

MALITTE

JURNAL MAHAKARYA KONSTRUKSI
ISSN(e) : XXXX-XXXX / ISSN(p) : XXXX-XX

Analisis Perbandingan Kinerja Material Besi Tulangan Baru dan Besi Tulangan Bongkaran

Diska Mentari Usman¹, Saripuddin M², Andi Muh. Ashad Sadiq³

¹Universitas Islam Makassar, ²Universitas Islam Makassar, ³Universitas Islam Makassar
1diskamentariusman@gmail.com, 2saripuddinmuddin@uim-makassar.ac.id,
3am.ashad.shadiq@uim-makassar.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja material besi tulangan baru dan besi tulangan bongkaran dalam pekerjaan renovasi gedung, dengan fokus kepada efektivitas, kekuatan, dan ketahanan material sebagai bahan konstruksi. Masalah utama yang diangkat adalah perbedaan kekuatan struktur dan pengaruh masing-masing jenis besi terhadap kualitas bangunan. Metode yang digunakan meliputi pengujian mekanik, khususnya uji tarik, untuk menilai kekuatan luluh, kekuatan tarik maksimum, dan modulus elastisitas kedua jenis besi sesuai standar pengujian internasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besi tulangan baru memiliki karakteristik mekanik yang lebih konsisten dan memenuhi standar SNI, sedangkan besi tulangan bongkaran mengalami penurunan kinerja akibat deformasi, proses pembongkaran, dan paparan korosi. Meskipun demikian, besi bongkaran masih dapat dimanfaatkan sebagai alternatif ekonomis jika lolos uji mutu, namun penggunaannya perlu dibatasi pada struktur non-kritis. Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan material harus mempertimbangkan aspek efisiensi biaya, keberlanjutan lingkungan, serta standar keselamatan konstruksi. Temuan ini berkontribusi pada upaya optimalisasi pemanfaatan limbah konstruksi, mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan, dan memberikan dasar pertimbangan bagi pelaku industri konstruksi dalam memilih material yang tepat untuk renovasi gedung.

Kata Kunci : besi tulangan baru, besi tulangan bongkaran, kekuatan tarik, konstruksi, limbah bangunan.

Abstract

This study aims to compare the performance of new reinforcing steel and scrap reinforcing steel in building renovation work, with a focus on the effectiveness, strength, and durability of the materials as construction materials. The main issues raised are the differences in structural strength and the influence of each type of steel on building quality. The methods used include mechanical testing, particularly tensile testing, to assess the yield strength, maximum tensile strength, and elastic modulus of both types of steel in accordance with international testing

standards. The research results indicate that new reinforcing steel has more consistent mechanical characteristics and meets SNI standards, while scrap reinforcing steel experiences a decline in performance due to deformation, the dismantling process, and exposure to corrosion. However, scrap steel can still be utilised as an economical alternative if it passes quality tests, but its use should be limited to non-critical structures. The implications of this research indicate that material selection must consider aspects of cost efficiency, environmental sustainability, and construction safety standards. These findings contribute to efforts to optimise the utilisation of construction waste, support the principles of sustainable development, and provide a basis for consideration by the construction industry in selecting appropriate materials for building renovations.

Keywords: *New reinforcing steel, scrap reinforcing steel, tensile strength, construction, construction waste.*

I. PENDAHULUAN

Indonesia telah mengalami pembangunan infrastruktur, termasuk Lembaga publik, pabrik dan konstruksi bangunan. Perkembangan ini dapat menyebabkan peningkatan limbah konstruksi. Penurunan konstruksi yang dihasilkan akan bervariasi tergantung pada jenis konstruksi dan manajemen proyek. Limbah konstruksi memiliki efek buruk seperti polusi tanah dan degradasi lingkungan. Limbah konstruksi berupa fisik dan tergolong menjadi *inert* dan *non inert*. Limbah konstruksi yang termasuk *inert* adalah sisa potongan besi, batu pecah, kaleng dan ember cat (Henvy, Sophia, & Dermawan, 2023). Jumlah produksi *slag* besi baja tergolong tinggi. Pada tahun 2010 produksi *slag* di Indonesia sekitar 800 ribu ton per tahun, dimana setiap ton produksi baja menghasilkan 20 persen limbah *slag*. Studi ini tentang limbah konstruksi berfokus pada penyelidikan pengelolaan limbah dalam pembangunan proyek konstruksi. Studi perbandingan

