkan kekuatan tekan beton secara signifikan. Selain itu, abu daun nanas juga dinilai dapat menggantikan sebagian semen portland, sehingga berkontribusi dalam menurunkan emisi karbon dari industri konstruksi—salah satu sektor penyumbang emisi terbesar secara global. Oleh karena itu, pemanfaatan daun nanas tidak hanya memberikan manfaat dari sisi mekanis beton, tetapi juga berimplikasi positif terhadap upaya pengurangan limbah pertanian dan mendukung transisi menuju konstruksi berkelanjutan.

Selanjutnya, Gerung (2012) mencatat bahwa penggunaan serat daun nanas dengan panjang 1,5 cm pada beton mampu menghasilkan kuat tarik belah sebesar 21,69 kg/cm^2 dan kuat lentur sebesar 64,79 kg/cm^2 pada usia 28 hari. Hasil ini memperkuat argumentasi bahwa limbah organik seperti daun nanas dapat diolah menjadi bahan fungsional untuk meningkatkan performa beton, khususnya pada bagian struktur yang rentan terhadap beban tarik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini secara khusus bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi abu dan serat daun nanas terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam mengembangkan material konstruksi berbasis limbah pertanian sebagai solusi inovatif, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk mendukung implementasi konstruksi berkelanjutan di masa depan.

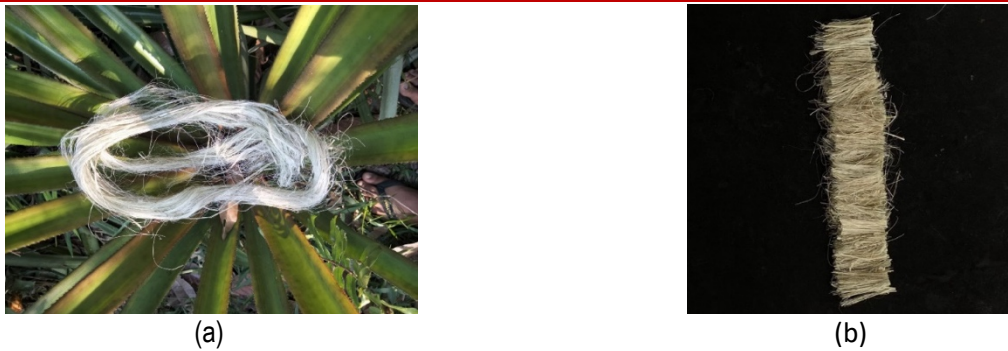
2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian berbasis studi eksperimental, merupakan penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang diakibatkan adanya suatu perlakuan atau rekayasa suatu kondisi eksperimental. Adapun faktor yang akan diteliti dalam eksperimental ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan abu dan serat daun nanas sebagai bahan tambah pada beton. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan perubahan nilai kuat lentur beton dengan menggunakan abu daun nanas sebagai bahan tambah, dengan variasi penambahan abu sebesar 1%, 2%, dan 3% terhadap berat semen dan serat daun nanas sebesar 1% konstan dengan panjang serat 3 cm.



