

PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG AKIBAT TEGANGAN TARIK MENGGUNAKAN SERAT SABUT KELAPA

Diana Permatasari¹, Yusuf Amran^{*}, Chica Oktavia²

Corresponding Author Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro^{*}

Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro^{1,2}

E-mail : dianapermatasari995@gmail.com¹, yusufamran307@gmail.com^{*},

Chicaoktavia04@gmail.com²

ABSTRAK

This study aims to examine the effect of horizontally arranged coconut coir fibers with varying spacing on the flexural tensile strength of concrete. The research was conducted experimentally in a laboratory using a planned concrete strength of f_s 45 MPa. The test specimens were concrete beams measuring $15 \times 15 \times 60$ cm with a total of 9 specimens, consisting of normal concrete, concrete with coconut coir fibers spaced at 2.5 cm, and concrete with coconut coir fibers spaced at 5 cm. Flexural tensile strength testing was carried out at the age of 28 days using the two-point loading method in accordance with SNI 4431:2011. The results indicate that the addition of horizontally arranged coconut coir fibers significantly increases the flexural tensile strength of concrete. Concrete with a fiber spacing of 2.5 cm showed an increase in flexural tensile strength of 47.6% compared to normal concrete, while concrete with a fiber spacing of 5 cm exhibited an increase of 13.9%. Closer fiber spacing provides a more optimal improvement in flexural tensile strength due to the ability of the fibers to restrain and distribute tensile stresses within the concrete. This study demonstrates that coconut coir fiber has strong potential as an environmentally friendly and sustainable concrete admixture.

Kata Kunci : *Fiber-Reinforced Concrete, Coconut Coir Fiber, Horizontal Fiber Arrangement*

PENDAHULUAN

Permasalahan yang sering timbul pada saat pembuatan dan penggunaan beton adalah munculnya gejala keretakan atau kerusakan yang disebabkan oleh adanya tegangan tarik. Salah satu cara untuk mengurangi keretakan dan potensi kerusakan beton tersebut adalah dengan penambahan atau penggunaan serat pada beton tersebut, yaitu pada campuran beton basah dengan memperhatikan jumlah serat, penempatan serat dan juga jarak antar serat. sehingga kerusakan yang berpotensi terjadi akibat tegangan tarik pada daerah tarik beton akan ditahan oleh

serat-serat tambahan tersebut. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan serat sabut kelapa ke dalam beton dapat meningkatkan sifat mekanik seperti kuat tarik dan tahan retak (Rajan & Joseph, 2015). Namun, sebagian besar studi tersebut menggunakan distribusi serat yang acak dalam campuran beton, yang berpotensi kurang optimal dalam memanfaatkan kekuatan serat (Ramli et al., 2017).

Pada penelitian ini, distribusi serat dalam campuran beton menjadi faktor penting yang mempengaruhi kuat tarik lentur pada beton. Penataan serat secara horizontal dengan jarak tertentu

diharapkan peneliti dapat meningkatkan kuat tarik lentur yang signifikan dan mengurangi retak pada beton. Penataan serat secara horizontal diharapkan mampu mendistribusikan beban tarik secara merata sehingga dapat meningkatkan kuat tarik lentur beton tersebut. Oleh karena itu, diperlukan studi eksperimental yang mendalam mengenai pengaruh distribusi horizontal serat terhadap kuat tarik lentur beton. Salah satu serat yang digunakan peneliti pada penelitian ini adalah serat dari sabut kelapa. seperti yang kita ketahui di Indonesia banyak sekali pohon kelapa dan pada bidang pertanian sebagian besar sabut kelapa tidak digunakan secara maksimal. Banyak kita jumpai sabut kelapa hanya ditumpuk begitu saja setelah diambil isi dari buah kelapa tersebut. Serat sabut kelapa memiliki bentuk fisik seperti benang berwarna coklat, dan sifatnya yang tidak mudah putus dan kaku, diharapkan mampu memberikan kekuatan tarik pada balok beton. Oleh karena itu pada penelitian ini peneliti mencoba memanfaatkan secara maksimal serat sabut kelapa sebagai bahan tambah maupun sebagai bahan substitusi pada balok beton.

Kandungan kimia pada serat sabut kelapa yaitu *lignin* (40-45%), *hemiselulosa* (0,15-0,25%), *selulosa* (32-43%), dan *pektin* (3-4%), Kandungan *selulosa* yang cukup tinggi membuat serat sabut kelapa memiliki sifat mekanik yang baik, (Dodi dan Syarif, 2022:2). Serabut kelapa mempunyai kemampuan kuat tarik yang baik, sehingga penggunaan bahan campuran serabut kelapa diharapkan dapat memberikan kelebihan dari masing-masing bahan, sehingga menghasilkan serat yang memiliki mutu yang baik. Serabut kelapa memiliki sifat ulet, dapat menyerap air, dan mempunyai tingkat keawetan yang baik jika tidak berhubungan langsung dengan cuaca sehingga bahan tersebut sangat baik digunakan sebagai bahan campuran pembuatan semen serat. Apabila serat semen tidak akan terlalu

pegas dan akan mempunyai kelenturan serta tidak akan berjatuhan.(Eben, dkk., 2022:2).

