

Pengaruh Limbah Potongan Baja Ringan terhadap Kuat Lentur Beton

Sugik Firnanda*, Dwi Kartikasari, Samsul Arif

Universitas Islam Lamongan, Lamongan-62211, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Beton, Limbah Potongan Baja Ringan, Kuat Lentur.

*Correspondence email:

sugikfirnanda3@gmail.com;

dkartika27@unisla.ac.id;

samsularif90an@unisla.ac.id

Submitted: 17 Juni 2026

Revised: 27 Juli 2026

Accepted: 27 Juli 2026

Published: 01 Agustus 2026

ABSTRAK

Penggunaan beton dalam dunia konstruksi sangat masif karena keunggulannya pada kuat tekan, namun aktivitas ini juga memicu lonjakan seperti limbah potongan baja ringan. Guna mengatasi permasalahan lingkungan tersebut, studi ini mengkaji optimalisasi limbah potongan baja ringan sebagai bahan aditif beton karena karakteristik kuat tariknya yang tinggi. Pengujian dilakukan melalui metode eksperimen di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan untuk menganalisis perbandingan kuat lentur antara beton normal dan beton variasi. Persentase bahan tambah yang diuji meliputi 0%, 2%, 4%, dan 6% dari total berat kerikil. Berdasarkan hasil eksperimen, beton normal menghasilkan kuat lentur sebesar 3,31 MPa, sementara variasi campuran 2%, 4%, dan 6% secara berurutan melonjak hingga 5,16 MPa, 5,30 MPa, serta 6,93 MPa. Data ini membuktikan bahwa peningkatan kadar limbah potongan baja ringan berbanding lurus dengan peningkatan kualitas kuat lentur beton. Oleh sebab itu, material sisa ini sangat direkomendasikan menjadi bahan substitusi alternatif demi meningkatkan mutu struktural sekaligus mereduksi dampak negatif limbah proyek.

ABSTRACT

Keywords:

Concrete, Mild Steel Scrap, Flexural Strength.

The utilization of concrete in the construction industry is highly massive due to its superior compressive strength; however, this activity also triggers a surge in waste, such as lightweight steel scraps. To address these environmental issues, this study examines the optimization of lightweight steel waste as a concrete additive because of its high tensile strength characteristics. Testing was conducted through an experimental method at the Civil Engineering Laboratory of Universitas Islam Lamongan to analyze the comparison of flexural strength between normal concrete and varied concrete mixtures. The percentages of the added material tested included 0%, 2%, 4%, and 6% of the total gravel weight. Based on the experimental results, normal concrete produced a flexural strength of 3.31 MPa, while the 2%, 4%, and 6% mixed variations sequentially surged to 5.16 MPa, 5.30 MPa, and 6.93 MPa. These data prove that an increase in the content of lightweight steel waste is directly proportional to the enhancement of the concrete's flexural strength quality. Therefore, this residual material is highly recommended as an alternative substitution ingredient to improve structural quality while reducing the negative impact of construction project waste.

PENDAHULUAN

Dalam dunia konstruksi, beton merupakan material utama yang paling sering diaplikasikan pada pembangunan berbagai infrastruktur dan struktur bangunan (Marcellino Katiandagho et al., 2024). Beragam bangunan seperti Gudang, bangunan air, dan sarana transportasi, memanfaatkan beton sebagai material utama dalam pembangunannya (Ala et al., 2021). Luasnya pemanfaatan beton tidak lepas dari karakteristik unggul yang dimilikinya. Material ini mampu beradaptasi dengan cuaca dan temperatur tinggi, fleksibel untuk dicetak sesuai kebutuhan desain struktur, serta menawarkan kemudahan dalam pemeliharaan jangka panjang. (Anggi Suryani et al., 2021). Sebagai material komposit, beton dibentuk melalui pencampuran beberapa komponen utama yang meliputi semen, agregat kasar, agregat halus, serta air. Dalam kondisi tertentu, bahan aditif atau material tambahan dengan takaran spesifik juga dapat diintegrasikan untuk mencapai karakteristik yang diinginkan. (Huwae et al., 2023).

