PENGARUH CAMPURAN LIMBAH ABU SERABUT KELAPA DAN SERBUK CANGKANG KERANG DARA TERHADAP KUAT TEKAN DAN RETAK BETON

Hisma Raya[1)], Nur Azizah Affandy [2*)], Bobby Damara[3]

[1] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Lamongan, hismaraya744@gmail.com
[2] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Lamongan, nurazizah@unisla.ac.id
[3] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Lamongan, bobbydamar@unisla.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh Coconut Fiber Ash (CFA) sebagai substitusi sebagian semen dan Blood Clam Shell Powder (BCSP) sebagai substitusi sebagian agregat halus terhadap kuat tekan dan karakteristik keretakan beton dengan kuat tekan rencana 25 MPa. Penelitian menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan tiga variasi campuran, yaitu beton normal (V_0), V_1 (2% CFA dan 5% BCSP), serta V_2 (3% CFA dan 10% BCSP). Pengujian dilakukan pada benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur 7 dan 28 hari. Parameter yang diamati meliputi slump, kuat tekan, dan panjang retak. Pada umur 28 hari, kuat tekan rata-rata V_0, V_1, dan V_2 masing-masing sebesar 25.50 MPa, 32.24 MPa, dan 29.77 MPa. Variasi V_1 dan V_2 meningkatkan kuat tekan sebesar 26.43% dan 16.75% dibandingkan beton normal. Variasi V_1 juga menunjukkan rata-rata panjang retak sebesar 22.33 mm pada umur 28 hari, lebih rendah daripada V_2 sebesar 27.33 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa V_1 memiliki kinerja terbaik di antara variasi yang diuji berdasarkan kuat tekan dan panjang retak pada umur 28 hari. Penelitian ini memberikan informasi awal mengenai potensi pemanfaatan CFA dan BCSP sebagai bahan alternatif beton. Penelitian selanjutnya perlu menguji variasi kadar secara terpisah dan mengevaluasi durabilitas beton.

Kata Kunci : Abu Serabut Kelapa, Serbuk Cangkang Kerang Dara, Beton, Kuat Tekan, Pola Retak.

ABSTRACT

This study investigated the effects of Coconut Fiber Ash (CFA) as a partial cement replacement and Blood Clam Shell Powder (BCSP) as a partial fine aggregate replacement on the compressive strength and crack characteristics of concrete with a target strength of 25 MPa. A laboratory experimental method was employed using three mixtures: normal concrete (V_0), V_1 (2% CFA and 5% BCSP), and V_2 (3% CFA and 10% BCSP). Cylindrical specimens measuring 150 mm in diameter and 300 mm in height were tested at 7 and 28 days. The evaluated parameters included slump, compressive strength, and crack length. At 28 days, the average compressive strengths of V_0, V_1 and V_2 were 25.50, 32.24, and 29.77 MPa, respectively. Compared with normal concrete, V_1 and V_2 increased compressive strength by 26.43% and 16.75%, respectively. V_1 also exhibited an average crack length of 22.33 mm at 28 days, which was shorter than that of V_2 (27.33 mm). Among the mixtures investigated, V_1 demonstrated the best performance in terms of compressive strength and crack length at 28 days. These findings provide preliminary evidence of the potential use of CFA and BCSP as alternative materials in concrete production. Further research should

investigate a wider range of replacement levels, assess the individual effects of each material, and evaluate concrete durability.

Keyword : Coconut Fiber Ash, Blood Clam Shell Powder, Concrete, Compressive Strength, Crack Pattern.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan karena memiliki kekuatan tekan tinggi, mudah diaplikasikan, dan relatif ekonomis. Seiring meningkatnya pembangunan infrastruktur, kebutuhan beton terus bertambah sehingga konsumsi semen Portland sebagai bahan pengikat utama juga semakin meningkat. Kondisi ini menimbulkan permasalahan lingkungan karena industri semen merupakan salah satu penyumbang emisi karbon dioksida (CO_2) terbesar akibat proses kalsinasi dan tingginya konsumsi energi selama proses produksi (Scrivener dkk., 2018). Oleh karena itu, pengembangan beton berkelanjutan (*sustainable concrete*) menjadi salah satu fokus penelitian untuk menekan penggunaan semen sekaligus mengurangi dampak lingkungan (Juenger dkk., 2019). Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah pemanfaatan *Supplementary Cementitious Materials* (SCM) dan limbah industri maupun pertanian sebagai material substitusi pada campuran beton. Selain mampu menekan konsumsi semen, pemanfaatan limbah juga mendukung efisiensi sumber daya dan mengurangi eksploitasi agregat alam (Thomas dkk., 2021). Menurut (Scrivener dkk., 2023) pengembangan SCM menjadi strategi penting dalam menghasilkan beton rendah karbon, sedangkan (Scrivener dkk., 2018) serta (Provis, 2018) menegaskan bahwa inovasi material semen berbasis limbah merupakan salah satu solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan keberlanjutan industri konstruksi.

Salah satu limbah biomassa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai SCM adalah abu serabut kelapa (*Coconut Fiber Ash/CFA*). Abu serabut kelapa mengandung silika reaktif yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen sehingga membentuk gel *calcium silicate hydrate* (C–S–H) tambahan yang berkontribusi terhadap peningkatan kepadatan mikrostruktur beton (Juenger dkk., 2019). Kajian (B. Ali dkk., 2022) menunjukkan bahwa material berbasis serabut kelapa memiliki prospek yang baik sebagai bahan penyusun komposit semen karena mampu meningkatkan performa mekanik sekaligus memanfaatkan limbah biomassa. Penelitian (Ranatunga, 2023) juga melaporkan bahwa penggunaan *coconut shell ash* pada kadar optimum dapat meningkatkan kuat tekan beton, sedangkan (Waqar, 2023) menunjukkan bahwa *coir fibre ash* mampu meningkatkan kuat tekan, modulus elastisitas, serta menurunkan *embodied carbon* beton. Hasil tersebut didukung oleh (Satheesh Kumar & al.), 2024) yang melaporkan bahwa pemanfaatan serat dan abu kelapa menghasilkan beton yang lebih ramah lingkungan tanpa mengurangi kinerja mekaniknya. Sejalan dengan itu, (T. Ali dkk., 2025) menunjukkan bahwa kombinasi coconut fiber dengan material sementisius tambahan mampu meningkatkan kuat tekan, memperbaiki mikrostruktur beton, serta meningkatkan keberlanjutan melalui penurunan jejak karbon material beton. Pada penelitian di Indonesia, (Affandy & Bukhori, 2019) juga menunjukkan bahwa penambahan abu serabut kelapa pada proporsi tertentu mampu meningkatkan kuat tekan beton. Secara umum, hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa CFA berpotensi digunakan sebagai substitusi parsial semen, meskipun efektivitasnya masih dipengaruhi oleh karakteristik material dan kadar substitusi yang digunakan.