kinerja pemanfaatan besi baru dan besi bongkaran dalam pekerjaan renovasi gedung menjadi semakin relevan seiring dengan meningkatnya penelitian terhadap keberlanjutan dan efisiensi sumber daya dalam konstruksi (Aji, Firmawan, & Widyarani, 2024).

Konstruksi memiliki peran penting dalam pembangunan infrastruktur, tetapi juga berkontribusi pada masalah lingkungan karena penggunaan sumber daya alam dan produksi limbah. Meski menggunakan besi baru dalam konstruksi, menjamin kualitas dan kekuatan, memiliki dampak negatif lingkungan karena proses produksinya yang intensif energi. Di sisi lain, besi bongkaran yang berasal dari proyek konstruksi dapat digunakan sebagai sumber daya alternatif yang berkelanjutan (Henong & Naikofi, 2021).

Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja pemanfaatan besi baru (*Rebar*) dan besi bongkaran non-lebur (*Scrap*) dalam renovasi gedung dengan fokus pada efektivitas, kekuatan, dan ketahanan material sebagai bahan konstruksi. Studi tersebut menilai aspek teknis seperti kekuatan tarik serta mempertimbangkan biaya dan dampak lingkungan dari penggunaan kedua jenis besi tersebut. Diharapkan hasil penelitian ini dapat mendukung penerapan renovasi yang lebih hemat biaya dan ramah lingkungan, sekaligus mendorong optimalisasi pemanfaatan limbah konstruksi untuk mengurangi limbah dan menjaga sumber daya alam. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada peningkatan efisiensi renovasi sekaligus mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan.

Rumusan Masalah

1. Apa Perbandingan Kinerja antara kekuatan Tulangan Baru (*Rebar*) dan Tulangan Bongkaran (*scrap*)?
2. Apa Perbedaan Karakteristik Fisik Antara Besi tulangan baru dan besi tulangan bongkaran?

Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, peneliti membahas tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi tingkat kekuatan material besi tulangan pada proyek konstruksi
2. Mengevaluasi kinerja besi tulangan baru dan tulangan bongkaran pada proyek konstruksi bangunan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan ialah penelitian kuantitatif. Dimana penelitian ini menggunakan cara pengamatan secara visual di lapangan, metode tersebut merupakan acuan yang digunakan peneliti untuk mendapatkan data serta permasalahan yang ada pada objek penelitian. Data yang diperoleh nantinya akan dianalisis dengan uji lab. Yang di uji nantinya merupakan besi hasil bongkaran konstruksi bangunan dan besi baru dengan merek, tipe serta diameter yang sama.

Studi Literatur

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur untuk mengidentifikasi jenis tipe besi yang di gunakan pada proyek konstruksi. Pengambilan sumber pustaka yang digunakan dipilih berdasarkan relevansinya dengan topik penelitian, selain itu mempelajari beberapa pustaka yang menjadi sumber penelitian untuk dasar pengetahuan dalam melakukan studi ini. Studi literatur ini akan menghasilkan data sekunder, yaitu data yang diperoleh atau dikumpulkan oleh orang yang melakukan penelitian dari sumber-sumber yang telah ada. Adapun data sekunder dari penelitian ini seperti gambar dan peraturan mengenai teori yang sudah ada dan di kumpulan oleh peneliti sebelumnya.

Metode Survey

Tujuan dalam melakukan survey lapangan untuk melakukan persiapan lokasi atau objek yang akan digunakan dalam penelitian. Dalam tahap ini bertujuan untuk mendapatkan data primer, yaitu data yang dikumpulkan atau diperoleh langsung di lapangan oleh peneliti.