Gambar 1. (a) Daun nanas, (b) Hasil pembakaran dan (c) Abu daun nanas

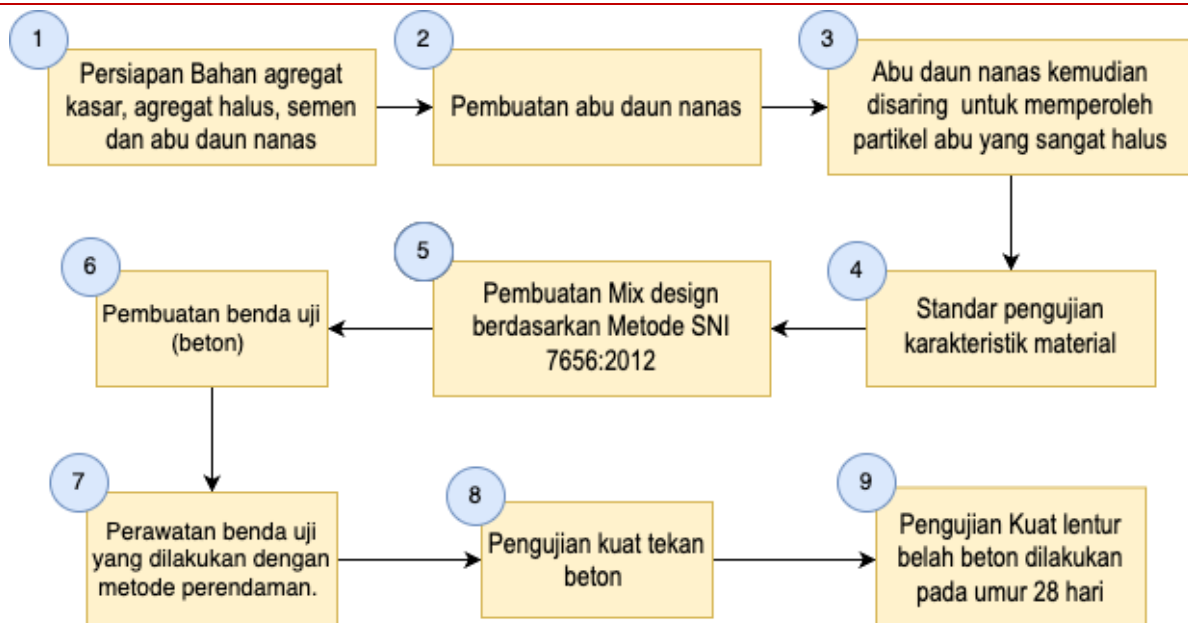
Secara umum penelitian ini menggunakan bahan-bahan seperti Semen Portland, air yang berasal dari sumber air bersih, abu dan serat daun nanas dari Tagari serta agregat kasar dan halus yang berasal dari Lampan. Diameter pasir yang digunakan adalah yang lolos saringan no 4 (maksimum diameter ukuran 4,74 mm) dan tertahan pada saringan no 200 (maksimum diameter ukuran 75 μm). Agregat kasar yang digunakan ukuran 19 mm. Ukuran serat daun nanas sepanjang 3 cm serta abu yang digunakan adalah abu yang lolos pada saringan no 200.



Gambar 2. (a) Serat daun nanas, (b) Potongan Serat 3 cm

Dalam penelitian ini benda uji berbentuk silinder dengan ukuran standar 15 cm x 30 cm untuk pengujian tekan, dan balok ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm untuk pengujian lentur. Persentase abu daun nanas sebesar 1%, 2%, dan 3%, sebagai bahan tambah semen dan penggunaan serat daun nanas sebesar 1% konstan. Dalam penelitian ini perancangan campuran beton didasarkan pada SNI 7656-2012. Semen, pasir, abu daun nanas dan agregat dicampur menjadi satu sampai homogen. Setelah adukkan tercampur rata, adukan beton dimasukkan ke dalam cetakan sambil dipadatkan. Campuran beton yang telah homogen dicetak dalam cetakan dan dibiarkan mengeras selama 24 jam. Setelah itu, benda uji direndam dalam air selama 28 hari. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tekan untuk mengetahui kekuatan tekan maksimal yang dapat ditahan oleh beton yang telah mengalami variasi penambahan abu dan serat daun nanas. Nilai kuat tekan dihitung berdasarkan SNI 1974:2011 tentang metode uji kuat tekan beton. Pengujian lentur dilakukan untuk mengetahui ketahanan beton terhadap pembebanan lentur. Pengujian ini dilakukan sesuai dengan standar SNI 4431:2011 tentang metode uji kuat lentur beton.