Peningkatan kekuatan tarik lentur pada beton sangatlah penting, terutama untuk penggunaan pada jalan rigid pavement yang membutuhkan daya tahan tinggi untuk menahan beban yang tinggi. Penggunaan serat sabut kelapa ke dalam campuran beton basah diharapkan dapat mendistribusikan beban tarik atau gaya tarik secara merata, sehingga kuat tarik pada beton akan meningkat. Dalam penelitian ini, penting untuk mengkaji bagaimana serat sabut kelapa mempengaruhi kuat tarik beton, serta mekanisme apa yang terjadi ketika serat tersebut dijadikan bahan tambah.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Secara Umum

Menurut SNI 2847:2019, beton adalah campuran dari semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture) yang membentuk massa padat. Beton merupakan material yang umum digunakan dalam konstruksi bangunan, terutama untuk struktur bangunan.

Menurut SNI 2847:2012, Komposisi material beton didapatkan dari hasil analisis mix design, dicampur merata hingga homogen setelah itu dituang ke dalam pencetak. Hasil adukan beton tersebut jika didiamkan akan menjadi keras akibat reaksi kimia antara semen dengan air atau dapat dikatakan bahwa adukan beton akan bertambah keras seiring dengan waktu (umur beton). Kualitas mutu beton bergantung pada bahan dasar penyusun beton, bahan tambah, pelaksanaan pada saat dibuat dan alat-alat yang dipakai saat pembuatan adukan beton. Kualitas mutu beton bisa dikatakan baik kalau bahan yang digunakan baik, cara mengaduk yang baik (homogen), proses pelaksanaan yang dilakukan baik, alat-alat yang dipakai juga

baik dan tingkat porositasnya kecil. Penggunaan material beton semakin meluas di seluruh dunia sebagai bahan utama berbagai konstruksi, seperti jembatan, pelabuhan, gedung, jalan raya dan irigasi. Material ini memiliki kekurangan dan kelebihan.

Beton Normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat dengan berat jenis berkisar antara 2,4–2,7 g/cm³. Beton ini umumnya memiliki kuat tekan pada umur 28 hari dalam rentang 17–40 MPa. Proporsi campuran beton normal disusun berdasarkan metode *absolute volume*, yang mengacu pada kebutuhan pasta semen untuk melapisi agregat secara optimum. Mekanisme perkerasan terjadi akibat reaksi hidrasi senyawa-senyawa semen (C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF) yang menghasilkan gel C–S–H (*calcium silicate hydrate*) sebagai komponen utama penyumbang kekuatan. (SNI 03-2834-2000).

Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang dipadukan dengan tulangan baja untuk menahan tegangan tarik. Beton hanya memiliki kapasitas tarik sekitar 8–12% dari kapasitas tekan, sehingga tulangan baja diperlukan untuk menahan gaya tarik dan momen lentur. Interaksi beton dan baja didukung oleh sifat *bond* yang kuat akibat gaya adhesi, gesekan mekanis, dan interlocking rusuk baja. Perilaku beton bertulang dianalisis berdasarkan teori regangan kompatibel, keruntuhan lentur, geser, torsi, dan interaksi aksial-momen sesuai ketentuan SNI 2847:2019.

Beton Prategang

Beton prategang merupakan beton yang diberi tegangan awal melalui tendon bertegangan tinggi (f_y 1860 MPa) untuk menghasilkan gaya tekan internal sebelum beton menerima beban luar. Teknologi ini meningkatkan kapasitas lentur efektif,

mengontrol lendutan, serta mengurangi retak. Proses prategang dibagi menjadi:

- a. Prategang awal (*pre-tensioned*) – tendon ditarik sebelum beton dicor.
- b. Pasca-tarik (*post-tensioned*) tendon ditarik setelah beton mengeras.

Analisisnya melibatkan keseimbangan gaya pratarik, kehilangan prategang (*prestress losses*), dan redaman akibat relaksasi tendon.

Beton Serat (*Fiber Reinforced Concrete*)

Beton serat mengandung tambahan serat (baja, polipropilena, karbon, basalt) dengan tujuan meningkatkan ketangguhan (*toughness*), daktilitas, dan ketahanan retak. Serat bekerja menghambat propagasi retak mikro (*microcrack arresting*). Dengan demikian, beton ini memiliki *post-cracking strength* lebih baik dibanding beton konvensional.

