

Perhitungan Kebutuhan dan *Waste* Tulangan Kolom dan Balok Menggunakan Metode BBS pada Gedung PTTUN Medan

Ryandi Mahendra¹, Yolanda Febrianti Hutapea², dan Alfiani^{3*}

¹Politeknik Negeri Medan, ryandimahendra@gmail.com

²Politeknik Negeri Medan, yolandahutapea92@gmail.com

³Politeknik Negeri Medan, alfiani@polmed.ac.id

*Korespondensi email: alfiani@polmed.ac.id

Abstract: Efficient reinforcement steel management plays a significant role in controlling construction costs in building projects. Inaccurate estimation of reinforcement requirements may lead to excessive material waste and reduced project efficiency. This study aims to determine the reinforcement requirements and evaluate the percentage of reinforcement waste in column and beam elements using the Bar Bending Schedule (BBS) method in the State Administrative High Court (PTTUN) Building Project, Medan. The research employed a quantitative descriptive approach using secondary data obtained from shop drawings. Reinforcement calculations were performed in accordance with SNI 2847:2019 and SNI 2052:2024, while waste evaluation referred to SNI 7394:2008. The Bar Bending Schedule was developed using Microsoft Excel to determine cutting lengths, reinforcement quantities, and material waste accurately by considering development length, lap splice, and bend deduction. The results indicate that the waste percentage varies according to reinforcement diameter, with the lowest value recorded for D19 reinforcement (4.89%), followed by D10 (6.97%) and D22 (8.57%). Overall, the waste percentage remained within the acceptable range of 5-20% specified in SNI 7394:2008. These findings demonstrate that the Bar Bending Schedule method is effective in improving reinforcement estimation accuracy and minimizing material waste in building construction projects.

Keywords: Bar Bending Schedule, reinforcement requirement, waste, column, beam

Abstrak: Pengelolaan baja tulangan yang efisien merupakan salah satu aspek penting dalam pengendalian biaya pada proyek konstruksi gedung. Ketidaktepatan perhitungan kebutuhan tulangan dapat menyebabkan peningkatan sisa material (*waste*) sehingga mengurangi efisiensi pelaksanaan proyek. Penelitian ini bertujuan menghitung kebutuhan tulangan serta mengevaluasi persentase *waste* pada elemen kolom dan balok menggunakan metode *Bar Bending Schedule* (BBS) pada Proyek Pembangunan Gedung Pengadilan Tinggi Tata Usaha Negara (PTTUN) Medan. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan data sekunder berupa *shop drawing*. Perhitungan tulangan dilakukan berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019 dan SNI 2052:2024, sedangkan evaluasi *waste* mengacu pada SNI 7394:2008. Analisis dilakukan menggunakan *Bar Bending Schedule* berbasis Microsoft Excel untuk menentukan panjang potongan, jumlah kebutuhan tulangan, dan persentase sisa material dengan mempertimbangkan panjang penyaluran, sambungan lewatan, serta koreksi tekukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase *waste* berbeda pada setiap diameter tulangan, dengan nilai terendah pada diameter 19 mm sebesar 4,89%, diikuti diameter 10 mm sebesar 6,97%, dan diameter 22 mm sebesar 8,57%. Secara keseluruhan, persentase *waste* berada pada rentang 5-20% sesuai batas toleransi yang ditetapkan dalam SNI 7394:2008. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode *Bar Bending Schedule* efektif dalam meningkatkan ketelitian perhitungan kebutuhan tulangan sekaligus mengoptimalkan penggunaan material pada proyek konstruksi gedung.