Prosedur pelaksanaan penelitian



Gambar 3. Prosedur Pelaksanaan

(1) Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan bahan yang meliputi agregat kasar, agregat halus, semen, dan abu daun nanas. Seluruh bahan diletakkan dan disimpan di Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja untuk menjaga kestabilan kondisi material sebelum proses pencampuran. (2) Pembuatan abu daun nanas dilakukan melalui proses pengeringan alami dengan cara menjemur daun nanas di bawah sinar matahari selama kurang lebih 2–3 minggu hingga kadar airnya berkurang secara signifikan. Selanjutnya, daun nanas yang telah kering dibakar pada suhu sekitar 650°C selama ± 2 jam menggunakan tungku pembakaran. (3) Hasil pembakaran tersebut kemudian disaring menggunakan saringan No. 200 (berukuran 0,075 mm) untuk memperoleh partikel abu yang sangat halus dan

seragam. (4) Setelah bahan siap, dilakukan pengujian karakteristik material untuk memastikan kesesuaian dengan standar teknis yang berlaku. Pengujian meliputi: analisis saringan agregat berdasarkan SNI 03-1968-1990, kadar air agregat (SNI 03-1971-1990), kadar lumpur agregat (SNI 03-1754-1990), bobot isi agregat (SNI 03-4804-1998), serta berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus mengacu pada ASTM C127 dan ASTM C128. Selain itu, dilakukan pula pengujian berat jenis semen dan abu daun nenas untuk mengetahui kontribusi masing-masing bahan terhadap mutu beton yang direncanakan. (5) Perancangan campuran beton dilakukan berdasarkan metode SNI 7656:2012 dengan mutu rencana sebesar $f'c = 25$ MPa. (6) Setelah campuran dirancang dan disiapkan, dilakukan uji slump untuk mengetahui workability beton segar. Beton segar kemudian dicetak ke dalam cetakan silinder berukuran $10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ untuk uji tekan dan ke dalam balok berukuran $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ untuk uji lentur. Setelah proses pengecoran, benda uji dibiarkan mengeras selama 24 jam, (7) kemudian direndam dalam air selama 28 hari sesuai metode curing standar. (8) Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari menggunakan mesin uji tekan sesuai SNI 1974:2011. (9) Sementara itu, pengujian kuat lentur dilaksanakan pada umur 28 hari menggunakan metode pembebanan satu titik di tengah bentang balok beton, sesuai dengan ketentuan SNI 4431:2011.

Jumlah benda uji yang digunakan dalam penelitian ini disusun berdasarkan variasi campuran abu dan serat daun nenas, serta umur pengujian. Detail distribusi benda uji untuk uji tekan dan uji lentur disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji Berdasarkan Variasi Campuran dan Umur Pengujian

Umur (Hari)	Benda uji			Total (Buah)
	Beton Kontrol	SN 1% + AN 1%	SN 1% + AN 3%	
Uji tekan (selinder)				
3	3	3	3	9
7	3	3	3	9
14	3	3	3	9
28	3	3	3	9
Jumlah				36
Uji Lentur (balok)				
	3	3	3	9
Jumlah				9

3. Hasil

Sebelum proses pencampuran beton dilakukan, dilakukan pengujian karakteristik fisik terhadap agregat kasar dan agregat halus guna memastikan kesesuaian material dengan standar teknis. Pengujian ini mencakup kadar air, kadar lumpur, bobot isi dalam kondisi lepas dan padat, berat jenis (bulk, SSD, apparent), serta daya serap dan abrasi, sesuai dengan standar SNI dan ASTM yang berlaku.

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Standar	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1.	Kadar Air	SNI 03- 1971-1990	0,2% - 2%	1,91%	Memenuhi
2.	Kadar Lumpur	SNI 03-1754-1990	0,2% - 1%	0,3%	Memenuhi
Bobot Isi					
3.	Kondisi Lepas	SNI 03- 4804-1998	1,2 - 1,9 gr/cm ³	1,36 gr/cm ³	Memenuhi
4.	Kondisi Padat	SNI 03- 4804-1998	1,2 - 1,9 gr/cm ³	1,43 gr/cm ³	Memenuhi
5.	Berat Jenis (Bulk)	ASTM C127	1,6 - 3,1 gr	2,60 gr	Memenuhi
6.	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)	ASTM C127	1,6 - 3,1 gr	2,65 gr	Memenuhi
7.	Berat Jenis Semu (Apparent)	ASTM C127	1,6 - 3,1 gr	2,74 gr	Memenuhi
8.	Penyerapan	ASTM C127	0,2% - 2%	1,89 gr	Memenuhi
9.	Abrasi		15 – 40 %	19,26 %	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 2, seluruh parameter uji terhadap agregat kasar menunjukkan hasil yang memenuhi persyaratan standar. Kadar air agregat kasar sebesar 1,91% masih dalam rentang yang diperbolehkan (0,2%–2%), sedangkan kadar lumpur tercatat sebesar 0,3%. Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) tercatat sebesar 2,65 g/cm³ dan penyerapan air sebesar 1,89%, yang mencerminkan kualitas agregat yang baik dan stabil. Nilai abrasi sebesar 19,26% juga masih berada dalam batas maksimum 40%, yang menandakan tingkat ketahanan aus agregat yang memadai untuk aplikasi struktural.