Serat Sabut Kelapa

Serat serabut kelapa merupakan serat alami yang diperoleh dari lapisan luar buah kelapa, yang memiliki sifat mekanik cukup baik dan ketahanan terhadap lingkungan yang cukup tinggi. Menurut penelitian dari (Putra dan Hidayat, 2021), kandungan dalam serat sabut kelapa terdiri dari *selulosa*, *hemiselulosa*, dan *lignin* yang memberikan kekuatan tarik dan fleksibilitas yang cukup tinggi, sehingga serat ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan penguat komposit alami. Menurut Suhardiyono (1999), serabut kelapa adalah bahan berserat dengan ketebalan sekitar 5 cm, merupakan bagian terluar dari buah kelapa.

Buah kelapa sendiri terdiri atas serabut 35%, tempurung 12%, daging buah 28%, dan air buah 25%. Adapun serabut kelapa terdiri atas 78% dinding sel dan 22,2% rongga. Salah satu cara mendapatkan serat dari serabut kelapa yaitu dengan ekstraksi menggunakan mesin. Serat yang dapat diekstraksi diperoleh 40% serabut berbulu dan 60% serat matras. Dari 100 gram serabut yang

diabstrasikan diperoleh sekam 70 bagian, serat matras 18 bagian, dan serat berbulu 12 bagian. Dari segi teknis serabut kelapa memiliki sifat-sifat yang menguntungkan, antara lain mempunyai panjang 15-30 cm, tahan terhadap serangan mikroorganisme, pelapukan dan pekerjaan mekanis (gosokan dan pukulan) dan lebih ringan dari serat lain.

Serabut kelapa mengandung unsur kalium sebesar 10,25%, sehingga dapat menjadi alternatif sumber kalium organik dari alam. Kalium pada tanaman kelapa akan berfungsi membentuk batang yang lebih kuat, memperkuat perakaran sehingga tanaman lebih tahan roboh, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit serta dapat membuat serat serabut kelapa menjadi lebih berisi dan padat. Serabut kelapa yang diambil dari penutup luar yang berserat dari buah kelapa dan merupakan tanaman asli daerah tropis. Serabut juga dianggap sebagai serat biji, meskipun penampilannya serupa dengan serat dari kulit pohon dengan selulosa (sekitas 26%), lignin (29,4%), pektin dan senyawa terkait (36,6%), serta air (8%). Dengan kandungan lignin yang lebih tinggi membuat serabut kelapa lebih keras dan kaku. (Dodi dan Syarif, 2022:2)

Dalam konstruksi beton, serat kelapa dapat digunakan sebagai tulangan alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis. Penggunaan serat kelapa sebagai tulangan pada balok beton dapat meningkatkan kemampuan tahan lentur dan mengurangi retak pada struktur beton. Hal ini dikarenakan serat sabut kelapa mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata dan menahan pertumbuhan retak pada beton (Sari dan Setiawan, 2023).

Selain itu, serat sabut kelapa juga memiliki keunggulan dalam hal daya tahan terhadap korosi dibandingkan dengan tulangan baja konvensional, sehingga sangat cocok digunakan dalam kondisi lingkungan yang agresif. Dengan demikian, serat serabut kelapa merupakan

bahan alternatif yang potensial sebagai tulangan pada balok beton, baik dari segi mekanik maupun keberlanjutan lingkungan.

Sabut kelapa merupakan limbah pertanian yang berlimpah, terutama di negara-negara tropis. Pemanfaatan sabut kelapa sebagai bahan penguat dalam beton dapat membantu mengurangi penumpukan limbah organik dan memberikan nilai tambah pada produk tersebut. penelitian mengenai penambahan serat sabut kelapa dalam beton bertujuan untuk mengeksplorasi manfaat dari penggunaan bahan alami ini, serta untuk menemukan solusi yang dapat meningkatkan kualitas beton sekaligus berkontribusi pada pelestarian lingkungan.



Gambar 1. Serat Sabut kelapa

Kuat Tarik Lentur Balok Beton

Kuat tarik lentur struktur balok beton merupakan kemampuan struktur balok beton dalam menerima dua perletakan gaya yang tegak lurus dengan benda uji dan pembebanan tersebut berada sejauh panjang dibagi tiga.

Keruntuhan yang terjadi akibat adanya gaya yang diberikan maka akan dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa). Pengujian kuat tarik lentur menggunakan acuan SNI 4431:2011. Menurut SNI 4431:2011 perhitungan struktur balok yang mengalami patah dibagian tengah dapat dilihat pada Persamaan ;

$$\sigma = \frac{pl}{bh^2}$$

Adapun perhitungan struktur balok yang mengalami patah diluar sisi tengah balok menurut SNI 4431:2011 dapat dilihat

$$\sigma = \frac{pa}{bh^2}$$

Keterangan:

- σ = Nilai Kuat Lentur (Mpa)
- P = Beban Maksimum (N)
- L = Panjang Bentang Balok (cm)
- A = Jarak Tumpuan Luar Dekat Patahan Dan Jarak Tampang Melintang Rata – Rata (cm)
- b = Lebar Balok (cm)
- h = Tinggi Balok (cm)

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah pelaksanaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Desain Penelitian