Kata kunci: Bar Bending Schedule, kebutuhan tulangan, *waste*, kolom, balok

PENDAHULUAN

Peningkatan pembangunan gedung di Indonesia mendorong kebutuhan akan pengelolaan proyek yang lebih efektif dan efisien, terutama dalam penggunaan material konstruksi. Baja tulangan merupakan salah satu material utama yang memberikan kontribusi besar terhadap biaya proyek. Material konstruksi dapat menyumbang

sekitar 40-60% dari total biaya proyek, sehingga ketidaktepatan dalam menghitung kebutuhan tulangan berpotensi meningkatkan pemborosan material dan biaya pelaksanaan. Oleh karena itu, diperlukan metode perhitungan yang mampu menghasilkan estimasi kebutuhan tulangan secara akurat sehingga penggunaan material menjadi lebih efisien.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam perencanaan kebutuhan tulangan adalah *Bar Bending Schedule* (BBS). Metode ini menyajikan informasi detail mengenai bentuk, ukuran, panjang potongan, jumlah batang, serta berat tulangan berdasarkan gambar kerja (*shop drawing*). Perhitungan dilakukan dengan memperhatikan ketentuan panjang penyaluran, sambungan lewatan, panjang kait, dan koreksi tekukan sesuai standar yang berlaku. Dengan demikian, metode *Bar Bending Schedule* tidak hanya meningkatkan ketelitian dalam perhitungan kebutuhan tulangan, tetapi juga membantu mengoptimalkan pola pemotongan sehingga sisa material dapat diminimalkan.

Proyek Pembangunan Gedung Pengadilan Tinggi Tata Usaha Negara (PTTUN) Medan merupakan proyek gedung bertingkat yang menggunakan berbagai variasi diameter tulangan pada elemen kolom dan balok. Variasi dimensi elemen struktur serta kebutuhan penulangannya menyebabkan proses perencanaan pemotongan baja menjadi lebih kompleks. Apabila tidak direncanakan secara sistematis, kondisi tersebut berpotensi menghasilkan *waste* yang dapat meningkatkan kebutuhan material dan biaya proyek. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan menghitung kebutuhan tulangan kolom dan balok menggunakan metode *Bar Bending Schedule* serta mengevaluasi persentase *waste* yang dihasilkan pada setiap diameter tulangan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam penerapan metode *Bar Bending Schedule* untuk mengoptimalkan penggunaan baja tulangan, mengurangi pemborosan material, dan mendukung pengendalian biaya pada proyek konstruksi gedung.

TINJAUAN LITERATUR

Penggunaan metode *Bar Bending Schedule* (BBS) telah terbukti secara empiris efektif dalam mengendalikan penggunaan material baja tulangan serta menekan akumulasi limbah (*waste*) pada berbagai jenis proyek konstruksi. Penelitian yang dilakukan oleh Nasautama dan Sitompul (2022) pada proyek pembangunan pasar menunjukkan bahwa penerapan BBS pada elemen kolom, balok, dan pelat menghasilkan tingkat *waste* sebesar 10,92%, yang terbukti masih aman dalam ambang batas efisiensi SNI. Sejalan dengan hal tersebut, kajian Armayanti dan Dinata (2024) mengonfirmasi efektivitas BBS dalam mengidentifikasi potensi sisa material sejak tahap perencanaan pada struktur infrastruktur jalan.

Lebih lanjut, tingkat efisiensi yang lebih signifikan ditunjukkan dalam studi Gunarso dkk. (2023) serta Akbar (2025), di mana pemetaan detail BBS berbasis pengelompokan pola potong yang optimal mampu menekan persentase limbah hingga di bawah 5% (masing-masing sebesar 0,65% dan 3,53%). Akbar (2025) juga menekankan bahwa perencanaan berbasis BBS mampu menghasilkan estimasi volume yang jauh lebih presisi dibandingkan metode konvensional, sehingga berdampak langsung pada penghematan biaya material. Temuan-temuan ini memperkuat urgensi penerapan BBS sebagai instrumen perencanaan dan pengendalian material pembesian pada proyek konstruksi gedung.

1. Baja Tulangan

Material penguat berpenampang bundar berbasis *hot rolling* pabrikan dengan panjang standar 12 meter. Terdiri atas Baja Tulangan Polos (BjTP) untuk penulangan

sekunder/sengkan, serta Baja Tulangan Sirip/Ulir (BjTS) yang memiliki daya lekat mekanis lebih tinggi untuk elemen struktur utama.

2. Bar Bending Schedule (BBS)

Metode rekapitulasi data penulangan terperinci berbasis tabel yang menguraikan dimensi, kode bentuk bengkokan, *cutting length* (panjang potongan aktual), jumlah, hingga akumulasi total berat tulangan berdasarkan *shop drawing*.