Kualitas beton merupakan aspek penting yang menentukan kekuatan, ketahanan, dan umur layan suatu konstruksi (Septianto et al., 2023). Salah satu faktor utama yang memenuhi kualitas beton adalah komposisi campurannya. Perbedaan komposisi campuran beton dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik maupun durabilitas beton (Polii et al., 2023). Sifat-sifat tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis material yang digunakan, nilai faktor air semen, karakteristik agregat, penggunaan bahan tambah, serta proses pencampuran (Manalip & Sumajouw, 2020). Penambahan bahan tertentu kedalam campuran beton dapat mengubah beberapa sifat penting beton, antara lain kuat tekan, ketahanan terhadap retak, ketahanan terhadap korosi, serta kemampuan beton dalam menghadapi kondisi lingkungan yang agresif (Mikael Wora & Ndale, 2022).

Material penyusun beton pada umumnya berasal dari sumber daya alam yang terbatas jumlahnya dan juga tidak dapat diperbarui (Arum & Windari, 2025). Seiring dengan meningkatnya kebutuhan konstruksi, ketersediaan material tersebut berpotensi mengalami penurunan bahkan kelangkaan di masa mendatang (Tommy et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mencari alternatif bahan pengganti atau bahan tambahan yang lebih ramah lingkungan tanpa mengurangi kualitas dan kekuatan beton (Bahar & Wiranto, 2024). Pemanfaatan bahan alternatif tersebut juga diharapkan dapat untuk mengurangi jumlah limbah yang dapat mencemari lingkungan sekitar serta mampu menekan biaya produksi beton sehingga menjadi lebih ekonomis (Maria Prisila Hederanti Itu et al., 2021).

Pemilihan bahan tambah berupa limbah potongan baja ringan sebagai campuran beton didasarkan pada semakin banyaknya potongan sisa hasil limbah potongan baja ringan yang tidak termanfaatkan (Fatimah et al., 2021). Selain itu, tingginya penggunaan limbah potongan baja ringan di lingkungan sekitar juga menyebabkan volume limbah yang terus meningkat (Somantri & Walujodjati, 2022). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah potongan baja ringan dalam campuran beton perlu diteliti untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat lentur beton. Penggunaan limbah tersebut diharapkan dapat memberikan dampak positif terhadap peningkatan nilai kuat lentur beton sekaligus membantu mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan. (Rosyad & Winanda, 2024)

Studi ini dilakukan untuk menguji performa beton yang dikombinasikan dengan substitusi limbah potongan baja ringan berdasarkan karakteristik nilai *slump*, kuat lentur. Melalui eksperimen ini, limbah potongan baja ringan ditargetkan menjadi solusi inovatif sebagai bahan pengisi yang representatif untuk beton $f'c$ 20 MPa. Di samping itu, luaran dari riset ini diharapkan mampu menyumbang pemikiran bagi perkembangan beton ramah lingkungan yang siap diimplementasikan pada proyek konstruksi nyata tanpa mendegradasi mutu maupun kekuatan lenturnya.

METODE

Penelitian ini dilakukan melalui pengujian laboratorium di Fasilitas Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan. Fokus utama kajian ini adalah mengukur sejauh mana pengaruh substitusi limbah potongan baja ringan mampu memengaruhi kuat lentur beton berkapasitas rencana $f'c$ 20 MPa, melanjutkan tren penelitian terdahulu mengenai peningkatan performa mekanis beton. Kadar penambahan limbah potongan baja ringan yang diuji pada kadar 0%, 2%, 4%, dan 6%. Untuk pengujian pada umur 28 hari, digunakan total 12 benda uji berbentuk balok berukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm, yang terdiri atas tiga benda uji untuk setiap variasi campuran 0%, 2%, 4%, dan 6%. Saat pengujian kuat lentur berlangsung, jarak bentang efektif yang diaplikasikan adalah sebesar 50 cm. Adapun nilai kuat lentur adalah sebagai berikut:

$$\sigma = (P \times L) / (b \times h^2)$$

dimana P adalah beban maksimum, L adalah jarak bentang, b adalah lebar benda uji, dan h^2 adalah tinggi benda uji.

Kemudian perhitungan dari hasil nilai kuat lentur dinyatakan dalam satuan MPa.