Sementara itu, hasil pengujian agregat halus disajikan pada Tabel 3. Kadar air agregat halus sebesar 3,45% dan kadar lumpur 2,04% masih dalam batas syarat standar. Berat jenis SSD agregat halus adalah 2,26 g/cm³ dengan tingkat penyerapan air sebesar 2,88%. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa agregat halus memiliki kualitas yang baik dan sesuai untuk digunakan dalam campuran beton.

Tabel 2. Hasil Uji Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Standar	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Kadar Air	SNI 03-1971-1990	0.5%-5%	3,45 %	memenuhi
2	Kadar Lumpur	SNI 03-4428-1997	0,2%-6%	2,04 %	memenuhi
3	Bobot Isi(Kondisi Lepas)	SNI 03-4804-1998	1,2-1,9 gr/cm ³	1,34 gram/cm ³	memenuhi
4	Bobot Isi (Kondisi Padat)	SNI 03-1969-1990	1,2-1,9 gr/cm ³	1,66 gram/cm ³	memenuhi
5	Berat Jenis (<i>bulk</i>)	SNI 03-1969-1990	1,6-3,1 gr/cm ³	2,20 gr/cm ³	memenuhi
6	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)	SNI 03-1969-1990	1,6-3,2 gr/cm ³	2,26 gr/cm ³	memenuhi
7	Berat Jenis Semu (<i>apparent</i>)	SNI 03-1969-1990	1,6-3,3 gr/cm ³	2,35 gr/cm ³	memenuhi
8	Penyerapan (<i>absorption</i>)	SNI 03-1969-1990	0,2%-5%	2,88 %	memenuhi

Rancangan Campuran Beton

1. Agregat Halus :

Berat jenis (SSD) agregat halus	: 2,26 gr/cm ³
Penyerapan air agregat halus	: 2,88%
Kadar air agregat halus	: 3,45%
Modulus kehalusan agregat halus	: 2,91%

2. Agregat Kasar

Berat jenis (SSD) agregat kasar	: 2,65 gr/cm ³
Penyerapan air agregat kasar	: 1,89%
Kadar air agregat kasar	: 1,91%