Selain pemanfaatan limbah biomassa sebagai substitusi parsial semen, limbah cangkang kerang dara (*Blood Clam Shell Powder/BCSP*) juga berpotensi

dimanfaatkan sebagai substitusi parsial agregat halus. Kandungan kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang tinggi pada BCSP berfungsi sebagai *filler* yang mampu meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton dan mengurangi porositas. (Tayeh dkk., 2019) serta (Bamigboye dkk., 2021) menjelaskan bahwa limbah cangkang laut dapat meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas beton apabila digunakan pada kadar substitusi yang optimum. Hasil tersebut diperkuat oleh (Mahshuri dkk., 2023) yang melaporkan peningkatan sifat mekanik beton melalui penggunaan *clam shell powder* sebagai substitusi parsial semen. Penelitian (Olivia dkk., 2017) juga menunjukkan bahwa serbuk cangkang kerang mampu memperbaiki karakteristik beton tanpa menurunkan performanya secara signifikan. Pada penelitian eksperimental lainnya, (Aziz dkk., 2024; Munthe & Dewangga, 2024; Ruslan dkk., 2023; Tansera dkk., 2023) melaporkan bahwa penggunaan serbuk cangkang kerang sebagai substitusi agregat halus berpotensi meningkatkan kuat tekan beton pada kadar tertentu. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa BCSP merupakan material alternatif yang potensial untuk mendukung pengembangan beton yang lebih ramah lingkungan sekaligus mengurangi pemanfaatan agregat alam.

Meskipun demikian, penelitian mengenai CFA dan BCSP umumnya masih dilakukan secara terpisah dan lebih berfokus pada peningkatan kuat tekan sebagai parameter utama kinerja beton. Kajian yang mengombinasikan kedua material tersebut dalam satu campuran beton masih relatif terbatas, terutama yang mengevaluasi hubungan antara peningkatan kuat tekan dan perkembangan pola retak setelah pembebanan. Padahal, karakteristik retak dapat memberikan informasi mengenai mekanisme keruntuhan, kualitas ikatan antar material, serta efektivitas modifikasi mikrostruktur akibat penggunaan material substitusi. (Al Fauzi dkk., 2024) menunjukkan bahwa material limbah dapat memengaruhi pola retak beton, sedangkan (Scrivener dkk., 2023) menekankan bahwa pengembangan material semen berkelanjutan perlu mempertimbangkan aspek kekuatan dan perilaku mekanik secara bersamaan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan abu serabut kelapa sebagai substitusi parsial semen dan serbuk cangkang kerang dara sebagai substitusi parsial agregat halus terhadap kuat tekan dan pola retak beton mutu rencana 25 MPa. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan dua material limbah dengan mekanisme kerja yang berbeda, yaitu reaksi pozzolanik dari CFA dan *filler effect* dari BCSP, serta evaluasi simultan terhadap kuat tekan dan pola retak untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku mekanik beton. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan beton berkelanjutan melalui pemanfaatan limbah pertanian dan limbah perikanan sebagai material alternatif yang memiliki kinerja mekanik baik serta dampak lingkungan yang lebih rendah.

1.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini mencakup pengaruh variasi kombinasi substitusi abu serabut kelapa (Coconut Fiber Ash, CFA) dan serbuk cangkang kerang dara (Blood Clam Shell Powder, BCSP) terhadap kuat tekan beton dengan mutu rencana 25 MPa, perbedaan pola retak beton pada setiap variasi kombinasi substitusi akibat pembebanan tekan, serta variasi kombinasi substitusi yang menghasilkan kuat tekan tertinggi di antara variasi yang diuji. Ketiga aspek tersebut dikaji melalui pengujian eksperimental untuk mengevaluasi respons mekanis dan karakteristik keruntuhan beton yang mengandung kombinasi CFA dan BCSP.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi abu serabut kelapa (*Coconut Fiber Ash*) dan serbuk cangkang kerang dara (*Blood Clam Shell Powder*) terhadap kuat tekan beton. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola retak beton akibat pembebanan tekan pada berbagai variasi substitusi CFA dan BCSP. Lebih lanjut, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan variasi substitusi CFA dan BCSP yang menghasilkan kuat tekan beton tertinggi pada mutu rencana 25 MPa. Secara umum, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pemanfaatan material limbah biomassa dan limbah cangkang kerang dalam meningkatkan kinerja mekanik serta karakteristik keruntuhan beton.

Meskipun penelitian mengenai *Coconut Fiber Ash* (CFA) maupun *Blood Clam Shell Powder* (BCSP) telah berkembang cukup pesat, sebagian besar penelitian masih mengkaji kedua material tersebut secara terpisah dan lebih menitikberatkan pada evaluasi kuat tekan sebagai indikator utama kinerja beton. Penelitian yang mengombinasikan CFA sebagai substitusi parsial semen dan BCSP sebagai substitusi parsial agregat halus dalam satu sistem beton masih relatif terbatas. Di samping itu, kajian mengenai pola retak pasca pembebanan belum banyak dilakukan, padahal karakteristik retak merupakan indikator penting untuk memahami mekanisme keruntuhan, kemampuan beton dalam mendistribusikan tegangan, serta kualitas mikrostruktur yang terbentuk. (Al Fauzi dkk., 2024) menunjukkan bahwa penggunaan material limbah dapat memengaruhi perkembangan retak beton, sedangkan (Scrivener dkk., 2023) menekankan bahwa pengembangan material semen berkelanjutan perlu mempertimbangkan tidak hanya peningkatan kekuatan, tetapi juga perilaku mekanik dan kinerja material secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan abu serabut kelapa sebagai substitusi parsial semen dan serbuk cangkang kerang dara sebagai substitusi parsial agregat halus terhadap kuat tekan dan pola retak beton mutu rencana 25 MPa. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan mekanisme reaksi pozzolanik dari CFA dan filler effect dari BCSP dalam satu sistem beton, serta evaluasi secara simultan terhadap kuat tekan dan pola retak untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku mekanik beton. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperluas pemahaman mengenai interaksi kedua material limbah tersebut terhadap pembentukan mikrostruktur dan karakteristik mekanik beton, sekaligus memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan beton berkelanjutan yang lebih ramah lingkungan, efisien dalam penggunaan sumber daya, dan berpotensi diaplikasikan sebagai material konstruksi alternatif pada masa mendatang.

1.3 Urgensi Penelitian

Kajian eksperimental mengenai pengaruh kombinasi *Coconut Fiber Ash* (CFA) dan *Blood Clam Shell Powder* (BCSP) terhadap kuat tekan dan pola retak beton masih terbatas. Keterbatasan tersebut belum menjelaskan hubungan antara variasi kombinasi kedua material dan respons mekanis beton mutu 25 MPa. Oleh karena itu, penelitian ini menguji pengaruh kombinasi CFA dan BCSP terhadap kuat tekan dan pola retak beton untuk menghasilkan bukti eksperimental mengenai kinerja kombinasi kedua material tersebut sebagai bahan alternatif dalam pengembangan beton berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk menganalisis kuat tekan dan pola retak beton dengan *Coconut Fiber Ash* (CFA) sebagai substitusi sebagian semen dan *Blood Clam Shell Powder* (BCSP) sebagai substitusi sebagian agregat halus. Penelitian menggunakan tiga variasi campuran dengan persentase substitusi sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1.
Variasi Campuran Beton

Kode	CFA (% berat semen)	BCSP (% berat agregat halus)	Kuat Tekan Rencana
V_0	0%	0%	25 MPa
V_1	2%	5%	25 MPa
V_2	3%	10%	25 MPa

Benda uji berupa silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setiap variasi terdiri atas tiga benda uji pada umur 7 hari dan tiga benda uji pada umur 28 hari, sehingga jumlah keseluruhan mencapai 18 benda uji. Rincian benda uji disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2.
Jumlah Benda Uji

Kode	Umur 7 Hari	Umur 28 Hari	Total
V_0	3	3	6
V_1	3	3	6
V_2	3	3	6
Total	9	9	18

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan pada Januari–Maret 2026. Perancangan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000, sedangkan pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 1974:2011. Analisis dilakukan dengan membandingkan kuat tekan dan pola retak ant variasi campuran untuk mengevaluasi kinerja kombinasi CFA dan BCSP.

2.2 Pengujian Bahan dan Bahan Tambahan (*Material Testing*)

Pengujian material dilakukan sebelum pembuatan benda uji untuk mengetahui karakteristik bahan dan mendukung perancangan campuran beton. Setiap pengujian dilakukan secara duplo, kemudian hasilnya dirata-ratakan.

2.2.1 Semen dan Campuran Semen–CFA

Pengujian semen meliputi berat jenis, konsistensi normal, dan waktu ikat. Pengujian dilakukan pada semen murni serta campuran semen dengan substitusi CFA sebesar 2% dan 3% untuk mengevaluasi karakteristik pasta semen. Pengujian berat jenis mengacu pada SNI 2531:2015, konsistensi normal pada SNI 6826:2016, dan waktu ikat pada SNI 03-6827-2002.

Tabel 3.
Hasil Pengujian Berat Jenis Semen dan Campuran Semen–CFA

Parameter	Semen Murni	Semen + 2% CFA	Semen + 3% CFA
Berat jenis	3.01	2.96	2.80

Sumber: Hasil pengujian laboratorium.

2.2.2 Agregat Halus dan BCSP

Pengujian agregat halus dan *Blood Clam Shell Powder* (BCSP) meliputi analisis saringan, berat jenis, penyerapan air, kadar air, berat isi, serta pemeriksaan kadar lumpur dan bahan organik. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik material sebelum digunakan sebagai agregat halus dan bahan substitusi pasir.

Analisis saringan mengacu pada SNI ASTM C136:2012, berat jenis dan penyerapan air pada SNI 1970:2016, kadar air pada SNI 1971:2011, serta berat isi pada SNI 03-4804-1998.

2.2.3 Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar meliputi analisis saringan, berat jenis, penyerapan air, kadar air, dan berat isi. Pengujian ketahanan aus menggunakan mesin Los Angeles dilakukan apabila tersedia. Standar pengujian masing-

masing meliputi SNI ASTM C136:2012, SNI 1969:2016, SNI 1971:2011, SNI 03-4804-1998, dan SNI 2417:2008.

Tabel 4.
Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Parameter	Pasir	BCSP	Kerikil
Berat jenis SSD	2.50	2.73	2.73
Penyerapan air (%)	1.01	2.47	2.13
Kadar air (%)	1.63	1.94	1.66
Berat isi (kg/L)	1.52	1.65	1.52
Modulus kehalusan	2.02	2.50	6.64
Ukuran maksimum (mm)	4.75	4.75	20

Sumber: Hasil pengujian laboratorium.

2.3 Perancangan Campuran *(Mix Design)*

Perancangan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana 25 MPa pada umur 28 hari, FAS 0.48, slump 60–180 mm, dan ukuran agregat maksimum 20 mm. Kuat tekan rata-rata target ditetapkan sebesar 36,48 MPa berdasarkan asumsi simpangan baku 7 MPa. Proporsi campuran dihitung berdasarkan kebutuhan air 205 kg/m³, semen 427.08 kg/m³, pasir 712.11 kg/m³, dan kerikil 1,003.81 kg/m³.

Tabel 5.
Proporsi Campuran Beton per m³

Material (kg/m³)	V_0	V_1	V_2
Semen	427.08	418.54	414.27
CFA	0.00	8.54	12.81
Pasir	712.11	676.50	640.90
BCSP	0.00	35.61	71.21
Kerikil	1,003.81	1,003.81	1,003.81
Air	205.00	205.00	205.00

Kebutuhan material dihitung berdasarkan volume tiga silinder berukuran 150 × 300 mm dengan tambahan 50% untuk mengantisipasi kehilangan material selama pencampuran dan pencetakan.

Tabel 6.
Kebutuhan Material per Adukan

Material (kg)	V_0	V_1	V_2
Semen	10.186	9.982	9.880
CFA	0.000	0.204	0.306
Pasir	16.984	16.135	15.285
BCSP	0.000	0.849	1.698
Kerikil	23.941	23.941	23.941
Air	4.889	4.889	4.889

Keterangan: V_0 = beton normal; V_1 = 2% CFA dan 5% BCSP; V_2 = 3% CFA dan 10% BCSP. Proporsi akhir perlu memperhitungkan koreksi kadar air dan penyerapan agregat.

2.4 Pembuatan Benda Uji dan Perawatan

Bahan ditimbang sesuai komposisi campuran. CFA dicampurkan dengan semen, sedangkan BCSP dicampurkan dengan agregat halus sebelum seluruh bahan diaduk hingga homogen. Beton segar diuji menggunakan slump test berdasarkan SNI 1972:2008, kemudian dicetak dalam silinder berukuran 150 × 300 mm. Pemadatan dilakukan dalam tiga lapisan, masing-masing sebanyak 25 kali tumbukan. Setelah 24 jam, benda uji dilepas dari cetakan dan direndam dalam air hingga umur pengujian 7 dan 28 hari. Total benda uji sebanyak 18 buah.

2.5 Pengujian Kuat Tekan dan Pola Retak

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 dan 28 hari berdasarkan SNI 1974:2011. Kuat tekan dihitung dari beban maksimum dibagi luas penampang benda uji menggunakan persamaan:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad \text{.....(1)}$$

dengan (f'c) adalah kuat tekan (MPa), (P) adalah beban maksimum (N), dan (A) adalah luas penampang (mm²). Pola keruntuhan diamati secara visual setelah pengujian, didokumentasikan, dan dikelompokkan berdasarkan karakteristik retak yang terlihat.

2.6 Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif melalui perhitungan kuat tekan rata-rata, simpangan baku, dan persentase perubahan terhadap campuran kontrol (V_0). Persentase perubahan kuat tekan dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta f'_c(\%) = \frac{\overline{f'}_{c,V_i} - \overline{f'}_{c,V_0}}{\overline{f'}_{c,V_0}} \times 100\% \quad \text{.....(2)}$$

dengan:

$\overline{f'}_{c,V_i}$ = kuat tekan rata-rata variasi V_1 atau V_1 (Mpa)

$\overline{f'}_{c,V_0}$ = kuat tekan rata-rata beton kontrol (Mpa)

Hasil disajikan dalam tabel dan grafik untuk membandingkan kuat tekan serta pola keruntuhan pada setiap variasi. Analisis difokuskan pada kinerja kombinasi CFA dan BCSP, karena kedua bahan digunakan secara bersamaan dalam setiap variasi.

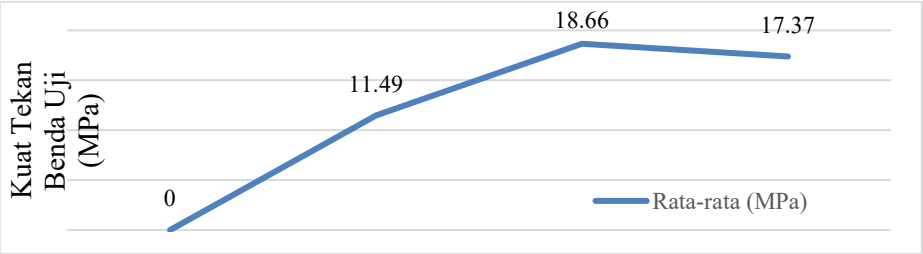
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Kuat

Pengujian kuat tekan beton dilakukan berdasarkan SNI 1974:2011 dengan umur benda uji 7 hari dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan *Coconut Fiber Ash* (CFA) sebagai substitusi sebagian semen dan *Blood Clam Shell Powder* (BCSP) sebagai substitusi sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, serta memiliki luas penampang sebesar 176,71 cm². Nilai kuat tekan beton diperoleh berdasarkan beban maksimum yang diterima benda uji dibagi dengan luas penampang sesuai ketentuan SNI 1974:2011. Selanjutnya, hasil pengujian kuat tekan dibandingkan pada setiap variasi campuran, yaitu V_0 (Beton Normal), V_1 (2% CFA + 5% BCSP), dan V_2 (3% CFA + 10% BCSP), sehingga dapat diketahui pengaruh penggunaan abu serabut kelapa dan serbuk cangkang kerang dara terhadap kuat tekan beton. Perbandingan hasil pengujian kuat tekan pada masing-masing variasi campuran disajikan pada Tabel 1, sedangkan hubungan antara variasi campuran dan kuat tekan beton ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 7.
Hasil Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Umur 7 Hari

Kode variasi	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)			Rata-rata (MPa)
	I	II	III	
V_0	11.99	11.44	11.04	11.49
V_1	18.94	18.46	18.59	18.66
V_2	17.15	17.48	17.47	17.37



Gambar 1.
Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Umur 7 Hari.

Berdasarkan Tabel 7 dan Gambar 1, hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari menunjukkan bahwa benda uji V_0 (Beton Normal) memperoleh kuat tekan

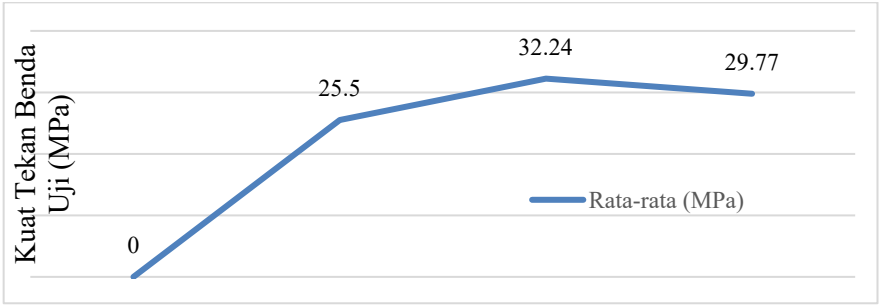
rata-rata sebesar 11.49 MPa. Pada variasi V_1 dengan penambahan 2% *Coconut Fiber Ash* (CFA) sebagai substitusi semen dan 5% *Blood Clam Shell Powder* (BCSP) sebagai substitusi agregat halus, diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 18.66 MPa. Nilai tersebut mengalami kenaikan sebesar 62.40% dibandingkan beton normal.

Sementara itu, pada variasi V_2 dengan penambahan 3% CFA dan 10% BCSP, diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 17.37 MPa, sehingga mengalami kenaikan sebesar 51.18% dibandingkan beton normal. Meskipun nilai kuat tekan V_2 masih lebih tinggi daripada beton normal, hasilnya lebih rendah dibandingkan variasi V_1.

Berdasarkan hasil pengujian, variasi V_1 yang terdiri atas 2% *Coconut Fiber Ash* (CFA) dan 5% *Blood Clam Shell Powder* (BCSP) menghasilkan kuat tekan tertinggi pada umur 7 hari dibandingkan variasi lainnya. Sementara itu, variasi V_2 menunjukkan penurunan kuat tekan dibandingkan V_1. Hasil ini menunjukkan bahwa V_1 merupakan variasi dengan nilai kuat tekan tertinggi pada umur pengujian tersebut. Namun, karena kadar CFA dan BCSP diubah secara bersamaan, pengaruh masing-masing bahan maupun interaksi keduanya terhadap kuat tekan beton belum dapat ditentukan secara terpisah.

Tabel 8.
Hasil Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari

Kode variasi	Kuat Tekan Benda Uji (MPa)			Rata-rata (MPa)
	I	II	III	
V_0	26.01	25.13	25.36	25.50
V_1	31.14	33.19	32.39	32.24
V_2	29.53	29.33	30.44	29.77



Gambar 2.
Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 2, kuat tekan rata-rata beton pada umur 28 hari untuk variasi V_0 (beton normal), V_1 (2% *Coconut Fiber Ash* (CFA) dan 5% *Blood Clam Shell Powder* (BCSP)), serta V_2 (3% CFA dan 10% BCSP) masing-masing sebesar 25.50 MPa, 32.24 MPa, dan 29.77 MPa. Dibandingkan beton normal, kuat tekan V_1 meningkat sebesar 26.43%, sedangkan V_2 meningkat sebesar 16.75%. Meskipun kedua variasi substitusi menghasilkan kuat tekan lebih tinggi daripada beton normal, V_1 menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi di antara variasi campuran yang diuji.

Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi CFA dan BCSP pada variasi V_1 menghasilkan kinerja kuat tekan terbaik di antara campuran yang diteliti pada umur 28 hari. Namun, karena persentase kedua material diubah secara bersamaan dan tidak diuji secara terpisah, pengaruh individual

CFA dan BCSP maupun interaksi keduanya belum dapat ditentukan. Dengan demikian, V_1 belum dapat dinyatakan sebagai komposisi optimum secara umum, tetapi merupakan variasi dengan kuat tekan tertinggi dalam lingkup penelitian ini.

3.2 Pengaruh Kombinasi CFA dan BCSP terhadap Kuat Tekan Beton

Pengaruh substitusi *Coconut Fiber Ash* (CFA) dan *Blood Clam Shell Powder* (BCSP) dianalisis berdasarkan kuat tekan beton umur 7 hari yang dikonversi ke 28 hari dan hasil pengujian aktual pada umur 28 hari. Perbandingan kuat tekan rata-rata dan persentase perubahannya terhadap campuran kontrol (V_0) disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9.
Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari yang Dikonversi ke 28 Hari

Variasi	Komposisi Substitusi	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Perubahan terhadap V_0 (%)
V_0	0% CFA + 0% BCSP	11.49	0,00
V_1	2% CFA + 5% BCSP	18.66	+62.43
V_2	3% CFA + 10% BCSP	17.37	+51.15

Tabel 10.
Kuat Tekan Beton Aktual pada Umur 28 Hari

Variasi	Komposisi Substitusi	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Perubahan terhadap V_0 (%)
V_0	0% CFA + 0% BCSP	25.502	0,00
V_1	2% CFA + 5% BCSP	32.239	+26.42
V_2	3% CFA + 10% BCSP	29.766	+16.72

Persentase perubahan kuat tekan dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta f'_c(\%) = \frac{\overline{f}'_{c,V_i} - \overline{f}'_{c,V_0}}{\overline{f}'_{c,V_0}} \times 100\%$$

Hasil pada Tabel 9 menunjukkan bahwa V_1 mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 62.43%, sedangkan V_2 meningkat sebesar 51.15% dibandingkan V0. Pada pengujian aktual umur 28 hari (Tabel 10), kuat tekan V_1 meningkat sebesar 26.42% dan V_2 sebesar 16.72%. Kedua hasil menunjukkan bahwa V_1, dengan substitusi 2% CFA dan 5% BCSP, menghasilkan kuat tekan tertinggi di antara variasi yang diuji.

Kuat tekan V_2 lebih rendah daripada V_1 pada kedua kelompok data. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar substitusi CFA dan BCSP secara bersamaan tidak selalu meningkatkan kuat tekan beton. CFA berpotensi berkontribusi terhadap reaksi pengikatan apabila mengandung silika reaktif, sedangkan BCSP berpotensi memperbaiki pengisian rongga antarpartikel. Namun, mekanisme tersebut belum dapat dipastikan tanpa pengujian karakteristik kimia dan mikrostruktur material.

Pada pengujian aktual umur 28 hari, V_1 mencapai kuat tekan rata-rata 32.239 MPa, sedangkan V_2 mencapai 29.766 MPa. Keduanya melampaui target kuat tekan 25 MPa. Sebaliknya, hasil konversi dari pengujian umur 7 hari menghasilkan nilai yang lebih rendah. Perbedaan ini perlu dipahami dengan mempertimbangkan bahwa data konversi merupakan estimasi, sedangkan data umur 28 hari merupakan hasil pengujian langsung.

Secara keseluruhan, kombinasi 2% CFA dan 5% BCSP (V_1) menunjukkan kinerja terbaik berdasarkan kuat tekan pada kedua kelompok data. Namun, karena persentase kedua bahan substitusi diubah secara bersamaan, pengaruh masing-masing bahan secara terpisah belum dapat ditentukan.

3.2 Pengujian Keretakan Beton

Pengujian keretakan beton dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan diameter nominal 15 cm dan tinggi 30 cm. Luas penampang benda uji ditetapkan sebesar 176.71 cm² berdasarkan diameter nominal 15 cm, sehingga nilainya konsisten dengan perhitungan luas penampang pada pengujian kuat tekan. Pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 1974:2011. Pengamatan keretakan dilakukan pada benda uji berumur 7 dan 28 hari setelah pembebanan dihentikan dan pola keruntuhan terbentuk. Pengamatan bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik keretakan beton yang menggunakan *Coconut Fiber Ash* (CFA) sebagai substitusi sebagian semen dan *Blood Clam Shell Powder* (BCSP) sebagai substitusi sebagian agregat halus.

Klasifikasi retak dilakukan berdasarkan arah dan pola retakan yang terlihat pada permukaan silinder. Retak vertikal didefinisikan sebagai retakan yang arahnya relatif sejajar dengan sumbu longitudinal benda uji, retak diagonal sebagai retakan yang membentuk sudut terhadap sumbu tersebut, dan retak geser sebagai retakan miring yang menunjukkan pola keruntuhan akibat geser. Total panjang retak didefinisikan sebagai jumlah panjang seluruh jejak retak yang dapat diidentifikasi pada permukaan benda uji, diukur menggunakan penggaris dan dinyatakan dalam milimeter (mm). Pada retakan bercabang, panjang setiap segmen retak yang dapat dibedakan diukur dan dijumlahkan tanpa menghitung segmen yang sama lebih dari satu kali. Pengukuran dilakukan setelah pola keruntuhan terbentuk dan sebelum benda uji dipindahkan atau permukaan retaknya terganggu. Setiap benda uji didokumentasikan melalui foto yang memperlihatkan kode spesimen dan pola retak; skala ukur disertakan dalam foto apabila tersedia. Data yang diperoleh meliputi jumlah retak berdasarkan klasifikasi, total panjang retak, dan dokumentasi visual. Selanjutnya, data dibandingkan antarvariasi campuran dan umur pengujian untuk mengidentifikasi perbedaan karakteristik keretakan beton.



Gambar 3. Pola Retak Beton umur 7 Hari

Tabel 11.
Karakteristik Pola Retak Beton pada Umur Pengujian 7 Hari

Kode benda uji	Kuat tekan (MPa))	Retak vertikal (buah)	Retak diagonal (buah)	Retak geser (buah)	Total panjang retak (mm)	Pola retak dominan
V_{0a}	11.99	0	1	2	62	Geser
V_{0b}	11.44	0	2	1	71	Diagonal
V_{0c}	11.04	0	2	1	81	Diagonal
V_{1a}	18.94	2	1	0	66	Vertikal
V_{1b}	18.46	2	1	0	66	Vertikal
V_{1c}	18.59	1	1	1	66	Campuran
V_{2a}	17.15	2	1	0	79	Vertikal
V_{2b}	17.48	2	0	1	82	Vertikal
V_{2c}	17.47	3	0	0	85	Vertikal

Berdasarkan Tabel 11 Hasil pengujian pada umur 7 hari menunjukkan bahwa variasi V1 memiliki kuat tekan tertinggi, yaitu 18.46–18.94 MPa, dibandingkan V2 (17.15–17.48 MPa) dan beton normal (11.04–11.99 MPa). Panjang retak V1 relatif seragam sebesar 66 mm, sedangkan V2 berkisar 79–85 mm.

Temuan ini sejalan dengan Maysyurah dan Caronge (2022), yang menunjukkan bahwa perubahan komposisi bahan pengganti semen dapat memengaruhi sifat mekanis mortar. Maysyurah et al. (2025) juga melaporkan adanya perbedaan kuat tekan dan pola retak akibat variasi karakteristik agregat. Namun, kedua penelitian tersebut menggunakan material dan metode berbeda sehingga menjadi pembanding, bukan bukti langsung.

Pada penelitian ini, beton normal cenderung mengalami retak diagonal dan geser, sedangkan V1 dan V2 didominasi retak vertikal. Perbedaan ini menunjukkan variasi pola keruntuhan antarcampuran. Meski demikian, panjang dan jumlah retak saja belum cukup untuk menyimpulkan ketahanan retak. Karena CFA dan BCSP digunakan bersamaan, pengaruh masing-masing material juga belum dapat dipisahkan.

Dari Tabel 12 pengujian beton umur 28 hari menunjukkan bahwa variasi V_1 memiliki kuat tekan tertinggi, yaitu 31.143–33.190 MPa, diikuti V_2 sebesar 29.328–30.438 MPa dan beton normal sebesar 25.134–26.012 MPa. Panjang retak V_1 berkisar 74–88 mm, sedangkan V_2 sebesar 43–75 mm dan beton normal 84–88 mm.

Pola retak beton normal didominasi retak diagonal, sedangkan V_1 didominasi retak vertikal. Pada V_2, pola retak cenderung vertikal, meskipun satu benda uji menunjukkan pola campuran. Hasil ini memperlihatkan bahwa variasi V_1 menghasilkan kuat tekan lebih tinggi daripada V_2 dan beton normal, tetapi tidak selalu disertai panjang retak yang lebih pendek.

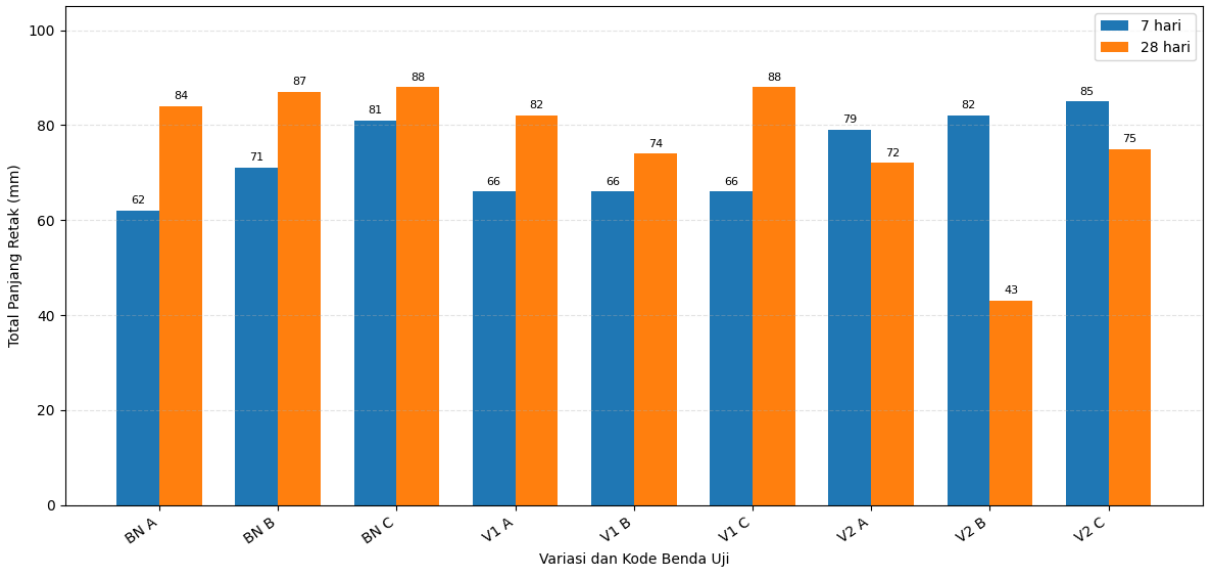
Temuan tersebut sejalan secara umum dengan Maysyurah et al. (2025), yang menunjukkan bahwa variasi karakteristik agregat berkaitan dengan perbedaan kuat tekan dan pola retak mortar. Namun, perbedaan material dan metode pengujian membatasi perbandingan langsung. Selain itu, panjang retak saja belum cukup untuk menyimpulkan ketahanan retak beton, terutama karena CFA dan BCSP digunakan secara bersamaan sehingga pengaruh masing-masing material belum dapat dipisahkan.

Tabel 12.
Karakteristik Pola Retak Beton pada Umur 28 Hari

Kode benda uji	Kuat tekan (MPa)	Retak vertikal (buah)	Retak diagonal (buah)	Retak geser (buah)	Total panjang retak (mm)	Pola retak dominan
B_{Na}	26.012	0	2	1	84	Diagonal
B_{Nb}	25.134	0	2	1	87	Diagonal
B_{NC}	25.361	0	2	1	88	Diagonal
V_{1a}	31.143	2	1	0	82	Vertikal
V_{1b}	33.190	2	1	0	74	Vertikal
V_{1C}	32.385	2	1	0	88	Vertikal
V_{2a}	29.532	1	1	1	72	Campuran
V_{2b}	29.328	2	0	1	43	Vertikal
V_{2C}	30.438	2	0	1	75	Vertikal



Gambar 4. Pola Retak Beton Umur 28 hari



Gambar 5. Perbandingan Total Panjang Retak Beton pada 7 hari dan 28 hari

Pada Gambar 5 Pada umur 7 hari, beton normal didominasi retak diagonal dan geser dengan panjang 62–81 mm, sedangkan V_1 didominasi retak vertikal sepanjang 66 mm dan V_2 sepanjang 79–85 mm. Pada umur 28 hari, beton normal tetap didominasi retak diagonal (84–88 mm), V_1 retak vertikal (74–88 mm), sedangkan V_2 memiliki panjang retak 43–75 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa pola dan panjang retak bervariasi menurut komposisi campuran dan umur beton.

Temuan ini didukung secara kontekstual oleh Maysyurah et al. (2025), yang melaporkan variasi pola retak mortar akibat perbedaan karakteristik agregat, serta