Desain penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh penggunaan serabut kelapa terhadap sifat mekanik dan karakteristik beton. Beton dengan serabut kelapa dipilih sebagai objek penelitian karena potensi serabut kelapa sebagai bahan tambahan yang ramah lingkungan dan dapat meningkatkan kekuatan beton, serta memperbaiki beberapa sifat fisiknya seperti ketahanan terhadap retak dan ketahanan terhadap beban tarik. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium dengan desain penelitian kuantitatif eksperimen. Dalam penelitian ini, dilakukan pencampuran serabut

kelapa pada komposisi beton dengan berbagai variasi kadar, untuk kemudian dianalisis pengaruhnya terhadap sifat beton, seperti kekuatan tekan, daya serap air, dan ketahanan terhadap retak. Metode penelitian memberikan gambaran rancangan penelitian yang meliputi :

1. Prosedur dan langkah-langkah yang harus ditempuh
2. Waktu penelitian
3. Sumber data
4. Dengan langkah apa data-data tersebut diperoleh dan selanjutnya diolah dan dianalisis.

Tahapan Penelitian

Teknik Sampling/ Populasi dan Sampel

Pada penelitian ini populasi adalah seluruh campuran beton (beton normal dan beton dengan berbagai variasi serat sabut kelapa), sedangkan sampel adalah setiap benda uji individual yang dibuat dari campuran tersebut untuk diuji kuat tarik lentur nya, misalnya balok 15x15x60 cm. Untuk sampel balok beton yang akan di buat oleh peneliti adalah sebagai berikut:

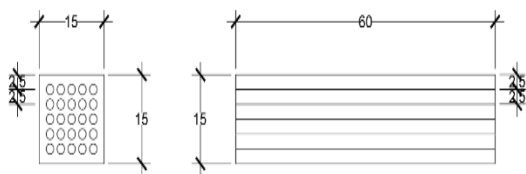
1. Beton normal (tiga spesimen)
2. Beton dengan tambahan serat dengan jarak 5 cm (9 serat) dengan jumlah 3 spesimen
3. Beton dengan tambahan serat dengan jarak 2,5 cm (25 serat) dengan jumlah 3 spesimen.

Tahapan Pelaksanaan

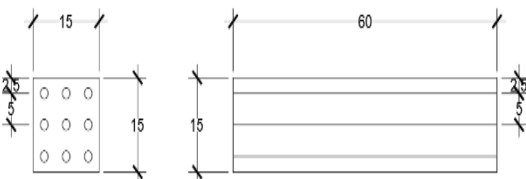
Setelah metode pengambilan sampel diterapkan, maka langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengolah data yang diperoleh sehingga data yang diperoleh akurat. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis sifat mekanik beton memerlukan pemahaman tentang berbagai data yang saling terkait. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi secara mendetail untuk memastikan bahwa semua data yang digunakan sangat efektif dan efisien untuk digunakan sebagai

masukannya untuk analisis selanjutnya. Beberapa tahapan penelitian sebagai berikut :

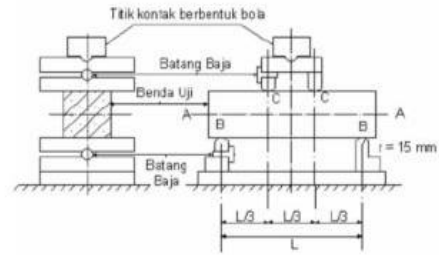
- a. Persiapan
- b. Pemeriksaan bahan pembentuk beton
- c. Pengujian material
- d. *Job mix design* (perencanaan campuran beton) berdasarkan (SNI_7656, 2012).
- e. *Trial*.
- f. Pengujian *slump test* beton (SNI_1972, 2008).
- g. Pengolahan serabut kelapa.
- h. Pembuatan benda uji beton.
- i. Perawatan beton dengan cara perendaman dalam air.
- j. Pengujian kuat tarik lentur balok beton pada umur 28 hari (SNI 4431;2011).
- j. Analisis data hasil uji karakteristik bahan penyusun beton dan kuat tarik lentur benda uji balok beton.



Gambar 2. Penempatan serat sabut kelapa dengan jarak 2,5 cm.



Gambar 3. Penempatan serat sabut kelapa dengan jarak 5 cm



Gambar 4. Alat Uji Kuat Tarik Beton *Flexural Testing Machine* (SNI 4431;2011)

Keterangan gambar:

- A-A = sumbu memanjang.
- B = titik-titik perletakan.
- C = titik pembebanan.
- Jarak C-C = 20 cm
- Jarak titik A ke B = 7,5 cm
- Jarak titik A ke C = 7,5 cm
- Jarak titik perletakan L = 45 cm
- Panjang sampel balok beton = 60 cm