3. Perkiraan berat campuran untuk 1 m³ beton menjadi:

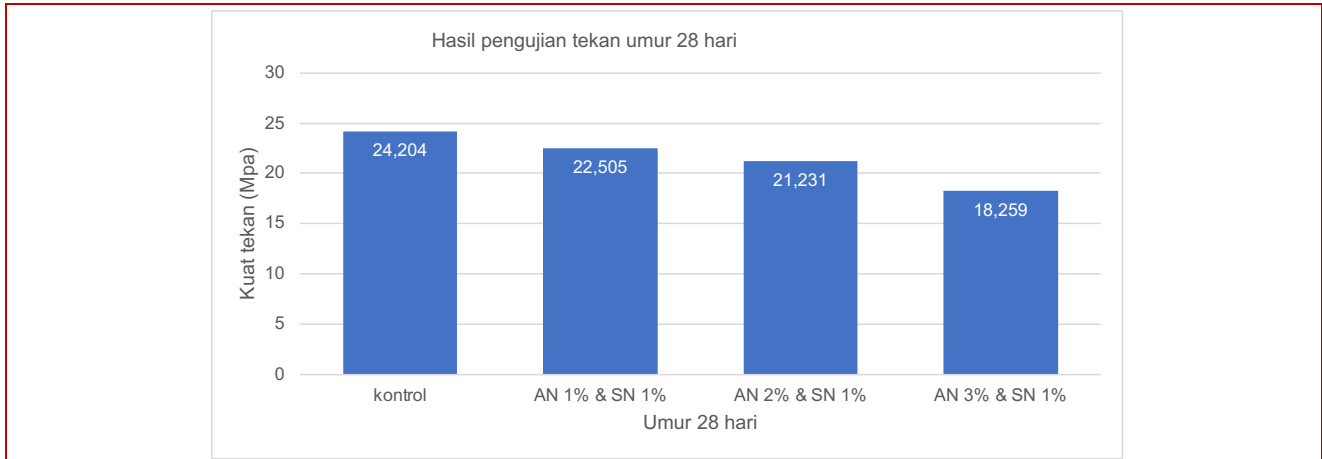
Air	: 336,066 kg/m ³
Semen	: 200,142 kg/m ³
Agregat halus	: 820,521 kg/m ³
Agregat kasar	: 1030,108 kg/m ³

Data karakteristik ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam perancangan campuran beton. Berdasarkan hasil pengujian, berat jenis SSD agregat kasar adalah 2,65 g/cm³ dengan penyerapan air 1,89%, sementara agregat halus memiliki berat jenis SSD 2,26 g/cm³ dan penyerapan 2,88%. Modulus kehalusan agregat halus tercatat sebesar 2,91%. Dengan mempertimbangkan data tersebut, serta menggunakan metode perancangan campuran berdasarkan SNI

7656:2012, diperoleh takaran campuran beton untuk 1 m³ beton sebagai berikut: air sebanyak 336,066 kg, semen 200,142 kg, agregat halus 820,521 kg, dan agregat kasar 1030,108 kg.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

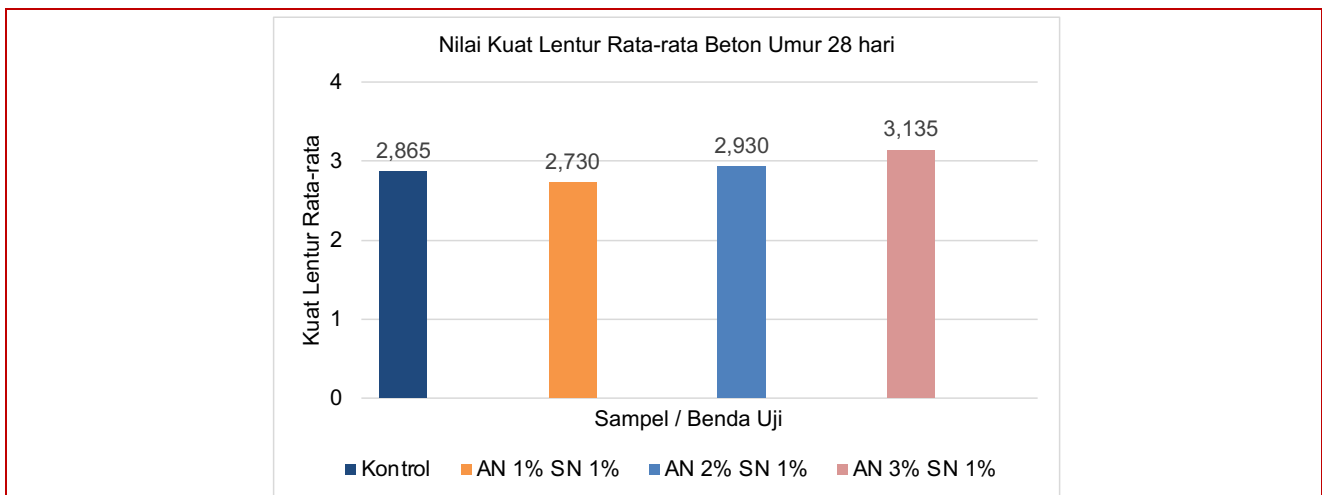
Pada Gambar 3 di bawah ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton kontrol dan beton dengan penambahan abu dan serat nanas yang dihasilkan setiap harinya mengalami peningkatan, dan pada umur 28 hari hasil uji kuat tekan sebesar 24,204 MPa. Beton dengan penambahan AN 1% + SN 1% didapat kuat tekan maksimum pada umur 28 hari sebesar 22,505 MPa, sedangkan kuat tekan beton dengan penambahan AN 2% + SN 1% pada umur 28 hari sebesar 21,231 Mpa dan kuat tekan beton dengan penambahan AN 3% + SN 1% tertinggi pada umur 28 hari sebesar 18,259 Mpa. yang artinya mengalami penurunan sebesar 8%, 6% dan 16%.