Thomas et al. (2021), yang membahas potensi abu biomassa dalam material berbasis semen. Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi awal mengenai karakteristik retak beton dengan kombinasi *Coconut Fiber Ash* (CFA) dan *Blood Clam Shell Powder* (BCSP), sekaligus mendukung kajian pemanfaatan limbah sebagai material konstruksi alternatif (Maysyurah, 2025). Namun, pengaruh masing-masing bahan belum dapat dipisahkan. Penelitian selanjutnya disarankan menguji CFA dan BCSP secara terpisah dengan variasi proporsi serta mengukur lebar dan panjang retak secara terukur agar pengaruhnya terhadap perilaku keruntuhan beton dapat dipahami lebih baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan *Coconut Fiber Ash* (CFA) sebagai substitusi sebagian semen dan *Blood Clam Shell Powder (BCSP)* sebagai substitusi sebagian agregat halus menunjukkan potensi dalam meningkatkan kinerja beton mutu rencana 25 MPa. Variasi V_1 (2% CFA dan 5% BCSP) menghasilkan kuat tekan rata-rata tertinggi pada umur 28 hari sebesar 32.24 MPa, meningkat 26.43% dibandingkan beton normal sebesar 25.50 MPa, sedangkan variasi V_2 (3% CFA dan 10% BCSP) mencapai 29.77 MPa atau meningkat 16.75%. Berdasarkan data panjang retak pada Tabel 4, V_1 juga menunjukkan rata-rata panjang retak sebesar 22.00 mm pada umur 7 hari dan 22.33 mm pada umur 28 hari, lebih rendah dibandingkan V_2 pada umur 28 hari. Hasil ini menunjukkan bahwa V_1 memiliki kinerja terbaik di antara variasi yang diuji berdasarkan kuat tekan umur 28 hari dan panjang retak yang teramati. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi awal bagi pengembangan beton melalui pemanfaatan bahan alternatif sekaligus mendukung upaya peningkatan nilai guna limbah. Namun, karena kadar CFA dan BCSP diubah secara bersamaan, pengaruh masing-masing bahan belum dapat ditentukan secara terpisah. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menguji kedua bahan secara individual maupun kombinasi dengan variasi kadar yang lebih luas, menambah jumlah benda uji, serta mengevaluasi durabilitas dan karakteristik keretakan menggunakan metode pengukuran yang terukur untuk memperoleh hasil yang lebih andal dan menentukan komposisi yang paling sesuai bagi penerapan beton.

5. DAFTAR PUSTAKA

Affandy, N. A., & Bukhori, A. I. (2019). Pengaruh Penambahan Abu Serabut Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. *UKaRsT*.

Al Fauzi, D. W., Affandy, N. A., Agustapraja, H. R., & Lubis, Z. (2024). Pengaruh penambahan fly ash (cangkang telur dan sekam padi) terhadap kuat tekan dan retak beton non struktural. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, *12*(1), 1–14.

Ali, B., Hawreen, A., Ben Kahla, N., Talha Amir, M., Azab, M., & Raza, A. (2022). A critical review on the utilization of coir (coconut fiber) in cementitious materials. *Construction and Building Materials*, *351*, 128957.

Ali, T., Qureshi, M. Z., Onyelowe, K. C., Althaqafi, E., Deifalla, A., Ahmed, H., & Ajwad, A. (2025). Optimizing Recycled Aggregate Concrete Performance with Chemically and Mechanically Activated Fly Ash in Combination with Coconut Fiber. *Scientific Reports*, *15*(1), 9346.

Aziz, M. R., Abdilla, R., Rickianto, R., & Yoladissa, N. (2024). *Pemanfaatan Serbuk Cangkang Kerang Simping Sebagai Substitusi Pasir Pada Campuran Beton*. *7*(2), 32–41.

Bamigboye, G. O., Nworgu, A. T., Odetoyan, A. O., Kareem, M., Enabulele, D. O., & Bassey, D. E. (2021). Sustainable Use of Seashells as

Binder in Concrete Production: Prospect and Challenges. *Journal of Building Engineering*, *34*, 101864.

Juenger, M. C. G., Snellings, R., & Bernal, S. A. (2019). Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights. *Cement and Concrete Research*, *122*, 257–273.

Mahshuri, Y., Sinin, H., & Sinin, A. E. (2023). Mechanical Properties of Concrete with Clam Shell Powder (CSP) as Partial Cement Replacement. *Key Engineering Materials*, *956*, 205–211.

Maysyurah, A. , A. H. , & F. M. N. (2025). Analisis kuat tekan dan pola retak mortar dengan penggunaan terak nikel sebagai material pengganti pasir. . *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2025* .

Munthe, A. T., & Dewangga, T. (2024). Analisis Pengaruh Substitusi Parsial Semen dan Agregat Halus Menggunakan Fly Ash dan Cangkang Kerang Darah Terhadap Kuat Tekan Beton. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, *8*(4), 2850–2860.

Olivia, M., Oktaviani, R., & Ismeddiyanto. (2017). Properties of Concrete Containing Ground Waste Cockle and Clam Seashells. *Procedia Engineering*, *171*, 658–663.

Provis, J. L. (2018). Alkali-activated materials. *Cement and Concrete Research*, *114*, 40–48.

Ranatunga, D. S. (2023). Coconut shell ash in sustainable concrete: Mechanical performance and durability aspects. *Construction and Building Materials*.

Ruslan, H. N., Muthusamy, K., Md Jaafar, M. F., Zamri, N. A., & Putra Jaya, R. (2023). Mechanical Properties of Mortar with Anadara granosa Waste as Partial Sand Replacement. *The Open Civil Engineering Journal*, *17*, 1–6.

Satheesh Kumar, S., & al.), (et. (2024). Innovative Eco-Friendly Concrete Utilizing Coconut Shell Fibers and Coir Pith Ash for Sustainable Development. *Sustainability*, *16*(13), 5316.

Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, *114*, 2–26.

Scrivener, K. L., Snellings, R., & Suraneni, P. (2023). Future and emerging supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, *171*.

Tansera, P. C., Abdi, F. N., & Arifin, T. S. P. (2023). Pengaruh Substitusi Agregat Halus dengan Serbuk Cangkang Kerang Darah terhadap Kuat Tekan Beton. *Teknologi Sipil : Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, *7*(2).

Tayeh, B. A., Hasaniyah, M. W., Zeyad, A. M., & Yusuf, M. O. (2019). Properties of Concrete Containing Recycled Seashells as Cement Partial Replacement: A Review. *Journal of Cleaner Production*, *237*, 117723.

Thomas, B. S., Yang, J., Mo, K. H., Abdalla, J. A., Hawileh, R. A., & Ariyachandra, E. (2021). Biomass ashes from agricultural wastes as supplementary cementitious materials or aggregate replacement in cement/geopolymer concrete: A comprehensive review. *Journal of Building Engineering*, *40*.

Waqar, A. (2023). Effect of coir fibre ash on mechanical properties of concrete. *ScienceDirect*.

Copyright© by the authors. Licensee Jurnal Ilmiah MITSU, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)