3. Perhitungan Kebutuhan Tulangan

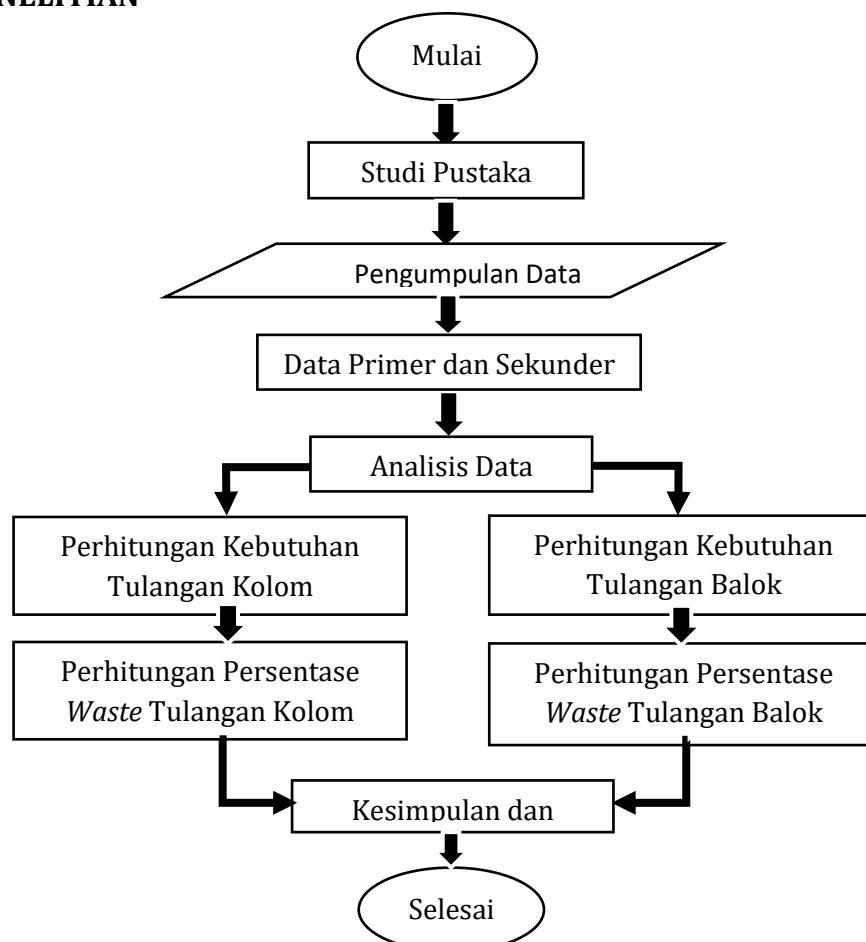
Estimasi kuantitas baja tulangan yang dihitung secara presisi berdasarkan panjang potongan aktual setiap batang. Perhitungan panjang potong aktual tidak hanya mengacu pada dimensi geometris bersih elemen struktur, tetapi juga memperhitungkan panjang penyaluran (Ldh), sambungan lewatan (*overlap*), kait standar (90°, 135°, 180°) dan koreksi tekukan berdasarkan sudut bengkokan. Hasil akhir berupa total kebutuhan tulangan dalam satuan berat.

4. Perhitungan Limbah Tulangan (*Waste*)

Sisa potongan baja tulangan pabrikan yang tidak terpakai akibat ketidaksesuaian modul panjang potong. Menurut SNI 7394:2008, toleransi ambang batas kelayakan *waste* berada pada rentang 5% hingga 20%. Hasil persentase dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Persentase Waste (\%)} = \left(\frac{\text{Berat Tulangan Waste}}{\text{Berat Total Keseluruhan}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

METODE PENELITIAN



Sumber: Dianalisis Penulis

Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode studi kasus. Penelitian ini berfokus pada perhitungan presisi volume kebutuhan material besi dan persentase limbah (*waste*) menggunakan analisis *Bar Bending Schedule* (BBS) berbasis Microsoft Excel. Penelitian dilakukan dengan durasi waktu selama empat bulan, yaitu dimulai dari bulan April 2026 hingga bulan Juli 2026.