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan umur 28 hari

Berdasarkan data di atas diketahui bahwa kuat tekan beton normal tidak mencapai kuat rencana, hal ini bisa terjadi karena beberapa faktor yang dapat mengurangi nilai kuat tekan beton normal diantaranya rasio air semen, kualitas agregat, jumlah udara, proses pencampuran, proses pemadatan dan proses pengerasan. Dari kedua variasi yang digunakan nilai kuat tekan maksimum terjadi pada variasi AN 1% + SN 1% sedangkan nilai kuat tekan paling minimum terjadi pada variasi AN 3% + SN 1%, hal ini disebabkan karena beberapa faktor seperti proses pembakaran yang belum mencapai suhu untuk proses terbentuknya silika, dan juga kandungan-kandungan bahan organik dalam daun nanas.

Hasil Pengujian Kuat Lentur



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Kuat Lentur umur 28 hari

Pada gambar 5 dapat diketahui bahwa nilai kuat lentur untuk beton kontrol diperoleh sebesar 2,865 MPa, pada beton dengan variasi AN 1% + SN 1% mengalami penurunan dari nilai beton kontrol sebesar 2,730 MPa. Kemudian pada

penambahan 2% abu dan 1% serat mengalami peningkatan sebesar 2,930 MPa, dan pada penambahan 3% abu daun nanas dan 1% serat daun nanas mengalami peningkatan kuat lentur rata-rata sebesar 3,135 MPa dari nilai beton kontrol. Nilai kuat lentur tertinggi terdapat pada variasi campuran dengan tambahan 3% abu daun nanas dan 1% serat daun nanas.



Gambar 6. Letak bidang patah pada benda uji balok

Pada gambar 6 terlihat bidang patah untuk beton sampel dengan variasi 3% abu daun nanas dan 1% serat daun nanas terletak pada bidang 1/3 dari bentang. Pada pengujian kuat lentur beton, pola patahan yang terbentuk memberikan informasi penting terkait karakteristik mekanik material dan zona kegagalan. Pada sampel balok beton dengan variasi penambahan 3% abu daun nanas dan 1% serat daun nanas, ditemukan bahwa bidang patah terjadi pada sepertiga bentang dari panjang balok. Hal ini menunjukkan bahwa gaya maksimum bekerja pada daerah lentur murni yang terletak di antara tumpuan dan beban terpusat, sebagaimana disebutkan dalam SNI 4431:2011 (Badan Standardisasi Nasional, 2011).

Bidang keruntuhan berada dalam rentang zona pengaruh maksimum momen lentur (Suprobo & Haryanto, 2009). Penambahan serat dan abu daun nanas mempengaruhi perilaku retak dengan memperlambat propagasi retakan, tetapi tidak menggeser lokasi dominan retak dari daerah lentur murni (Handayani & Prasetyo, 2021). Oleh karena itu, nilai kuat lentur yang diperoleh dianggap mewakili kekuatan aktual beton terhadap lentur (Tjokrodinuljo, 2007).

4. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur yang telah dilakukan, terlihat bahwa kombinasi abu dan serat daun nanas memberikan pengaruh yang berbeda terhadap performa mekanik beton. Pada pengujian kuat tekan, nilai tertinggi diperoleh dari beton kontrol (tanpa bahan tambah) yaitu sebesar 24,204 MPa pada umur 28 hari. Sementara itu, penambahan abu daun nanas sebanyak 1% dan serat 1% (variasi AN 1% + SN 1%) menunjukkan penurunan nilai kuat tekan menjadi 22,505 MPa. Penurunan terus terjadi pada variasi AN 2% + SN 1% dengan nilai 21,231 MPa dan mencapai nilai terendah sebesar 18,259 MPa pada variasi AN 3% + SN 1%, yang berarti terjadi penurunan sebesar 16% dibandingkan beton kontrol. Penurunan kuat tekan ini diduga disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah kemungkinan kandungan bahan organik yang masih tersisa dalam abu daun nanas akibat proses pembakaran yang belum mencapai suhu optimal pembentukan silika aktif. Abu yang belum mengalami reaksi pozzolan secara sempurna dapat menjadi inklusi non-reaktif dalam matriks beton, sehingga menurunkan kekompakan mikrostruktur dan menghambat ikatan antara pasta semen dan agregat. Hal ini sejalan dengan temuan Fitriani et al. (2021) yang menyatakan bahwa efektivitas abu daun nanas dalam memperkuat beton sangat bergantung pada proses kalsinasi yang tepat.

Sebaliknya, hasil pengujian kuat lentur menunjukkan tren yang berlawanan. Nilai kuat lentur beton kontrol sebesar 2,865 MPa meningkat secara bertahap pada campuran dengan tambahan abu dan serat. Pada variasi AN 1% + SN 1%, nilai kuat lentur sedikit menurun menjadi 2,730 MPa, namun meningkat menjadi 2,930 MPa pada AN 2% + SN 1%, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 3,135 MPa pada AN 3% + SN 1%. Ini menunjukkan bahwa penambahan abu dan serat daun nanas justru efektif dalam memperbaiki kemampuan beton menahan beban lentur. Peningkatan ini dapat dijelaskan melalui peran serat daun nanas dalam menghambat perkembangan retak mikro dan memperkuat ketahanan tarik beton. Serat bertindak sebagai jembatan antar partikel beton, membantu mendistribusikan tegangan secara merata dan memperlambat propagasi retakan. Selain itu, abu daun nanas dengan kandungan silika dapat membantu mengisi pori-pori dan memperbaiki tekstur mikro beton, selama digunakan dalam proporsi yang tidak berlebihan. Hal ini diperkuat oleh penelitian Gerung (2012) dan Yanti et al. (2019) yang menunjukkan bahwa penambahan serat daun nanas dapat meningkatkan kekuatan lentur dan tarik beton.

Namun, penting dicatat bahwa meskipun kombinasi bahan tambah ini memberikan peningkatan kuat lentur, terdapat trade-off terhadap kuat tekan. Oleh karena itu, pemilihan komposisi bahan tambah harus disesuaikan dengan kebutuhan struktur. Untuk elemen struktural yang lebih banyak menerima beban lentur seperti pelat lantai, trotoar, atau panel fasad, campuran dengan 3% abu dan 1% serat daun nanas dapat dipertimbangkan. Sebaliknya, untuk kolom atau elemen tekan, penggunaannya perlu dibatasi atau dikombinasikan dengan bahan tambah lain yang lebih reaktif secara