HASIL PENELITIAN

Kuat Tarik Serat Sabut Kelapa

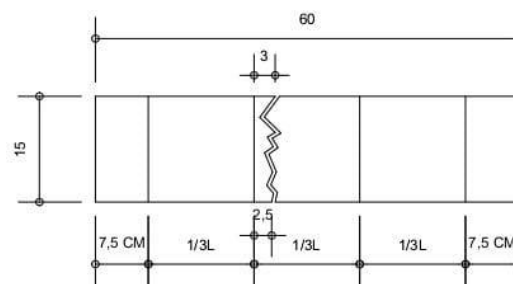
Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik serat sabut kelapa, diperoleh nilai tegangan leleh (Y_s) rata-rata sebesar 47,61 N/mm² dan kuat tarik maksimum (T_s) rata-rata sebesar 50,93 N/mm², dengan regangan rata-rata sebesar 17,22 %. Rasio antara kuat tarik maksimum terhadap kuat leleh (T_s/Y_s) berada pada kisaran 1,07% yang menunjukkan bahwa serat sabut kelapa memiliki kemampuan deformasi plastis sebelum mengalami kerusakan. Nilai regangan yang relatif besar mengindikasikan bahwa serat sabut kelapa bersifat cukup ulet dan mampu menahan deformasi tarik yang signifikan sebelum putus. Karakteristik mekanik ini menunjukkan bahwa serat sabut kelapa memiliki potensi untuk digunakan sebagai material alternatif penguat, khususnya dalam aplikasi beton berserat, karena mampu memberikan kontribusi terhadap peningkatan daktilitas dan ketahanan terhadap retak awal.

Analisis Pola Keretakan Balok Beton

Berdasarkan hasil pengujian kuat Tarik lentur dengan sistem dua titik pembebanan, pola keretakan terbentuk pada bentang $1/3 L$ di bagian tengah balok. Retak awal teramati muncul pada serat bawah balok dalam bentuk retak halus vertikal yang kemudian berkembang seiring peningkatan beban. Retakan tersebut meluas ke arah atas dan membesar hingga menjadi retak dominan. Pola retak yang terjadi seluruhnya bersifat retak lentur, ditandai dengan arah retakan yang hampir tegak lurus terhadap sumbu balok serta tidak ditemukannya retak diagonal yang menunjukkan retak geser. Retak dominan muncul di antara dua titik pembebanan, sesuai dengan lokasi momen lentur maksimum yang bersifat konstan. Selama penelitian, retakan berkembang secara simetris dan menunjukkan peningkatan lebar retak secara bertahap hingga balok mengalami keruntuhan lentur. Hasil pengamatan tersebut menunjukkan bahwa sistem pembebanan $L/3$ menghasilkan pola retak yang konsisten dengan teori perilaku lentur pada balok beton.

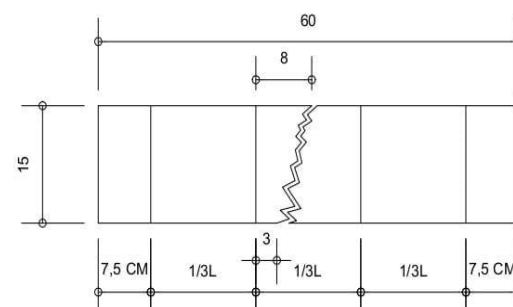
Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok beton tanpa serat cenderung mengalami keruntuhan yang lebih getas, ditandai dengan munculnya satu retak dominan yang langsung berkembang secara cepat hingga menyebabkan kegagalan struktur. Sebaliknya, pada balok yang menggunakan serat sabut kelapa, retakan yang terbentuk lebih banyak namun berukuran lebih kecil dan terdistribusi merata sepanjang bentang $1/3 L$. Serat mampu menahan penyebaran retak dengan mengikat bagian retak sehingga balok tidak langsung patah secara tiba-tiba. Hal ini menyebabkan balok berserat menunjukkan perilaku yang lebih daktail, dengan peningkatan kemampuan menahan beban setelah retak awal terjadi, dibandingkan dengan balok beton normal yang cenderung langsung kehilangan kapasitas saat retak utama berkembang.

e-ISSN ; 2548-6209
p-ISSN ; 2089-2098



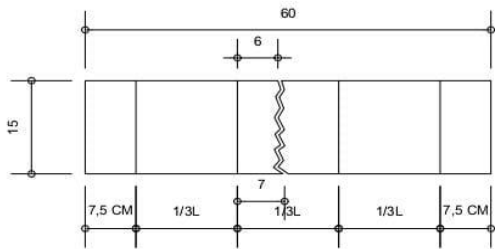
Gambar 5. balok beton normal I setelah di uji kuat tarik lentur.