Adapun sumber data yang digunakan adalah dokumen primer langsung bersumber dari dokumen proyek yang sudah disetujui berupa *shop drawing* proyek gedung Pengadilan Tinggi Tata Usaha Negara Medan (PTTUN). Didukung oleh dokumen sekunder mengacu pada standar teknik nasional meliputi SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural, SNI 2052:2024 tentang Baja Tulangan Beton, dan SNI 7394:2008 tentang Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan sebagai acuan batasan rentang persentase *waste*.

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui studi dokumen berbasis data primer dan sekunder teknis, yaitu menelaah dokumen gambar kerja penulangan struktur yang telah disetujui (*approved shop drawing*) serta peraturan teknis nasional seperti Standar Nasional Indonesia (SNI). Proses pengumpulan dan pengolahan data teknis tersebut dilaksanakan pada proyek pembangunan gedung Pengadilan Tinggi Tata Usaha Negara (PTTUN) Medan yang berlokasi di Jalan Setia Budi, Gg. Sadaperarih, Kecamatan Medan Selayang, Kota Medan, Sumatera Utara.

Data dimensi dan detail penulangan diperiksa berdasarkan gambar kerja, kemudian perhitungan kebutuhan dan *waste* tulangan dilakukan dengan mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019, SNI 2052:2024, dan SNI 7394:2008. Hasil perhitungan selanjutnya direkapitulasi berdasarkan diameter tulangan untuk memastikan konsistensi antara data awal, hasil perhitungan, dan hasil akhir analisis. Hasil analisis data yang telah diolah disajikan secara sistematis dalam bentuk tabel *Bar Bending Schedule* (BBS) dan tabel rekapitulasi total untuk mempermudah pembacaan data. Tabel BBS merinci bentuk tekukan (*bar shape*), diameter besi, panjang potong aktual, jumlah potongan, hingga volume sisa per elemen struktur. Sementara itu, tabel rekapitulasi total mengelompokkan akumulasi berat kebutuhan material, total berat *waste*, dan persentase *waste* secara komprehensif berdasarkan variasi diameter baja tulangan yang digunakan, yaitu D10 mm, D19 mm, dan D12 mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data teknis dan analisis kebutuhan serta limbah (*waste*) baja tulangan dilaksanakan pada Proyek Pembangunan Gedung Pengadilan Tinggi Tata Usaha Negara (PTTUN) Medan yang berlokasi di Jl. Setia Budi, Gg. Sadaperarih, Kecamatan Medan Selayang, Kota Medan, Sumatera Utara. Objek penelitian difokuskan pada elemen struktur utama, yaitu kolom dan balok lantai 1 serta lantai 2. Analisis dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel berdasarkan penguraian data *approved shop drawing* ke dalam format *Bar Bending Schedule* (BBS).

1. Perhitungan Kebutuhan dan Waste Tulangan Kolom

Perhitungan pada elemen kolom mencakup tulangan utama (longitudinal) dan tulangan geser (sengkan) pada Kolom K1 (45 cm x 45 cm), Kolom K2 (40 cm x 40 cm), dan Kolom K3 (40 cm x 40 cm) untuk Lantai 1 dan Lantai 2. Panjang potong aktual (*cutting length*) dihitung presisi dengan memperhitungkan panjang bentang bersih (L_0), perpanjangan lewatan (*overlap* 40D), penjangkaran (L_{dh}), kait standar, dan koreksi tekukan (*bend deduction*).

Sebagai contoh perhitungan pada kolom K1 Lantai 1 ($L = 4,5$ m; tulangan utama D22 menyambung ke atas):

$$\text{Panjang Potong} = L + 0,5L + 40D + 40D + 12d_b - (0,25 \times \pi \times 6d_b) \quad (2)$$

Dengan panjang batang pabrikan 12 m, jumlah potongan per batang (*cut*) diperoleh 1 batang dengan sisa pemotongan sebesar 3,330 m. Sisa pemotongan tersebut kemudian dialokasikan kembali secara sistematis untuk elemen sekunder yang membutuhkan panjang lebih pendek (seperti balok sekunder atau sengkang). Rekapitulasi total perhitungan tulangan pada elemen kolom disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan dan *Waste* Tulangan Kolom

Diameter	Jumlah Batang	Total Panjang	Total Panjang <i>Waste</i>	Total Berat Kebutuhan	Total Berat	Persen <i>Waste</i>
(mm)	(btg)	(m)	(m)	(kg)	(kg)	(%)
D10	523	6.276	388,448	3.632,620	3.872,292	6,189
D19	464	5.568	245,228	5.831,131	12.394,368	4.404
D22	320	3.840	271,078	9.644,742	11.458,560	7,059

Sumber: Dianalisis Penulis, 2026

2. Perhitungan kebutuhan dan *Waste* Tulangan Balok

Perhitungan elemen balok mencakup seluruh tipe balok induk dan balok anak pada Lantai 1 (G1, G1A, G1B, G2, G3, G4, G4A, G5, G6, G7, G8, B1, B1A, B1B, B2, B2A, B2B, B3, B3A, B3B, B4, B5, B6, B7, CG1, CG2, CG3, CB1) serta Lantai 2 (G1, G2, G4, G4A, G5, B1, B1A, B2, B2A, B3, B4, B5, CG1, CB1, CB2). Perhitungan memisahkan daerah tumpuan dan lapangan, serta memperhitungkan tulangan memanjang bentang, tulangan tumpuan, tulangan lapangan, tulangan pinggang/bagi, dan sengkang. Rekapitulasi kebutuhan dan *waste* balok disajikan terpisah per lantai pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan dan *Waste* Balok Lantai 1

Diameter	Jumlah Batang	Total Panjang	Total Panjang <i>Waste</i>	Total Berat Kebutuhan	Total Berat	Persen <i>Waste</i>
(mm)	(btg)	(m)	(m)	(kg)	(kg)	(%)
D10	764	9.168	632,734	5.235,658	5.656,656	6,902
D19	616	7.386	430,683	13.584,913	16.441,236	5,831
D22	127	1.524	187,665	4.589,132	4.547,616	12,314

Sumber: Dianalisis Penulis, 2026

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan dan *Waste* Balok Lantai 2

Diameter	Jumlah Batang	Total Panjang	Total Panjang <i>Waste</i>	Total Berat Kebutuhan	Total Berat	Persen <i>Waste</i>
(mm)	(btg)	(m)	(m)	(kg)	(kg)	(%)
D10	662	7.938	608,816	3.729,878	4.897,746	7,670
D19	716	8.592	377,299	10.510,691	19.125,792	4,391
D22	88	1.056	91,675	2.877,546	3.151,104	8,681

Sumber: Dianalisis Penulis, 2026

3. Rekapitulasi Total Keseluruhan

Berdasarkan akumulasi perhitungan dari seluruh elemen kolom dan balok Lantai 1 serta Lantai 2, diperoleh total kebutuhan material baja tulangan dan persentase *waste* gabungan proyek yang dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Total Kebutuhan dan *Waste* Tulangan

Diameter	Jumlah Batang	Total Panjang	Total Panjang <i>Waste</i>	Total Berat Kebutuhan	Total Berat <i>Waste</i>	Total Berat <i>Seluruh</i>	Persen <i>Waste</i>
(mm)	(btg)	(m)	(m)	(kg)	(kg)	(kg)	(%)
D10	1.949	23.382	1.630	12.598,16	1.005,71	14.426,69	6,97
D19	1.796	21.546	1.053,21	29.926,73	2.344,45	47.961,40	4,89
D22	535	6.420	550,42	17.111,42	1.642,45	19.157,28	8,57
Total	4.280	51.348	3.233,63	59.636,31	4.992,61	64.303,37	7,7

Sumber: Dianalisis Penulis, 2026

Berdasarkan analisis rekapitulasi pada Tabel 4, total kuantitas tulangan yang dibutuhkan untuk komponen kolom dan balok pada proyek ini adalah sebesar 59.636,31 kg (59,64 ton), dengan akumulasi limbah material (*waste*) sebesar 4.992,61 kg (4,99 ton). Evaluasi terhadap persentase *waste* menunjukkan variasi untuk tiap diameter tulangan, yaitu D19 sebesar 4,89%, D10 sebesar 6,97%, dan D22 sebesar 8,57%. Secara keseluruhan, rata-rata *waste* material berada pada tingkat 7,70%.

Capaian nilai *waste* tersebut mengonfirmasi bahwa pengelolaan material besi pada Proyek Pembangunan Gedung PTTUN Medan berada pada kategori efisien karena telah memenuhi spesifikasi batas toleransi kelayakan yang diatur dalam SNI 7394:2008, yakni berada pada rentang 5% hingga 20%. Rendahnya angka *waste* pada tulangan utama D19 (4,89%) dipengaruhi oleh keberhasilan skema *cutting plan* (rencana pemotongan) yang optimal. Sisa pemotongan panjang dari tulangan utama kolom dan balok induk berhasil dipetakan dan dialokasikan kembali (*reuse*) untuk memenuhi kebutuhan tulangan pada elemen yang lebih pendek, seperti balok anak, balok kantilever, dan penulangan daerah tumpuan/lapangan.

Sebaliknya, persentase *waste* terbesar tercatat pada diameter D22 (8,57%) dan D10 (6,97%). Hal ini disebabkan oleh dominasi penggunaan D22 pada elemen-elemen berdimensi besar dengan modul potongan yang kaku, sehingga sisa potongannya terlalu pendek untuk dimanfaatkan pada elemen lain. Sementara pada D10, akumulasi *waste* berasal dari banyaknya potongan sengkang/begel pada area tumpuan yang rapat, di mana sisa akhir batang pabrikan 12 m sering kali menyisakan potongan kurang dari 0,8 m–1,4 m yang tidak lagi cukup untuk membentuk satu unit sengkang utuh.

Penerapan metode *Bar Bending Schedule* (BBS) terbukti memberikan dampak signifikan dalam meningkatkan akurasi perhitungan volume dan menekan angka limbah material. Jika dibandingkan dengan metode estimasi konvensional atau perhitungan kasar berbasis persentase taksiran, metode BBS mampu menguraikan detail *cutting length* secara eksak sesuai kondisi riil di lapangan dengan mempertimbangkan variabel kait, *overlap*, dan koreksi tekukan (*bend deduction*). Temuan ini sejalan dengan penelitian Nasautama dan Sitompul (2022) serta Gunarso dkk. (2023) yang menyatakan bahwa penyusunan skema potong terintegrasi berbasis BBS merupakan instrumen efektif dalam mencegah *cost overrun* akibat pemborosan baja tulangan pada proyek konstruksi gedung bertingkat.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan volume dan evaluasi persentase *waste* menggunakan metode *Bar Bending Schedule* (BBS) pada elemen kolom dan balok Gedung PTTUN Medan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Total berat kebutuhan tulangan bersih pada elemen kolom dan balok adalah sebesar 59.636,31 kg, yang terdiri dari tulangan diameter 10 mm sebesar 12.598,16 kg, diameter 19 mm sebesar 29.926,73 kg, dan diameter 22 mm sebesar 17.111,42 kg.
2. Persentase *waste* tulangan yang dihasilkan bervariasi berdasarkan diameter, yaitu D19 sebesar 4,89%, D10 sebesar 6,97%, dan D22 sebesar 8,57%. Rata-rata indeks limbah material berada pada angka 7,70%, yang secara keseluruhan telah memenuhi standar toleransi kelayakan SNI 7394:2008 (rentang 5%–20%).
3. Metode *Bar Bending Schedule* terbukti efektif meningkatkan akurasi estimasi kebutuhan material pembesian dan meminimalisasi *waste* melalui optimalisasi pemanfaatan sisa potongan tulangan untuk elemen struktur sekunder.

Rekomendasi

1. Penerapan metode *Bar Bending Schedule* disarankan untuk dilaksanakan sejak tahap awal penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan perencanaan pengadaan material guna mencegah pemesanan besi yang berlebihan.
2. Kontraktor pelaksana di lapangan perlu meningkatkan kontrol pelaksanaan pemotongan agar skema *cutting plan* yang disusun dalam BBS diterapkan secara disiplin oleh pekerja pabrikasi besi.
3. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar objek kajian diperluas pada elemen struktur lain seperti pelat lantai, pondasi, dan tangga, serta mengintegrasikan analisis biaya untuk mengukur penghematan finansial secara langsung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada pihak PT. Citra Karya Tobindo selaku kontraktor pelaksana dan PT. Biro Bangunan Selaras selaku konsultan pengawas Proyek Pembangunan Gedung PTTUN Medan yang telah memfasilitasi penyediaan data *shop drawing* dan izin penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- A, R. W., Susila, H., & Gunarso. (2023). Analisis Perhitungan Material dan *Waste* Besi dengan Metode *Bar Bending Schedule* pada Proyek Pembangunan RS. Mangesti Rahayu. *Journal of Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 1(1).
- Akbar, I. Y. (2025). Analisis Kebutuhan & Sisa (*Waste*) Pembesian Kolom pada Proyek Gedung A Kampus Esa Tunggal Bekasi Menggunakan Metode *Bar Bending Schedule*. *SENTIL: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 91-108.
- Dinata, M. H., Armayanti, D., & Sitanggang, E. S. (2024). Analisis Kebutuhan dan *Waste* Tulangan Secant Pile Underpass HM Yamin Menggunakan Metode *Bar Bending Schedule*. *Prosiding Konferensi Nasional Social and Engineering Politeknik Negeri Medan (KONSEP)*, 5, hal. 1288-1295.
- Gemilang, M. N., Harahap, M. A., Sumantri, A., & Sitanggang, E. S. (2025). Analisis Pengaruh Kebutuhan Tulangan dan Tulangan Sisa (*Waste*) pada Proyek Revitalisasi Lapangan Merdeka Medan. *Jurnal Transformasi Pendidikan Modern*, 6(4), 140-155.
- Ini Daftar Ukuran dan Berat Besi Beton yang Perlu Dipahami. (2021, November 24). Diambil kembali dari kpssteel.com: <https://kpssteel.com/besi-beton/daftar-ukuran-dan-berat-besi-beton/>
- Lensun, F., Tuloli, M. Y., & Utiahman, A. (2025). Analisis Sisa Material Besi Tulangan pada Proyek Pembangunan Terminal Tipe B Limboto. *Research Review: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 4(1), 385-392.

- Nasautama, S. S., & Sitompul, M. (2022). Analisis Kebutuhan Tulangan dan Tulangan Sisa (*Waste*) Pekerjaan Kolom, Balok dan Pelat Lantai Proyek Pembangunan Pasar Baru Kabupaten Mandailing Natal. *PORTAL: Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), 75-82.
- Nasional, B. S. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. Diambil kembali dari <https://tekonsipil.sv.ugm.ac.id/wp-content/uploads/sites/938/2020/01/SNI-2847-2019-Persyaratan-Beton-Struktural-Untuk-Bangunan-Gedung-1.pdf>
- Nasional, B. S. (t.thn.). *SNI 7394:2008 Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. Diambil kembali dari <https://klinikkonstruksi.jogjaprovo.go.id>
- Sinipat, L., & Beatrix, M. (2023). Analisis Kebutuhan Material Besi Tulangan pada Struktur Beton Bertulang dengan Metode *Bar Bending Schedule* pada Proyek Pembangunan Sekolah Cita Hati Surabaya. *Jurnal Taguchi: Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, 3(1), 668-701.
- Sulistio, H., & Waty, M. (2021). Analisis Faktor Kerugian *Waste* Material Besi Beton Gedung Bertingkat. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, 5(5), 235-242.
- Wakano, V. Y., & Sandjaya, A. (2025). Perbandingan Kebutuhan Besi dan Biaya Menggunakan Metode *Bar Bending Schedule* (BBS) pada Proyek Renovasi Rumah Tinggal. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 8(1), 45-50.
- Yuliana, C., Kartadipura, R. H., & Supadi, M. N. (2024). Analisis Metode *Bar Bending Schedule* Untuk Mengurangi Sisa Material Penulangan Untuk Konstruksi di Lahan Basah. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 9(2), 360-374.