pozzolan. Dengan demikian, hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa limbah organik seperti daun nanas dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai bahan tambah beton ramah lingkungan, asalkan penggunaannya dikendalikan secara proporsional dan disesuaikan dengan fungsi struktur.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan abu dan serat daun nanas memberikan pengaruh berbeda terhadap karakteristik mekanik beton. Secara umum, penambahan abu daun nanas sebesar 1%, 2%, hingga 3% yang dikombinasikan dengan 1% serat daun nanas cenderung menurunkan kuat tekan beton dibandingkan beton kontrol. Penurunan kuat tekan paling signifikan terjadi pada variasi 3% abu dan 1% serat, yaitu sebesar 16% dari nilai beton kontrol. Sebaliknya, pengaruh positif ditunjukkan pada aspek kuat lentur. Peningkatan tertinggi diperoleh pada campuran 3% abu dan 1% serat daun nanas, dengan nilai kuat lentur yang melebihi beton kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi bahan tambah tersebut efektif meningkatkan ketahanan lentur beton melalui peran serat dalam menghambat retak serta kontribusi abu sebagai filler mikro yang memperbaiki struktur matriks beton. Dengan demikian, pemanfaatan limbah daun nanas sebagai bahan tambah dalam beton berpotensi mendukung inovasi material ramah lingkungan. Namun, aplikasinya lebih direkomendasikan untuk struktur yang menekankan ketahanan lentur, seperti pelat, trotoar, atau panel arsitektural, daripada untuk elemen struktural yang dominan menahan beban tekan. Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian ini menyarankan evaluasi terhadap metode pengolahan abu yang lebih optimal (misalnya melalui aktivasi kimia atau variasi suhu pembakaran), serta eksplorasi kombinasi dengan bahan pozzolan lainnya guna menyeimbangkan kekuatan tekan dan lentur secara simultan.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Kristen Indonesia Toraja atas dukungan pendanaan dan fasilitas penelitian yang diberikan, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak di Laboratorium Teknik Sipil UKI Toraja yang telah membantu dalam proses persiapan bahan, pelaksanaan pengujian, dan analisis data.

Daftar Pustaka

- Anonim. (2012). *SNI 7665:2012 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 4431:2011 – Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Satu Titik Beban di Tengah*. Jakarta: BSN.
- Fitriani, R., Wahyuni, S., & Jufri, M. (2021). Pemanfaatan Limbah Daun Nanas dalam Beton. *Jurnal Teknologi Bahan*, 6(2), 45-52.
- Gerrung, L. M. (2012, July). Pengaruh Serat Daun Nanas Dengan Konsentrasi Serat 0,075% Dan Variasi Panjang Serat 0,5 cm, 1,0 cm, 1,5 cm Terhadap Kuat Tarik Beton Normal. *Jurnal Ilmiah MEDIA ENGINEERING*, II, 135-142.
- Handayani, E., & Prasetyo, E. (2021). Pemanfaatan limbah daun nanas sebagai bahan tambah dalam beton. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 5(1), 23-30.
- Murdock, L. J., Brook, K. M., & Hindarko, S. (1999). *Bahan Dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. Fifth Edition. Pearson Education Limited.
- Nugraha, P., & Antoni. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: ANDI.
- Palupi, N. (2019, September). Pemanfaatan Limbah Daun Nanas (Ananas Comosus) Sebagai Katalis Heterogen. *Universitas Lambung Mangkurat*, 1.
- SNI 7656:2012. (2012). *Tata Cara Perancangan Campuran Beton Normal*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1974:2011. *Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder*.

- SNI 4431:2011. Pengujian Kuat Lentur Balok Beton.
- SNI 7656:2012. Tata Cara Pencampuran Beton.
- Suprobo, P., & Haryanto, A. (2009). *Beton Mutu Tinggi dan Aplikasinya*. Surabaya: ITS Press.
- Suryani, A., Dewi, S. H., & Harmiati. (2018, Oktober). Kolerasi Kuat Lentur Beton Dan Kuat Tekan Beton. *Jurnal Saintis*, XVIII, 43-54.
- Tjokrodinuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Nafiri.
- Triwulan, D., & Arifianto, M. I. (2020). Pemanfaatan serat alam dalam meningkatkan kinerja beton. *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, 8(2), 45-52.
- Untu, G. E., & Widah, E. R. (2015, Oktober). Pengujian Kuat Tarik Belah Dengan Variasi Kuat Tekan Beton. *Sipil Statik*, III, 703-708.
- Wardani, L. A., & Wibowo, A. (2018). Studi pemanfaatan limbah pertanian untuk beton ramah lingkungan. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 22(3), 175–183.
- Yanti, G., Zainuri, & Megasari, S. W. (2019, Oktober). Kajian Pemanfaatan Limbah Serat Daun Nanas Pada Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton. *Jurnal Teknik sipil*, V, 79-86.
- Yanti, G., Zainuri, & Megasari, S. W. (2019). Peningkatan Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Dengan Variasi Penambahan Serat Daun Nanas. *Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*, 71-76.