Pada balok beton normal tanpa tulangan yang diuji kuat tarik lentur dengan dua tumpuan, retak pertama muncul sekitar 2,5 cm dari garis batas $1/3$ panjang balok, menandakan tegangan tarik beton di zona momen maksimum telah melampaui kuat tariknya, kemudian retak menjalar ke atas hingga sekitar 3 cm dari garis batas $1/3 L$ tersebut, menunjukkan batas propagasi retak sementara beton di bagian atas masih menahan tekan, pola keretakan yang terbentuk berupa retak vertikal murni di daerah momen maksimum, dan karena tidak ada tulangan, tidak ada mekanisme redistribusi tegangan sehingga retak berkembang cepat hingga menyebabkan patah total secara tiba-tiba (*brittle failure*), sehingga hubungan antara titik retak dan pola keretakan menunjukkan bahwa retak bawah menandai inisiasi kegagalan tarik, retak atas menunjukkan propagasi terbatas, dan pola vertikal menegaskan bahwa kegagalan dikontrol oleh lentur murni beton getas.



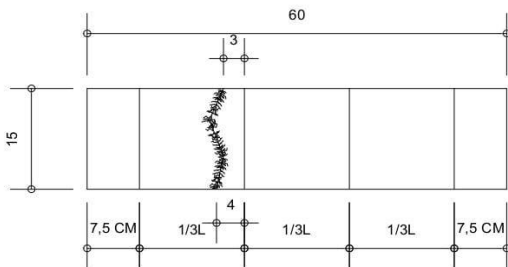
Gambar6. Balok beton normal II setelah di uji kuat tarik lentur.

Retak yang muncul di bagian bawah 3 cm dari batas $1/3 L$ menunjukkan lokasi tarik maksimum akibat momen lentur di dekat zona beban, sedangkan retak di bagian atas 8 cm dari batas $1/3 L$ mengindikasikan pengaruh momen geser atau tekanan lokal, sehingga pola retak vertikal pada bawah dan retak atas yang lebih jauh dari titik beban mencerminkan distribusi momen lentur dan geser sepanjang balok, konsisten dengan sifat beton yang kuat tekan tetapi lemah tarik.



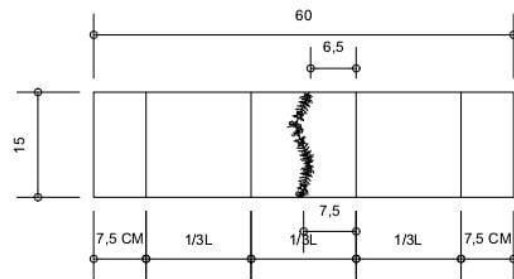
Gambar 7. Balok beton normal III setelah di uji kuat tarik lentur.

Balok beton mengalami momen lentur yang menimbulkan tegangan tarik di bagian bawah dan tekan di bagian atas, sehingga retak muncul ketika tegangan tarik beton melebihi kekuatannya, retak atas pada 6 cm dari batas $1/3 L$ menandakan adanya momen negatif lokal di dekat tumpuan yang menghasilkan tarik pada bagian atas, sedangkan retak bawah pada 7 cm dari batas $1/3 L$ menunjukkan dominasi momen positif di bentang tengah yang menimbulkan tarik pada bagian bawah. Titik retak membentuk pola vertikal, sehingga pola keretakan balok mencerminkan keseimbangan internal antara tegangan tarik dan tekan sesuai mekanika balok beton.



Gambar 8. Balok beton dengan tambahan serat sabut kelapa jarak 5 cm setelah di uji kuat tarik lentur.

Pada balok beton yang diberi tambahan serat sabut kelapa dengan jarak susunan horizontal 5 cm, retak awal teramati muncul pada bagian bawah balok dengan posisi sekitar 4 cm dari batas daerah $1/3L$, sedangkan ujung retaknya di bagian atas terletak pada jarak sekitar 3 cm dari batas yang sama. Posisi retak yang tidak berada tepat pada garis tengah $1/3L$ menunjukkan bahwa distribusi tegangan tarik dan momen maksimum pada balok dipengaruhi oleh keberadaan serat yang mengubah jalur propagasi retak. Serat sabut kelapa bertindak sebagai elemen pengikat yang menghambat pergerakan retak, sehingga retak tidak berkembang secara lurus vertikal tetapi mengalami penyimpangan jalur saat melewati area serat, menghasilkan pola retakan bergelombang atau zig-zag. Perbedaan jarak antara titik awal retak di bagian bawah (4 cm) dan titik akhir retak di bagian atas (3 cm) menunjukkan bahwa serat berhasil menunda dan membelokkan pertumbuhan retak, sehingga retakan menjadi lebih panjang tetapi tidak cepat melebar. Hal ini menggambarkan mekanisme penyerapan energi oleh serat melalui proses *bridging* dan *pull-out* yang membuat balok berserat menjadi lebih daktail dan lebih tahan terhadap pembebanan lentur dibandingkan balok beton normal yang retaknya tegak lurus dan langsung menuju kegagalan getas.



Gambar 9. Balok beton dengan tambahan serat sabut kelapa jarak 2,5 cm setelah di uji kuat tarik lentur.