Pengumpulan Data

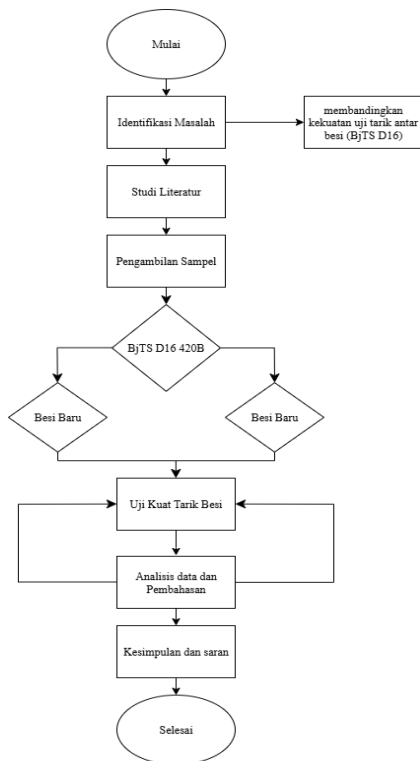
Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan serta hasil uji laboratorium untuk mendapatkan data primer, seperti mengidentifikasi jenis tipe besi yang digunakan serta hasil uji laboratoriu. Data sekunder dikumpulkan oleh peneliti itu sendiri yang nantinya akan diklasifikasikan berdasarkan tingkat kekuatan dan kelenturan besi serta beberapa acuan dari buku, internet dan teori-teori pendukung lainnya yang berkaitan

Analisis Data

Metode analisa data menggunakan data lapangan dan data teori untuk menentukan tingkat keberhasilan penelitian ini, dan melakukan survey serta investigasi pada lokasi yang akan di teliti. Setelah melakukan pengumpulan data di lapangan, selanjutnya akan dilanjutkan dengan uji lab. Analisa data di lakukan dengan hasil data yang dikumpulkan dilapangan dan hasil uji lab lalu di hitung menggunakan aplikasi microsoft excel. Adapun data yang akan di hitung atau di analisa antara lain sebagai berikut ini:

- Menganalisis kinerja besi tulangan baru dan tulangan bongkaran
- Kekuatan luluh (titik transisi elastis-plastis)
- Kekuatan tarik maksimum
- Elongasi saat patah
- Modulus elastisitas

Alur Bagan Penelitian



Gambar 2.1. Alur bagan penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian

Pengujian kuat tarik besi yang dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Hasanuddin merupakan pengujian terhadap kuat tarik besi baru dan besi sisa bongkaran pada tulangan utama kolom. Dalam kuat tarik besi menggunakan (SNI 2052-2017, 2017)

Berdasarkan data yang telah di peroleh dari hasil Tensil Test, Maka diperoleh data sebagai berikut:

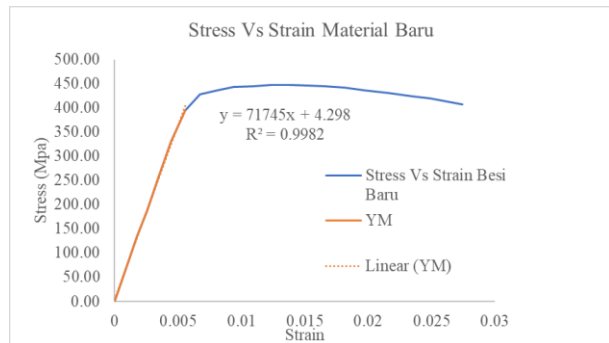
Tabel 1 .1 Data Hasil Pengujian Tarik Besi Tulangan Baru

Jenis Uji	Data Hasil Uji Tarik	
	SAMPPEL RM D16 SNI BJTS 420B	
Standar Uji Tarik	SNI 2052 : 2017	
Spesimen	SAMPPEL RM D16 / RM / SNI BJTS 420B	
Panjang Benda Uji (L1), mm	200	
Panjang Benda Uji (L), mm	398	
Berat Benda Uji, Kg	0.597	
Dia. Benda Uji, mm	15.59	
Luas Penampang, mm ²	190.985	
Beban Ulur, KN	78.20	
Beban Tarik Maks., KN	114.00	
Kekuatan Ulur, N/mm ²	409.46	
Kekuatan Tarik Maks., N/mm ²	596.90	
Panjang Putus (L2),mm	255	
Regangan, %	27.50	

Sumber: Data Processing result, 2025

Pada tabel 1, Hasil uji tarik menunjukkan bahwa besi ulir diameter 15.59 mm memiliki tegangan luluh sebesar 409.46 N/mm². Tegangan tarik maksimum

yang dicapai adalah 596.90 N/mm². Nilai ini menunjukkan kekuatan maksimum yang dapat ditahan oleh besi ulir sebelum mengalami patah. Persentase Regangan sebesar 27% menggambarkan tingkat keuletan material, yaitu kemampuan besi ulir untuk mengalami deformasi sebelum patah.



Gambar 3.1 Grafik Stress Vs Strain Material Baru

Sumber: Hasil Uji Tarik

Grafik ini menampilkan hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada besi tulangan baru hasil uji tarik. Kurva yang dihasilkan menunjukkan karakteristik mekanik besi tulangan baru yang umumnya bersifat linier pada tahap awal (daerah elastis), di mana material masih dapat kembali ke bentuk semula setelah beban di lepaskan. Setelah melewati titik luluh (*yield point*), grafik memperlihatkan transisi ke daerah plastis, dimana terjadi deformasi permanen hingga akhirnya mencapai titik maksimum (*Ultimate strength*) dan patah. Grafik ini menegaskan bahwa besi tulangan baru memiliki nilai kekuatan luluh dan kekuatan tarik maksimum yang tinggi serta modulud elastisitas yang konsisten, memenuhi standar SNI untuk baja tulangan beton. Kurva yang mulus dan teratur menunjukkan kualitas material yang baik dan homogenitas struktur internal besi baru.

Tabel 1.2 Data Hasil Uji Tarik Besi Tulangan Bongkaran

Jenis Uji	Data Hasil Uji Tarik	
	SAMPPEL RM D16 SNI BJTS 420B	
Standar Uji Tarik	SNI 2052 : 2017	
Spesimen	SAMPPEL RM D16 SNI BJTS 420B	
Panjang Benda Uji (L1), mm	200	
Panjang Benda Uji (L), mm	400	
Berat Benda Uji, Kg	0.615	
Dia. Benda Uji, mm	15.78	
Luas Penampang, mm ²	195.633	
Beban Ulur, KN	73.80	
Beban Tarik Maks., KN	105.40	
Kekuatan Ulur, N/mm ²	377.24	
Kekuatan Tarik Maks., N/mm ²	538.76	
Panjang Putus (L2),mm	259	
Regangan, %	29.5	

Sumber: Data Processing result, 2025

Pengujian dilakukan pada spesimen baja tulangan ulir berdiameter nominal 15.78 mm (D16) dengan mutu BJTS 420B. Spesimen memiliki panjang uji 200 mm, berat 0.615 kg, dan luas penampang 195,633 mm²

Pengujian tarik diperoleh kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 377,24 N/mm² dan kekuatan tarik

maksimum (*ultimate tensile strength*) 538,76 N/mm². Regangan yang tercatat saat pengujian adalah 29,50%

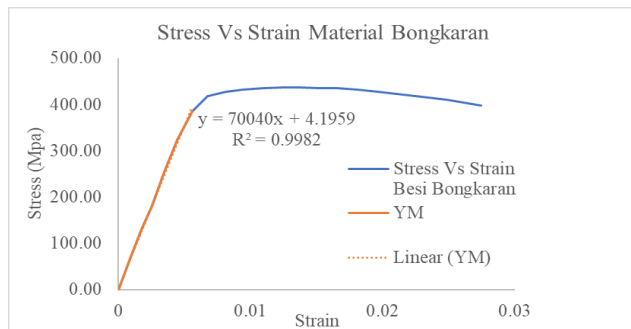
Tabel 1.3 Data Hasil Pengujian Besi Tulangan Bongkaran

Jenis Besi	Diameter (mm)	Batas Ulur (N/mm ²)	Kuat Tarik N/mm ²	Regangan %
Besi Baru	15.59	409.46	596.9	27.5
Besi Bongkaran	15.78	377.24	538.76	29.5

Sumber: Output Pengujian Kuat Tarik Besi

Pada Tabel 1.3 Hasil uji tarik menunjukkan bahwa besi tulangan bongkaran memiliki batas ulur (*yield strength*) sebesar 377,24 N/mm². Nilai ini menggambarkan tegangan maksimum yang dapat ditahan besi sebelum mengalami deformasi plastis permanen. Kuat tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) yang di capai adalah 538,76 N/mm², yang menunjukkan kemampuan material menahan beban maksimum sebelum putus.

Regangan total yang tercatat pada saat putus sebesar 29.50%. Nilai regangan ini menandakan tingkat kelenturan (*ductility*) besitulangan, yang relative tinggi dan menunjukkan bahwa material masih mampu mengalami deformasi yang cukup besar sebelum mengalami kegagalan.



Gambar 3.2 Grafik Stress Vs Strain Material Bongkaran
Sumber: Olah Data

Grafik ini memperlihatkan hubungan tegangan-regangan pada besi tulangan bongkaran yang telah melalui proses penggunaan dan pembongkaran. Dibandingkan dengan grafik material baru, kurva *stress-strain* besi bongkaran cenderung menunjukkan penurunan kinerja mekanik. Pada tahap elastis, grafik masih menunjukkan kecenderungan linier, namun setelah titik luluh, kurva mengalami penurunan yang lebih cepat, menandakan adanya deformasi plastis yang lebih besar dan kekuatan tarik maksimum yang lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh faktor-faktor seperti deformasi selama penggunaan sebelumnya, paparan korosi serta kemungkinan cacat akibat proses pembongkaran. Grafik ini menggambarkan bahwa meskipun besi bongkaran masih dapat menahan beban tarik, namun performanya tidak sebaik besi baru dan

terdapat variasi kualitas yang lebih besar antara spesimen. Oleh karena itu, penggunaan besi bongkaran sebaiknya dibatasi pada struktur non-kritis dan harus melalui seleksi mutu yang ketat

Tabel 1 4 Perbandingan Kuat Tarik Besi

uraian	Hasil				SNI 2052-2017			Mutu	Ket
	Diameter (mm)	Fy (Mpa)	Fu (Mpa)	ε (%)	fy min (Mpa)	fu min (Mpa)	ε (%)		
Besi Baru	15.59	409	596.9	27.5	420	525	14	BjTS 420	Memenuhi
Besi Bongkara	15.78	377.24	538.8	29.5	420	525	14	BjTS 420	Tidak Memenuhi

Sumber: Olah Data

Hasil pengujian menunjukkan bahwa besi tulangan baru memiliki kuat tarik (*Fu*) sebesar 665 MPa dan kuat luluh (*Fy*) sebesar 494 MPa. Nilai ini memenuhi persyaratan minimum yang ditetapkan dalam SNI 2052-2017 untuk mutu BjTS 420, yaitu kuat tarik minimum 525 MPa dan kuat luluh minimum 420 MPa. Persentase elongasi besi tulangan baru mencapai 20%, yang juga memenuhi persyaratan minimum SNI 2052-2017 sebesar 14%.

Besi tulangan bongkaran memiliki kuat tarik (*Fu*) sebesar 538.76 MPa dan kuat luluh (*Fy*) sebesar 377.24 MPa. Kuat tarik besi tulangan bekas masih memenuhi persyaratan minimum SNI 2052-2017 untuk mutu BjTS 420, namun kuat luluhnya tidak memenuhi standar. Persentase elongasi besi tulangan bongkaran mencapai 29.5%, yang memenuhi persyaratan minimum SNI 2052-2017 sebesar 14%.

3.2 Pembahasan

Rekonstruksi pembangunan merupakan proses pembangunan ulang atau renovasi yang bertujuan memperbaiki atau memperkuat struktur bangunan. Dalam konteks rekonstruksi, pemilihan material menjadi aspek penting guna memastikan efisiensi pembangunan, pengurangan limbah serta keberlanjutan lingkungan. Salah satu isu krusial adalah pemanfaatan besi tulangan, baik baru maupun bongkaran. Besi tulangan baru sangat direkomendasikan untuk digunakan pada bagian utama struktur karena memiliki kekuatan, konsistensi mutu, serta memenuhi standar SNI 2052-2017. Sementara itu, besi tulangan bongkaran dapat digunakan sebagai alternatif ekonomis untuk elemen non-struktural atau bagian sekunder yang tidak menanggung beban utama, sepanjang masih memenuhi syarat kekuatan dan ketahanan korosi berdasarkan hasil pengujian. Penggunaan besi bongkaran tidak hanya membantu menekan biaya proyek, tetapi juga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan melalui pengurangan limbah dan pemanfaatan kembali material hasil bongkaran.

Secara teoritis, besi tulangan baru memiliki karakteristik mekanik yang lebih unggul dan konsisten, sebagaimana diatur dalam SNI 2052:2014 dan didukung oleh penelitian (Budi, 2011) yang menyebutkan bahwa

kekuatan luluh (f_y) besi baru 409.46 N/mm^2 dan kekuatan tarik (f_u) 596.90 N/mm^2 . Hasil pengujian pada penelitian ini membuktikan bahwa besi tulangan baru yang diuji memenuhi standar tersebut, dengan nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang stabil di seluruh sampel. Hal ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa baja baru menunjukkan deformasi seragam dan keandalan tinggi dalam aplikasi struktural.

Sebaliknya, besi tulangan bongkaran menunjukkan variasi kinerja yang lebih besar. Penurunan kekuatan tarik pada besi bongkaran disebabkan oleh deformasi plastis, proses pelurusan ulang, serta paparan korosi selama masa pakai sebelumnya. Fenomena ini telah dijelaskan dalam literatur Teknik sipil (Steel, 2025) dan diperkuat oleh hasil pengujian di penelitian ini, di mana beberapa sampel besi bongkaran tidak lagi memenuhi standar kekuatan minimum yang di persyaratkan. Namun, Sebagian sampel masih menunjukkan kekuatan tarik yang mendekati standar, sehingga memungkinkan pemanfaatan terbatas pada bagian non-struktural atau proyek dengan risiko rendah.

Dari sisi efisiensi biaya, hasil penelitian ini konsisten dengan temuan-temuan sebelumnya (Henong & Naikofi, 2021) yang menyatakan bahwa pemanfaatan limbah besi dapat menekan biaya material secara signifikan. Penggunaan besi bongkaran pada proyek renovasi terbukti lebih ekonomis dibandingkan besi baru, terutama pada proyek dengan anggaran terbatas. Namun, efisiensi biaya ini harus diimbangi dengan pengujian mutu dan seleksi material yang ketat agar tidak mengorbankan aspek keselamatan struktur.

Analisis dampak lingkungan dalam penelitian ini juga sesuai dengan literatur yang menekankan pentingnya prinsip pembangunan berkelanjutan. Studi (Aji et al., 2024) menyoroti bahwa pemanfaatan limbah besi sebagai material konstruksi dapat mengurangi volume limbah dan kebutuhan produksi besi baru yang sangat intensif energi. Hasil penelitian ini mendukung argument tersebut, di mana penggunaan besi bongkaran berkontribusi pada pengurangan limbah konstruksi dan konversi sumber daya alam.

Temuan penelitian ini juga menyoroti pentingnya integrasi antara perencanaan yang matang misalnya, melalui Bar Bending Schedule/BBS dan pemastian mutu material. Seperti yang diungkapkan oleh (Datin, 2020) dan (Mursid et al., 2023), perencanaan yang baik dapat meminimalisir waste besi tulangan dan memastikan penggunaan material secara efisien. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa optimalisasi penggunaan besi bongkaran sangat bergantung pada proses seleksi dan pengujian yang ketat, serta perencanaan yang terintegrasi.

Secara keseluruhan, hasil temuan penelitian ini dapat menjawab pertanyaan penelitian secara

komprehensif. Perbandingan kinerja antara besi tulangan baru dan bongkaran telah dianalisis dari segi kekuatan struktur, efisiensi biaya, dan dampak lingkungan. Besi tulangan baru tetap menjadi pilihan utama untuk struktur utama yang membutuhkan kekuatan tinggi, sedangkan besi bongkaran dapat digunakan secara selektif pada bagian non-struktural atau sebagai upaya efisiensi biaya dan ramah lingkungan.

Penelitian ini juga memberikan kontribusi praktis dalam mendorong penerapan prinsip pembangunan berkelanjutan di bidang konstruksi, khususnya melalui pemanfaatan limbah besi yang selama ini kurang dimanfaatkan. Implikasi dari temuan ini diharapkan menjadi acuan bagi praktisi dan pengambilan kebijakan dalam menentukan strategi pemilihan material pada proyek renovasi gedung

IV. KESIMPULAN

1. Penelitian menunjukkan bahwa besi tulangan baru memiliki karakteristik mekanik yang lebih unggul dan konsisten dibandingkan besi tulangan bongkaran. Besi tulangan baru memenuhi standar SNI, dengan kekuatan luluh (f_y) 494 Mpa dan kekuatan tarik (f_u) 665 Mpa , serta Elongation 20%. Nilai-nilai ini memastikan bahwa besi baru sangat andal untuk digunakan pada struktur bangunan utama yang memerlukan standar keselamatan tinggi. Sebaliknya, besi tulangan bongkaran cenderung mengalami penurunan kinerja akibat deformasi, proses pelurusan ulang, serta paparan korosi selama masa penggunaan sebelumnya. Hal ini menyebabkan kekuatan tarik dan elastisitasnya tidak setara dengan besi baru dan sering kali tidak memenuhi standar mutu yang disyaratkan untuk struktur kritis.
2. Penggunaan besi tulangan baru memberikan jaminan kekuatan struktur yang lebih baik dan konsisten, sehingga sangat direkomendasikan untuk bagian-bagian bangunan yang memiliki peran penting dalam menahan beban utama. Sementara itu, besi tulangan bongkaran, meskipun dapat dimanfaatkan sebagai alternatif ekonomis, penggunaannya sebaiknya dibatasi pada struktur non-kritis atau elemen sekunder yang tidak menanggung beban utama. Hal ini karena variasi kualitas dan potensi penurunan kekuatan pada besi bongkaran dapat berisiko terhadap integritas dan keselamatan struktur struktur jika digunakan pada bagian vital bangunan. Oleh karena itu, pemilihan material harus mempertimbangkan aspek efisiensi biaya, keberlanjutan lingkungan, dan tetap mengutamakan standar keselamatan konstruksi.

REFERENSI

- [1] 07-2529, S. (1991). Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton. *Sni 07-2529-1991*, 1–9.
- [2] Aji, P., Firmawan, F., & Widyarini, G. (2024). Kajian Pengelolaan Limbah Konstruksi pada Proyek Pembangunan Gedung Roudlatul Ulum Terpadu Nurul Huda Kabupaten Kudus. (2004).

- [3] Ayu, I., Sri, P., Artana, I. W., Indriani, M. N., & Yuyun, N. M. (2024). Perbandingan waste besi tulangan pelaksanaan proyek konstruksi dengan perhitungan bar bending schedule (studi kasus : proyek pembangunan M & G Villa , Jalan Pantai Berawa , Canggu , Kecamatan Kuta Utara , Kabupaten Badung – Bali), *13*, 199–203.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, (8), 720.
- [5] Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2014). SNI 2052-2014. *Standar Nasional Indonesia*, 1–11. Retrieved from www.bsn.go.id
- [6] Budi, G. S. (2011). Pengujian Kuat Tarik Dan Modulus Elastisitas Tulangan Baja (Kajian Terhadap Tulangan Baja Dengan Sudut Bengkok 45, 90, 135). *Jurnal Teknik Sipil*, *11*(1). <https://doi.org/10.26418/jtsft.v11i1.1070>
- [7] Cindy Larasati. (2023). sisa material konstruksi : penyebab, cara mengelola dan pengendalian. Retrieved May 5, 2025, from <https://depobeta.com/magazine/artikel/sisa-material-konstruksi:-penyebab-cara-mengelola-dan-pengendalian/>
- [8] Datin, I. I. (2020). Evaluasi Perhitungan Material Dan Biaya Besi Pada Proyek. *Jurnal Student Teknik Sipil*, *1*(2), 82–86.
- [9] Henong, S. B., & Naikofi, M. I. R. (2021). Analisis Faktor Penyebab Construction Waste dan Pengelolaannya Serta Dampaknya Terhadap Biaya. *Jurnal Deformasi*, *6*(2), 60. <https://doi.org/10.31851/deformasi.v6i2.5990>
- [10] Henvy, F. Y., Sophia, A. V., & Dermawan, D. (2023). Identifikasi Jenis Limbah Konstruksi pada Proyek Konstruksi Pabrik Minyak Goreng. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, *6*(1), 181–186.
- [11] ISO 15630-1 / ASTM E488 / BS 4449: Pengujian baja tulangan beton. (n.d.). Retrieved from <https://www.zwickroell.com/id/industri/logam/standar-logam/baja-tulangan-beton-en-iso-15630-1-astm-e488/#mainnav>
- [12] Kalibrasi. (2023). Tujuan dan Manfaat Uji Tarik Besi dalam Industri. Retrieved from Tujuan dan Manfaat Uji Tarik Besi dalam Industri
- [13] Muddin, S., Jamaluddin, J., Eka Putra, R., & Sahrul, S. (2021). Analisis Kekuatan Tarik Pengaruh Perlakuan Panas Hasil Pengelasan Kampuh V Baja 42 Dengan Media Pendingin Air Dan Oli. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, *16*(1), 6–10. <https://doi.org/10.47398/iltek.v16i1.584>
- [14] Mursid, M., Nurwidyaningrum, D., & Setiawan, Y. (2023). Asesmen Kelayakan Material Praktek Konstruksi Baja di Teknik Sipil PNJ untuk Menghasilkan Produk Layak Jual. *Journal of Research and Inovation in Civil Engineering as Applied Science (RIGID)*, *1*(1), 1–5. <https://doi.org/10.58466/rigid.v1i1.1178>
- [15] Negara, J. B. (2019). Analisis Sisa Material Besi Tulangan pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung. *Rekayasa Teknik Sipil*, *7*(4), 1–11.
- [16] Saputra, R., & Widjayanto, A. (2019). Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik Connecting Rod Asli Dengan Imitasi Pada Sepeda Motor. *Bina Teknika*, *15*(1), 13. <https://doi.org/10.54378/bt.v15i1.885>
- [17] SNI 2052-2017. (2017). Baja Tulangan Beton. *Sni 2052-2017*, 13.
- [18] Steel, P. (2025). Besi Tulangan: Jenis, Manfaat, dan Kesalahan yang Harus Dihindari. Retrieved May 4, 2025, from <https://perwirasteel.com/blog/besi-tulangan/>
- [19] Yudha Apriyadi. (2020). Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Dari Sisa Pengerjaan Bubut Besi Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Beton Dengan Faktor Air Semen (Fas) 0,4, 1–65. Retrieved from <https://repository.uir.ac.id/14359/>