Rancangan Data

Teknik Pengumpulan Data

1. Eksplorasi Studi Literatur

Tahap awal penelitian difokuskan pada penghimpunan landasan teoretis dan referensi ilmiah yang relevan. Sumber literatur diekstraksi dari buku teks akademis, jurnal ilmiah, regulasi Standar Nasional Indonesia (SNI), serta publikasi riset terdahulu yang mengkaji karakteristik material beton maupun pemanfaatan limbah potongan baja ringan sebagai bahan aditif.

2. Evaluasi dan Analisis Data

Data penelitian dihimpun secara langsung melalui serangkaian pengujian eksperimental di laboratorium. Tahapan ini mencakup identifikasi sifat fisik material, fabrikasi spesimen uji, pengukuran konsistensi campuran melalui *slump test*, proses *curing* (perawatan), hingga uji runtuh kuat lentur saat spesimen mencapai maturitas 28 hari. Seluruh data kuantitatif yang diperoleh kemudian ditabulasi dan dianalisis secara komparatif guna mengidentifikasi korelasi serta pengaruh variasi kadar limbah potongan baja ringan terhadap performa lentur beton.

Alat Penelitian

Peralatan yang dioperasikan dalam penelitian ini mencakup fasilitas pembuatan dan pengujian mutu beton. Untuk tahap persiapan material dan pencampuran, yang digunakan terdiri dari rangkaian ayakan standar, timbangan digital, serta mesin pengaduk beton (*concrete mixer*). Tahap pencetakan dan perawatan sampel didukung oleh alat uji *slump*, cetakan spesimen balok, oven, serta bak perendaman. Adapun untuk mengukur parameter mekanis utama, pengujian kuat lentur dilakukan menggunakan *Hydraulic Concrete Beam Testing Machine*.

Bahan Penelitian

Bahan dalam pembuatan beton dalam eksperimen ini memanfaatkan semen Portland, pasir sebagai agregat halus, serta batu pecah sebagai agregat kasar, yang dikombinasikan dengan air sebagai media hidrasi. Selain material

konvensional tersebut, limbah potongan baja ringan diaplikasikan ke dalam matriks campuran dengan fungsi sebagai bahan tambah untuk memodifikasi karakteristik beton.

HASIL

Pengujian Bahan Campuran

Perencanaan campuran beton (*mix design*) pada penelitian ini menggunakan beton mutu untuk 1m³ sesuai dengan SNI 03-2834-2000 dengan mutu rencana f'c 20 MPa. didapat hasil komposisi campuran berikut:

Tabel 1. Percampuran Beton Tiap 1m³

Proporsi Campuran	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
Tiap m ³	386,79kg	205kg	746,39kg	1.009,82kg

Sumber : Hasil Pengujian 2026

Untuk menentukan kebutuhan bahan yang dibutuhkan beton pada saat balok dilakukan perhitungan yaitu dengan mengalikan volume benda uji dengan kebutuhan bahan per meter kubik kebutuhan bahan pada beton balok. Benda uji yang digunakan berupa balok beton berukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm dengan volume dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 V &= P \times L \times T \\
 &= 0,60 \times 0,15 \times 0,15 \\
 &= 0,0135 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, volume satu benda uji balok berukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm adalah 0,0135 m³. sehingga dapat diketahui bahwa masing-masing kebutuhan bahan per 1 m³ sebesar 5,22 kg semen, 10,08 kg pasir, 13,64 kg kerikil, dan 2,77 kg air. Dari perhitungan tersebut, kebutuhan limbah potongan baja ringan untuk setiap balok adalah 0,273 kg (2%), 0,545 kg (4%), dan 0,818 kg (6%).

Hasil Uji Material

Tahap awal penelitian diawali dengan pemeriksaan dan karakterisasi material penyusun beton, yang meliputi semen, agregat halus, dan agregat kasar. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisik masing-masing material serta memastikan bahwa bahan yang digunakan memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Hasil pengujian kemudian direkapitulasi dan dibandingkan dengan standar pengujian yang berlaku untuk menilai kesesuaiannya sebagai bahan penyusun campuran beton. Berikut disajikan rekapitulasi hasil pengujian material beserta perbandingannya terhadap standar yang digunakan dalam penelitian ini

Tabel 2. Hasil Uji Material

Uraian Pengujian	Standar Pengujian	Hasil Pengujian	Keterangan
Uji konsistensi normal semen	SNI 03-2834-2002 (10 mm-30detik)	28,8%	Memenuhi
Waktu pengikat dan pengerasan semen	SNI 02-6827-2002 (45-375 Menit)	165 menit	Memenuhi
Uji Berat jenis semen	SNI 15-2531-1991 (3,00 - 3,20 gr)	3,01	Memenuhi
Uji kelembaban agregat halus	SNI 1971:2011 (1%-3%)	1,63%	Memenuhi
Uji berat jenis agregat halus SSD	SNI 1970-2008,2008 (2,4-2,7 gr)	2,50	Memenuhi
Pengujian berat volume pasir	SNI 02-4804-1998 (1,4-1,9 gr/lit)	1,55 gr/lit	Memenuhi
Uji kelambapan kerikil	SNI 1971:2011 (0,5%-2%)	1,66%	Memenuhi
Uji berat jenis agregat kasar SSD	SNI 1969:2016 (2,4-2,9 gr)	2,73	Memenuhi
Uji berat volume agregat kasar	SNI 03-4804-1998 (1,4-1,9 gr/lit)	1,52 gr/lit	Memenuhi
Analisa saringan agregat kasar	SNI03-4804-1998 6-7%	6,26%	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengujian 2026

Berdasarkan data hasil uji karakteristik material Tabel 2, seluruh parameter terbukti memenuhi standar baku mutu. Hal ini mengindikasikan kelayakan dan keandalan material sebagai bahan ikat maupun pengisi, yang esensial dalam mendukung ketercapaian mutu beton sesuai spesifikasi rancangan.

Komposisi Campuran Beton

Pada pembuatan benda uji balok yang berdimensi 15 x 15 x 60 cm, kebutuhan material disesuaikan volume cetakan. Setiap balok memerlukan komponen beton seperti semen, pasir, kerikil, air serta limbah potongan baja ringan sebesar 2%, 4%, dan 6% . Berikut komposisi campuran beton untuk benda uji berbentuk balok pada tabel dibawah ini :

Tabel 3. Komposisi Campuran Beton Untuk Benda Uji Berbentuk Balok

Komposisi Campuran Beton Benda Uji Balok	Satuan	Beton Normal	Limbah Potongan Baja Ringan 2%	Limbah Potongan Baja Ringan 4%	Limbah Potongan Baja Ringan 6%
Semen	Kg	20,88	20,88	20,88	20,88
Air	L	11,07	11,07	11,07	11,07
Pasir	Kg	40,31	40,31	40,31	40,31
Kerikil	Kg	54,53	54,53	54,53	54,53
Limbah potongan baja ringan	Kg	0	1,091	2,181	3,272

Sumber : Hasil Pengujian 2026

Hasil Uji Slump**Tabel 4. Uji Slump**

No.	Persentase Penambahan Limbah Potongan Baja Ringan	Nilai Slump (cm)
1	Normal 0%	12
2	Penambahan 2%	10
3	Penambahan 4%	9
4	Penambahan 6%	9

Sumber : Hasil Pengujian 2026

Pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa nilai slump beton normal sebesar 12 cm, sedangkan beton dengan penambahan limbah potongan baja ringan 2%, 4%, dan 6% masing-masing menghasilkan nilai slump 10 cm, 9 cm, dan 9 cm. Nilai tersebut masih berada dalam rentang slump yang direncanakan, yaitu 60–180 mm (6–18 cm)

Hasil Pengujian Kapasitas Lentur Matriks Beton**Tabel 5. Hasil Pengujian Kapasitas Lentur Matriks Beton**

Nomor Benda Uji	0%	0%	0%	2%	2%	2%	4%	4%	4%	6%	6%	6%
Usia Pengujian Spesimen (hari)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Lebar Dimensi Sampel (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tinggi Dimensi Sampel (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Berat Sampel (kg)	34	33,8	34	33	33,2	33	33,5	33	33,9	34	34,2	34
Volume Sampel (m ³)	0,0135	0,0135	0,0135	0,0135	0,0135	0,0135	0,0135	0,0135	0,0135	0,0135	0,0135	0,0135
Kerapatan Massa (kg/m ³)	2519	2504	2519	2444	2459	2444	2482	2444	2511	2519	2533	2519
Beban Puncak (kN)	22,65	21,34	21,73	39,53	30,3	32,6	36,2	38,41	30,6	43,3	45	49,2
Beban Maksimum, P (kg)	2310	2176	2216	4031	3094	3321	3688	3916	3120	4420	4589	5015
Jarak Bentang Sampel, L (cm)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Lebar penampang, b (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tinggi Penampang, h (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kuat Lentur Uji (MPa)	3,422	3,223	3,283	5,972	4,58	4,92	5,46	5,802	4,62	6,55	6,8	7,43
Rumus: $\sigma = ((P.L)/(b.h^2))$												
Kapasitas Lentur Rata-rata (MPa)		3,31			5,16			5,30			6,93	

Sumber : Hasil Pengujian 2026

Berdasarkan data pada Tabel 5. nilai kuat lentur rata-rata beton saat mencapai hari ke 28 menunjukkan peningkatan yang signifikan seiring bertambahnya kadar bahan aditif. Campuran beton normal tanpa substitusi memiliki kuat lentur sebesar 3,31 MPa. Angka ini mengalami kenaikan berturut-turut menjadi 5,16 MPa pada variasi 2%, 5,30 MPa pada variasi 4%, hingga mencapai nilai optimum sebesar 6,93 MPa pada variasi kadar limbah potongan baja ringan 6%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan bahan tambah yang digunakan memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat lentur beton. Semakin besar persentase bahan tambah yang digunakan, nilai kuat lentur yang dihasilkan cenderung meningkat, dengan nilai tertinggi diperoleh pada variasi campuran 6%.

Pembahasan

Pengujian kuat lentur beton dilaksanakan pada usia perawatan 28 hari di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan (UNISLA), yakni fase di mana spesimen uji telah mencapai persentase kekuatan rencana utamanya.

Pengujian ini menggunakan mesin uji kuat lentur hidrolik untuk menganalisis kapasitas batas matriks beton dalam mengabsorpsi dan menahan beban lentur ekstrem sebelum mengalami keretakan atau patah. Kuat lentur merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kinerja beton, terutama pada elemen struktur yang menerima beban lentur seperti balok, pelat, dan perkerasan jalan. Berdasarkan hasil pengujian, beton normal tanpa penambahan limbah potongan baja ringan memiliki nilai kuat lentur rata-rata sebesar 3,31 MPa. Pada campuran dengan penambahan limbah potongan baja ringan sebesar 2%, nilai kuat lentur rata-rata meningkat menjadi 5,16 MPa. Selanjutnya, pada variasi campuran limbah potongan baja ringan 4%, diperoleh nilai kuat lentur rata-rata sebesar 5,30 MPa. Nilai tertinggi diperoleh pada campuran limbah potongan baja ringan 6%, yaitu sebesar 6,93 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan limbah potongan baja ringan ke dalam campuran beton memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat lentur beton. Semakin besar persentase limbah potongan baja ringan yang ditambahkan, semakin tinggi pula nilai kuat lentur yang dihasilkan. Peningkatan ini terjadi karena serat atau potongan limbah potongan baja ringan yang tersebar dalam matriks beton mampu membantu menahan dan mendistribusikan tegangan tarik yang timbul akibat pembebanan lentur. Selain itu, keberadaan limbah potongan baja ringan dapat menghambat perkembangan retak sehingga beton menjadi lebih mampu menahan beban sebelum mengalami keruntuhan. Dengan demikian, penggunaan limbah potongan baja ringan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton berpotensi meningkatkan performa beton, khususnya dalam menahan gaya lentur.

SIMPULAN

Berdasarkan pengujian kuat lentur beton umur 28 hari menunjukkan bahwa penambahan limbah potongan baja ringan secara konsisten meningkatkan kualitas mekanis beton mutu rencana f'_c 20 MPa. Kuat lentur rata-rata melonjak dari 3,31 MPa pada beton normal menjadi 5,16 MPa (variasi 2%), 5,30 MPa (variasi 4%), dan mencapai puncaknya sebesar 6,93 MPa pada variasi 6%. Pola data ini menegaskan bahwa penambahan limbah baja ringan memperlihatkan peningkatan kekuatan yang positif. Maka dari itu, limbah potongan baja ringan ini layak dimanfaatkan sebagai bahan pengisi alternatif untuk kekuatan lentur sekaligus mengoptimalkan pengelolaan limbah padat konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ala, P., Arruan, H., & Razak, B. A. (2021). Mutu Dan Berat Volume Beton Menggunakan Bahan Agregat Kasar Daur Ulang Bongkaran Bangunan. 70–75.
- Anggi Suryani, Sri Hartati Dewi, & Harmiyati. (2021). Korelasi Kuat Lentur Beton Dengan Kuat Tekan Beton. *Jurnal Saintis*, 18(2), 43–54.
- Arum, B. S., & Windari, A. C. (2025). Analisis Kinerja Material Beton dengan Substitusi Limbah Plastik sebagai Agregat Halus untuk Konstruksi Berkelanjutan di Indonesia. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 5, 2918–2926.
- Bahar, F. F., & Wiranto, S. (2024). Inovasi Material dalam Beton Berkelanjutan: Studi Literatur tentang Pemanfaatan *Fly Ash* dengan Peningkatan Kekuatan Beton. *Jurnal Engineering*, 6(1), 47–52.
- Fatimah, D., Susilo, D., & Bhayusukma, M. Y. (2021). Pengaruh Penambahan Serat Baja Ringan Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Kuat Lentur Pada Beton Mutu Tinggi. 4–6.
- Huwae, D. D. M., Tuanakotta, A., Tutupoho, I., & Uneputti, S. (2023). Pengaruh Variasi Temperatur Air Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton. 2(2), 214–222.
- Manalip, H., & Sumajouw, M. D. J. (2020). Kuat Tekan Beton Dan Tarik Belah Beton Dengan Variasi Persentase Batu Apung Dan Abu Sekam Padi. 8(5), 789–794.
- Marcellino Katiandagho, Diah Ayu Mardika Wati, Bobby Sihite, Melvin, Denta Hasri Adji, & Yuanita FD Sidabutar. (2024). Analisis Durabilitas Beton Jalan Pada Lingkungan Tropis :Wilayah Mangsang Indah Kota Batam. *Zona Sipil: Program Studi Teknik Sipil Universitas Batam*, 14(1), 1–7. <https://doi.org/10.37776/zs.v14i1.1472>
- Maria Prisila Hederanti Itu, Parung, H., & Mara, J. (2021). Study Pemanfaatan Abu Bonggol Jagung Sebagai Bahan Substitusi Semen Untuk Beton Normal. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(4), 558–569. <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i4.335>
- Mikael Wora, & Ndale, F. X. (2022). Penggunaan Bahan Tambah Additon H.E Dalam Campuran Beton Dapat Meningkatkan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton Mutu Normal. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(8.5.2017), 2003–2005.
- Polii, R. A., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2023). Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Agregat Yang Berasal Dari Beberapa Tempat Di Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 3(3), 206–211. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/8159>
- Rosyad, F., & Winanda, A. T. (2024). Analisis Pengujian Penambahan Baja Ringan Untuk Meningkatkan Kuat Lentur Beton. *Rang Teknik Journal*, 7(2), 381–384.
- Septianto, F., Anisah, & Daryati. (2023). Kajian literatur karakteristik beton dalam hal energi fraktur. 1.
- Somantri, S., & Walujodjati, E. (2022). Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Limbah Baja Ringan Terhadap Uji

Kuat Tarik Belah pada Campuran Beton Mutu F'C 20 MPA. Jurnal Konstruksi, 19(2), 383–391.
<https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.19-2.911>

Tommy, A. S., Putra Jaya, R., & Zainudin, A. (2025). Pemanfaatan Bahan Daur Ulang dalam Pembuatan Beton Ramah Lingkungan. Diterima Februari, 1(1), 2025.