Dengan kondisi retak awal di bagian bawah 7,5 cm dari batas 1/3 L dan berakhir di bagian atas 6,5 cm dari batas 1/3 L, pola retakan yang terbentuk adalah retak diagonal lentur–geser. Retak ini tidak berbentuk lurus vertikal seperti retak lentur murni, melainkan membentuk garis miring dari bawah ke atas akibat adanya serat yang menahan pembukaan retak dan mengubah arah propagasinya. Serat memperlambat retak vertikal sehingga jalur retak bergeser mengikuti lintasan tegangan geser-tarik, menghasilkan pola retak diagonal terkontrol.

Hasil Uji Kuat Tarik Lentur Umur Balok Beton 28 Hari

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur beton pada variasi jumlah serat, terlihat bahwa peningkatan jumlah serat memberikan pengaruh positif terhadap nilai kuat lentur beton. Beton tanpa normal menunjukkan kuat lentur berkisar antara 19,979–25,806 MPa, sedangkan pada beton dengan tambahan serat dengan jarak 5 cm kuat lentur meningkat dan berada pada kisaran 24,974–26,865 MPa. Peningkatan yang lebih signifikan terjadi pada beton dengan tambahan serat dengan jarak 2,5 cm, di mana kuat lentur mencapai nilai tertinggi pada kisaran 32,000–34,245 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan serat mampu meningkatkan kemampuan beton dalam menahan tegangan lentur, karena serat berperan sebagai penahan retak (*crack bridging*) yang menunda propagasi retak dan meningkatkan daktilitas beton. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah serat yang ditambahkan, semakin besar pula kuat lentur beton yang dihasilkan dalam batas variasi yang diteliti.

Analisis Komparasi

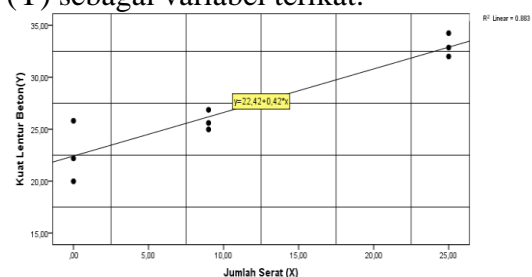
Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur beton pada variasi jarak serat, terlihat bahwa peningkatan jarak serat memberikan pengaruh positif terhadap nilai kuat tarik lentur beton. Beton normal

menunjukkan kuat lentur berkisar antara 19,979–25,806 MPa, sedangkan pada beton dengan jarak 5 cm kuat tarik lentur meningkat berada pada kisaran 24,974–26,865 MPa. Peningkatan yang lebih signifikan terjadi pada beton dengan jarak serat 2,5 cm, di mana kuat lentur mencapai nilai tertinggi pada kisaran 32,000–34,245 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan serat mampu meningkatkan kemampuan beton dalam menahan tegangan lentur, karena serat berperan sebagai penahan retak (*crack bridging*) yang menunda propagasi retak dan meningkatkan daktilitas beton. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah serat yang ditambahkan, semakin besar pula kuat lentur beton yang dihasilkan dalam batas variasi yang diteliti.

Analisis Regresi

Metode analisis yang akan digunakan adalah metode analisis regresi menggunakan Software IBM SPSS Statistics versi 24. Analisis regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y) dalam bentuk fungsi matematis. Dalam penelitian ini analisis regresi yang digunakan adalah analisis regresi linear sederhana (*Simple regression*). Pengolahan data yang dilakukan adalah berikut ini:

Banyaknya serat sabut kelapa sebagai variabel bebas (X) dan Kuat Lentur beton (Y) sebagai variabel terikat.



Gambar 10. Hasil Regresi Antara Jumlah Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Lentur Beton.

Hasil analisis regresi linear sederhana menggunakan Software IBM

SPSS Statistics versi 24 ditunjukkan pada Gambar 20 dapat dilihat bahwa nilai positif pada koefisien regresi. Artinya angka kenaikan variabel terikat (Kuat Tarik Beton) yang didasarkan pada variabel bebas (banyaknya serat sabut kelapa). Artinya semakin banyak serat sabut kelapa yang ditambahkan maka akan menyebabkan kenaikan pada nilai kuat lentur. Selanjutnya diperoleh hasil model linier $y = 22,42 + 0,42x$ dan Koefisien korelasi (r) yang didapat adalah 0,940. Indikasi itu menunjukkan hubungan antara banyaknya serat sabut kelapa yang ditambahkan terhadap kuat lentur beton cukup kuat. Karena nilainya terletak antara 0,90 – 1,00. Koefisien determinasinya adalah $R^2 = 0,883$ atau 88,30%. Mengindikasikan bahwa Nilai variabel terikat (nilai kuat lentur beton) dipengaruhi oleh 88,30% oleh nilai variabel bebas (serat sabut kelapa) dan 11,70% ditentukan oleh faktor lain.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diambil simpulan penambahan serat sabut kelapa yang disusun secara horizontal dengan jarak 2,5 cm dan 5 cm dapat meningkatkan kuat tarik lentur beton secara signifikan. Dari hasil pengujian kuat lentur beton pada beton normal dan beton dengan tambahan serat sabut kelapa secara horizontal dengan variasi jarak pada umur 28 hari didapatkan hasil dengan nilai kuat tarik lentur tertinggi yaitu beton dengan penempatan serat horizontal dengan jarak 2,5 cm yaitu rata-rata sebesar 33,034 MPa meningkat sebanyak 47,6% dari beton normal dengan nilai kuat tarik lentur rata-rata sebesar 22,658 MPa. Sedangkan beton dengan tambahan serat secara horizontal dengan jarak 5 cm, kuat tarik lenturnya rata-rata sebesar 25,812 MPa meningkat sebanyak 13,9 % dari beton normal. Dari hasil semua pengujian kuat lentur beton menunjukkan bahwa tidak ada hasil yang mencapai mutu beton rencana

yaitu f_s 45 Mpa meskipun begitu pada pengujian kuat lentur beton dengan tambahan serat sabut kelapa dengan jarak 2,5 cm menunjukkan nilai tertinggi.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tarik lentur beton tidak memenuhi mutu rencana adalah pemadatan yang tidak sempurna, hal ini akan menyebabkan adanya rongga-rongga udara di dalam beton yang mengakibatkan beton menjadi keropos dan akan mengurangi kemampuan beton terutama pada kuat tarik lentur beton itu sendiri. Kemudian tidak dilakukan *Trial mix* terlebih dahulu sebelum pembuatan benda uji, hal ini karena tanpa uji coba awal tersebut tidak ada pembuktian terhadap proporsi campuran, kualitas material, serta karakteristik beton segar yang sangat berpengaruh terhadap performa beton dalam menahan gaya lentur. *Trial mix* berfungsi memastikan bahwa campuran beton memiliki workability, nilai slump, rasio air–semen, distribusi agregat, dan kontribusi bahan tambah yang tepat sehingga mampu menghasilkan beton yang padat, homogen, dan memiliki daya ikat tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, D., Santoso, A., & Prasetyo, B. (2022). *Karakteristik Beton dan Aplikasinya dalam Konstruksi*. Penerbit Teknik Sipil. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1968-1990 : *Campuran beton normal untuk bangunan gedung*. BSN. Jakarta.
- Badan Standart Nasional. (1990). SNI 03-1968-1990 : *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standart Nasional. (1990). SK.SNI.T-15-1990-03 Perancangan Campuran Beton dengan Metode SNI. Badan Standarisasi Nasional Jakarta.

- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000 : *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03-6820-2002 : *Cara Uji Kuat Tekan Beton Silinder*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 15-2049-2004 : *Air untuk Campuran Beton*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 2417-2008 : *Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 4431:2011: *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7656:2012 : *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019: *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. BSN. Jakarta.
- Badan Standart Nasional. (2002). SNI 13-2847-2002 : *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standart Nasional. (2004). SNI 15-2049-2004 Semen Portland. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standart Nasional. (2008). SNI 1970:2008 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Benu, A., Ningrum, D., & Wijaya, H. S. (2022). *Pengaruh Serat Sabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Mutu $f'c$ 19,3 MPa*. *Jurnal Material dan Konstruksi*, 11(1), 12–22.
- Dodi, A., & Syarif, R. (2022). *Analisis Sifat Mekanik Serat Sabut Kelapa untuk Beton Ramah Lingkungan*. *Jurnal Material Teknik*, 10(1), 1–8.
- Eben, F., Santoso, H., & Pranoto, A. (2022). *Pengaruh Serat Terhadap Sifat Mekanik Beton*. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 12(2), 1–6.
- Hakiki, M., & Walujodjati, E. (2021). *Pengujian Kuat Tarik Beton dengan Bahan Tambahan Serabut Kelapa*. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 10(3), 33–40.
- Kurniawan, S. (2016). *Analisa Perawatan Beton Cetak Menggunakan Uap. TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 5(2).
- Kurniawan, Septyanto, And Andika SRS Putra. "Recycle Concrete Agregate Terhadap Kuat Tekan Beton Berbasis Analytical Hierarchy Process." *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil* 12.2 (2023): 201-215.
- Mulyono, Tri. (2003). *Teknologi Beton, Andy Offset, Yogyakarta*.
- Pandey, R., Pangumpia, K., & Moniaga, F. (2022). *Beton Ramah Lingkungan Menggunakan Serat Sabut Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Beton*. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 45–54.
- Rajan, R., & Joseph, P. (2015). *Effect of Coconut Fiber Reinforcement on the Mechanical Properties of Concrete*. *International Journal of Engineering Research*, 4(8), 45–52.
- Ramli, M., Ahmad, Z., & Abdullah, N. (2017). *Influence of Random Fiber Distribution on the Performance of Fiber Reinforced Concrete*. *Journal of Civil Engineering Research*, 7(3), 102–110.
- Tjokrodimulyo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta.