

Perbandingan Kombinasi Pemotongan Pembesian dengan Metode Manual *Bar Bending Schedule* dan Tekla *Structures*

Ghaisani'Abidah dan I Putu Artama Wiguna

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: artama.wiguna@gmail.com

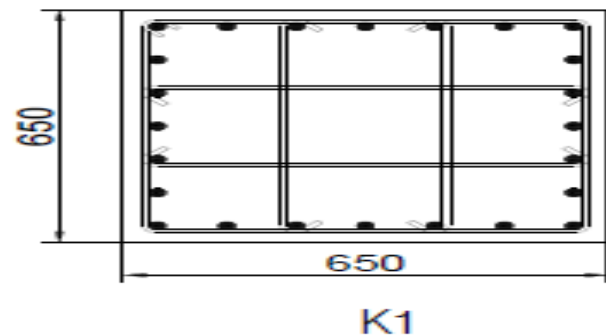
Abstrak—Limbah pembesian dapat terjadi dikarenakan beberapa faktor seperti keahlian pekerja yang kurang memadai, kesalahan pemotongan besi yang terjadi dikarenakan panduan pola yang tidak sesuai, informasi mengenai teknologi terbaru yang belum dioptimalkan, dan perkiraan dari perhitungan yang kurang cocok dengan keadaan nyata. Tujuan penelitian ini ingin mengetahui perbandingan sisa waste yang sudah dioptimasi dari perhitungan volume pembesian menggunakan perhitungan manual dan perhitungan dengan menerapkan Tekla Structures. Penelitian Tugas Akhir ini akan dilakukan optimalisasi dari kombinasi pemotongan pembesian dengan membandingkan antara metode manual yakni perhitungan yang dilakukan secara manual menggunakan bantuan Microsoft Excel dan metode menggunakan software Tekla Structures, dengan melakukan pemodelan 3D terlebih dahulu kemudian akan didapat hasil dari pembesian sesuai dengan Bar Bending Schedule secara otomatis. Pada tahap akhir akan dilakukan optimasi waste menggunakan software Cutting Optimization Pro. Berdasarkan perhitungan analisis yang sudah dilakukan, didapat hasil perhitungan pemotongan pembesian Bar Bending Schedule dengan metode manual yakni seberat 184.059.714,34 kg, sedangkan perhitungan dengan software Tekla Structures adalah seberat 177.513.240 kg. Didapatkan nilai waste dari hasil optimasi untuk perhitungan manual adalah sebesar 6.826.941 kg, dan untuk perhitungan Tekla Structures adalah sebesar 6.672.333 kg, dengan rerata waste level 0,95% untuk perhitungan metode manual, dan 0,91% untuk perhitungan dengan Tekla, perbandingan hasil waste level perhitungan manual dibanding Tekla adalah sebesar 1,63% untuk D22, 0,1% untuk D19, 7,71% untuk D16, 6,3% untuk D13, dan 1,18% untuk D10.

Kata Kunci—*Bar Bending Schedule, Building Information Modeling, Tekla Structures, Waste.*

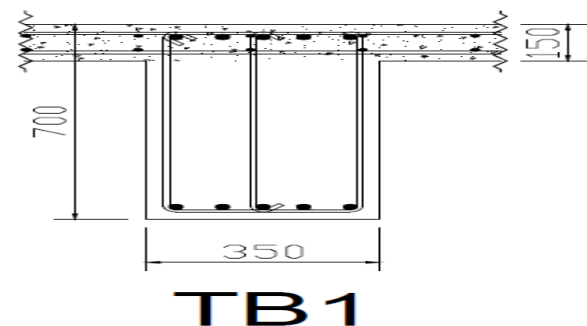
I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN konstruksi, di sisi lain dapat membuat dampak negatif terhadap lingkungan, dikarenakan kecenderungan meningkatnya limbah (*waste*) material yang dihasilkan dari kegiatan saat konstruksi di Indonesia seperti halnya persiapan lokasi, proses pekerjaan konstruksi, renovasi, dan demolisi dari bangunan maupun struktur tiap tahunnya [1]. Permasalahan limbah material dialami oleh berbagai penjuru dunia, seperti halnya di Eropa sebesar 38,5%, USA sebesar 26%, dan di Indonesia, lebih tepatnya salah satu proyek pembangunan gedung di Kota Pekalongan, didapat limbah pembesian sebesar 25,67% [2-4]. Terjadinya *waste* material pada area konstruksi dapat dikarenakan keahlian pekerja yang tidak memadai, metode dan informasi mengenai teknologi terbaru yang belum dioptimalkan, dan perkiraan dari perhitungan yang kurang cocok dengan keadaan nyata [5].

Pemanfaatan teknologi seperti *Building Information Modelling* (BIM) di Indonesia masih kurang dimaksimalkan,



Gambar 1. Ilustrasi tipe kolom K1.



Gambar 2. Ilustrasi tipe balok TB1.

70% responden mengenal BIM, namun hanya 38% responden yang menggunakan BIM. Tekla Structures merupakan salah satu software berbasis BIM dengan memodelkan dan dapat menyimpan informasi bangunan tersebut.

Pemodelan yang dilakukan oleh Tekla Structures juga dapat berupa 3 dimensi (3D), dapat melihat dari berbagai sudut pandang, dan juga menghitung berapa pembesian yang dibutuhkan untuk bangunan [6].

A. Permasalahan

Bagaimana hasil perbandingan perhitungan waste yang dihasilkan antara metode manual dan Tekla Structure yang dilakukan dengan bantuan *software Cutting Optimization Pro*?

B. Tujuan

Menganalisis hasil perbandingan perhitungan *waste* yang didapat dari perhitungan manual dengan perhitungan *waste* yang didapat dengan menggunakan Software Tekla Structures.

C. Batasan Masalah

Penulis membatasi masalah yang akan dibahas dalam laporan tugas akhir ini untuk mempermudah penulisan, yang

Tabel 1.
Data Struktur Kolom

Tipe	K1	K2	K4	KL
Profile	650 x 650	600 x 600	400 x 400	600 x 300 x 600
Material	C40 (HSC)	C40 (HSC)	C40 (HSC)	C40 (HSC)
Cast Unit	Cast in Place			

Tabel 2.
Data Struktur Balok

Tipe	TB1	TB2	B1	B2	B5
Profile	700x350	600x600	700x350	500x250	400x250
Material	C40 (HSC)	C40 (HSC)	C40 (HSC)	C40 (HSC)	C40 (HSC)
Cast Unit	Cast in Place				

Tabel 3.
Rekapitulasi Waste Level

Diameter	Waste Level (%)	
	Manual	Tekla Structures
D22	8,7	7,1
D19	9,6	9,5
D16	19,3	11,6
D13	7,0	0,7
D10	1,4	0,2

meliputi: (1) Studi kasus dilakukan hanya pada Gedung *Geodiversity* pada Proyek Pembangunan Fasilitas Kawasan Geodiversitas di Karangsembung, Kebumen, Jawa Tengah. (2) Perhitungan volume kebutuhan besi tulangan *Bar Bending Schedule* (BBS) difokuskan pada struktur balok dan kolom dengan mengikuti standar yang diterapkan oleh proyek. (3) *Software* yang digunakan adalah *Tekla Structure*, dengan legalitas *educational version* dan *Cutting Optimization Pro* sebagai bantuan untuk menghitung waste pada perhitungan manual dan perhitungan dengan *Tekla Structures*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

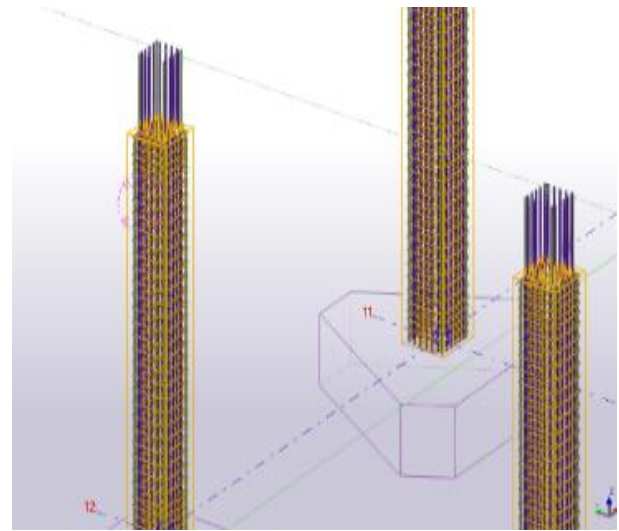
A. Penulangan dan Bar Bending Schedule Manual

Panjang dari baja tulangan adalah sebesar 10 m dan 12 m. Baja yang digunakan untuk penulangan pada beton tidak boleh ditemui serpihan, lipatan, retakan, gelombang, dan hanya diperkenankan baja yang memiliki karat ringan pada permukaan.

Bar Bending Schedule adalah daftar pola pembengkokan tulangan yang meliputi ben-tuk, jumlah, ukuran, dan dimensi tulangan yang dibutuhkan. Perhitungan Bar Bending Schedule secara manual harus dilakukan perhitungan langkah demi langkah, mulai dari memperhatikan ukuran pola yang dibutuhkan, diameter besi yang digunakan, dan bending pembesiannya. Perhitungan pembesian bergantung pada shop drawing yang telah dibuat oleh kontraktor [7].

B. Building Information Modeling

Building Information Modeling (BIM) dapat meningkatkan produktivitas pada konstruksi bangunan dikarenakan BIM dapat memproses untuk menghasilkan dan mengelola data suatu konstruksi selama si-klus hidupnya dengan menggunakan software 3D yang bersifat real time dan pemodelan dinamis. BIM memiliki beberapa jenis dimensi



Gambar 3. Hasil pemodelan kolom.

yang dikelompokkan sesuai dengan kegunaan masing-masing.

C. Tekla Structures

Menurut petunjuk pemakaian dari Trimble Tekla Structures merupakan salah satu software Building Information Modeling (BIM) yang dapat melakukan pemodelan 3D dan mampu untuk dilakukannya kolaborasi antar elemen pelaksana konstruksi. Tekla Structures mampu melakukan pemodelan 3D, pendetailan, perhitungan volume, perhitungan kebutuhan material, scheduling, hingga mampu melakukan perubahan model secara cepat.

Keunggulan lain dari penggunaan Tekla Structures adalah pemodelan yang mampu terintegrasi, pemodelan dengan detailing, bahkan mampu untuk digabungkan dengan software lainnya.

D. Pemotongan Pembesian

Perencanaan pemotongan pembesian dilakukan untuk mendapatkan optimasi kebutuhan tulangan. Perencanaan dapat dilakukan dengan metode linear programming simplex, yang mampu mendistribusikan besi yang telah dipotong untuk pemanfaatan kebutuhan besi bagian yang lain dengan keterbatasan sumber daya yang tersedia [8].

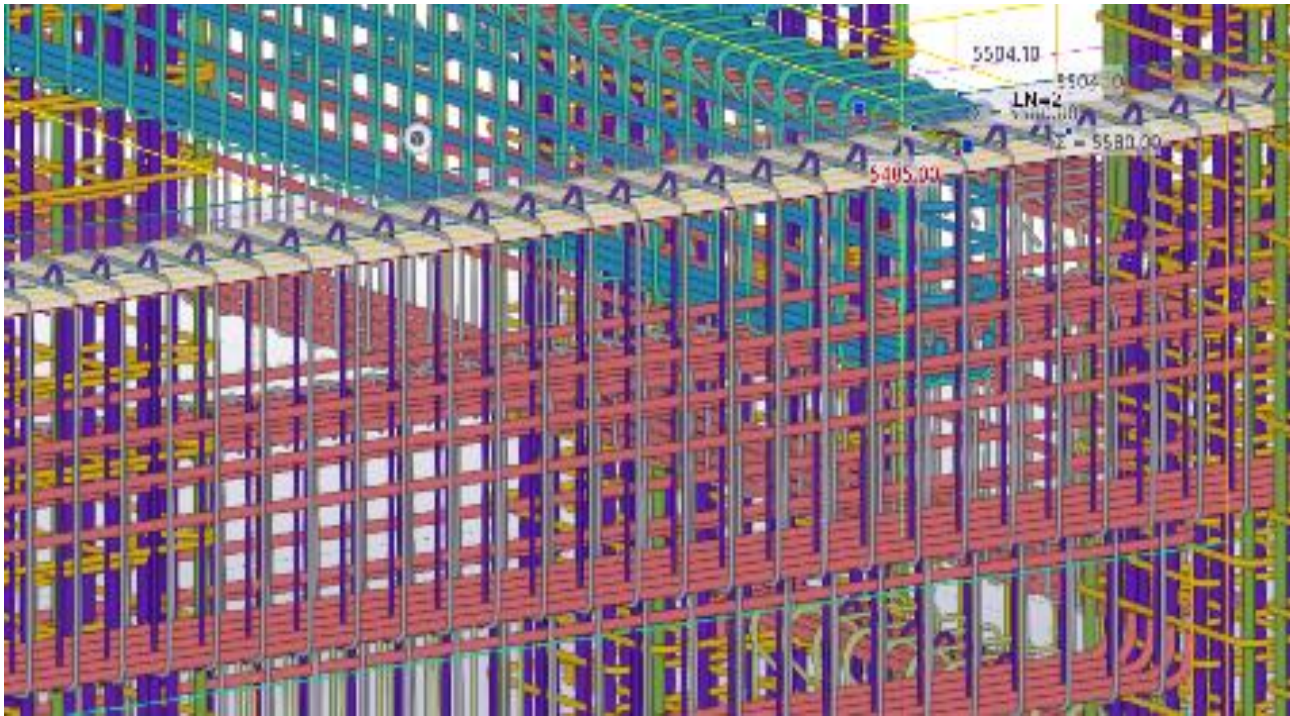
Pengaplikasian metode simplex untuk pengoptimalan dapat dilakukan dengan alat bantu Add-in Solver pada Microsoft Excel atau menggunakan Software Cutting Optimization Pro [9]. Software Cutting Optimization Pro (SCOP) adalah software berbasis Microsoft Visual Basic yang akan terintegrasi pada Microsoft Office Excel. Optimalisasi yang dilakukan oleh SCOP adalah dengan mendaur ulang besi dengan panjang yang memenuhi dari sisa besi yang telah digunakan pada bagian yang lain.

III. METODOLOGI

Diperlukan perencanaan terstruktur terhadap proses penelitian, sehingga dapat dilakukan dengan mudah dan terarah.

A. Identifikasi Masalah

Pada penelitian ini permasalahan yang akan dibahas yakni analisis perbandingan kombinasi pemotongan pembesian



Gambar 4. Hasil pemodelan balok.

dengan metode manual *Bar Bending Schedule* dan Tekla *Structures*.

B. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan mendapatkan informasi yang bersumber dari *textbook*, jurnal, maupun referensi lainnya yang berkaitan.

C. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan meliputi:

1) Data Primer

Didapatkan dengan melakukan observasi lapangan pada studi kasus terkait pekerjaan pembesian.

2) Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan yakni gambar *shop drawing*.

D. Perhitungan Bar Bending Schedule Manual

Perhitungan volume pembesian *Bar Bending Schedule* (BBS) dilakukan secara manual dengan melihat lekukan dan ketentuan yang telah ada menggunakan bantuan aplikasi Microsoft Excel untuk berhitung dan melakukan rekapitulasi. Rincian konsep pada perhitungan adalah dengan mendata dan menghitung berdasarkan diameter tulangan, kode bentuk pola tulangan, banyaknya tulangan dengan pola yang sama, dan berat yang dihasilkan.

E. Perhitungan Volume Pembesian Tekla Structures

Perhitungan diawali dengan membuat pemodelan komponen beton dan detail pembesian pada balok dan kolom menggunakan Tekla *Structures*. Volume pembesian dapat dilakukan dengan bantuan TeklaPad.

Hasil dari perhitungan volume adalah dengan rincian diameter tulangan, banyaknya tulangan dengan pola yang sama, berat per-*unit* dan total, beserta ilustrasi pola yang dibentuk.

IV. HASIL DAN DISKUSI

Pada penelitian ini dilakukan analisis perbandingan terhadap kedua metode perhitungan volume pembesian yakni metode perhitungan manual *Bar Bending Schedule* dan metode menggunakan bantuan Tekla *Structures*.

A. Spesifikasi Teknis

Spesifikasi teknis pada penelitian ini meliputi:

1) Mutu Beton Dan Selimut Beton

Spesifikasi mutu beton disesuaikan dengan yang digunakan pada Proyek Pem-bangunan Fasilitas Kawasan Geodiversitas Indonesia, yakni dengan slump 12 ± 2 dan mutu beton 30 MPa.

Tebal minimum dari selimut beton dari komponen kolom dan balok digunakan minimum selimut beton setebal 40 mm.

2) Mutu Baja Tulangan

Didasarkan pada spesifikasi pekerjaan struktur Proyek Pembangunan Fasilitas Kawasan Geodiversitas Indonesia, mutu baja tulangan ulir (BJTR) yang digunakan memiliki tegangan tarik leleh minimum sebesar 420 MPa, dengan kebutuhan diameter yang berbeda-beda.

B. Perhitungan Manual Bar Bending Schedule

Dari perhitungan volume pembesian menggunakan metode manual *Bar Bending Schedule* didapat seberat 184.059.714 kg, dengan contoh perhitungan sebagai berikut:

1) Perhitungan Struktur Kolom

Gambar 1 merupakan contoh perhitungan struktur kolom tipe K1 pada lantai 1 dengan data sebagai berikut:

b	=	650	mm
h	=	650	mm
t	=	4450	mm
Tinggi Kaki Kolom	=	650	mm
Tebal Selimut (s)	=	40	mm

Tulangan Utama	=	24-D22	mm
Sengkang Tumpuan	=	D13-100	mm
Sengkang Lapangan	=	D13-150	mm

a. Panjang Tulangan Utama Menerus

$$\begin{aligned}
 P_1 &= (t + h_{B1} + \text{kaki kolom} + \\
 &\text{(tersambung K2)} \quad (40D) + (20D)) \times n_{tul} \\
 &= (4450 + 700 + 650 + (40 \times 22) + (20 \times 22)) \times 48 \times 20 \\
 &= 6835200 \text{ mm} \\
 &= 6835,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Panjang Tulangan Utama Terputus

$$\begin{aligned}
 P_2 \text{ (tidak tersambung)} &= (t + h_{B1} + \text{kaki kolom}) \times n_{tul} \\
 &= (4450 + 700 + 650 + (20 \times 22 \times 2)) \times 48 \times 4 \\
 &= 1282560 \text{ mm} \\
 &= 1282,56 \text{ m} \\
 P_3 \text{ (berhenti di lt. 1)} &= (t + h_{B1} + \text{kaki kolom} + (40D) + (20D)) \times n_{tul} \\
 &= (4450 + 700 + 650 + (40 \times 22) + (20 \times 22)) \times 10 \times 24 \\
 &= 1708800 \text{ mm} \\
 &= 1708,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c. Panjang Sengkang

$$\begin{aligned}
 P_4 \text{ (Tumpuan)} &= 2((b - 2s) + (h - 2s) + (6D + 4D)) \times ((4450 + 600)/2)/100 \times n_{tul} \\
 &= 2(570 + 570 + 80) \times (25 \times 58) \\
 &= 3538000 \text{ mm} \\
 &= 3538 \text{ m} \\
 P_5 \text{ (Lapangan)} &= 2((b - 2s) + (h - 2s) + (6D + 4D)) \times ((4450 + 600)/2)/150 \times n_{tul} \\
 &= 2(570 + 570 + 80) \times (21 \times 58) \\
 &= 2971920 \text{ mm} \\
 &= 2971,92 \text{ m}
 \end{aligned}$$

d. Panjang Ties

$$\begin{aligned}
 P_6 \text{ (Tumpuan)} &= (200 + (b - 2s) + (h - 2s) + (6D + 4D)) \times ((4450 + 600)/2)/100 \times n_{tul} \\
 &= (200 + 570 + 570 + 80) \times (25 \times 58) \\
 &= 2059000 \text{ mm} \\
 &= 2059 \text{ m} \\
 P_7 \text{ (Lapangan)} &= (200 + (b - 2s) + (h - 2s) + (6D + 4D)) \times ((4450 + 600)/2)/150 \times n_{tul} \\
 &= (200 + 570 + 570 + 80) \times (21 \times 58) \\
 &= 1729560 \text{ mm} \\
 &= 1729,56 \text{ m}
 \end{aligned}$$

e. Total Berat Kolom K1 Lantai 1

$$\begin{aligned}
 W_1 \text{ (D22)} &= L_{Lingkaran} \times g_{Baja} \times (P_1 + P_2 + P_3) \\
 &= \frac{\pi \times (22 \times 0,001)^2}{4} \times 7850 \times 9826,6 \\
 &= 29323 \text{ kg} \\
 W_2 \text{ (D13)} &= L_{Lingkaran} \times g_{Baja} \times (P_4 + P_5 + P_6 + P_7) \\
 &= \frac{\pi \times (13 \times 0,001)^2}{4} \times 7850 \times \\
 &= 10298,5 \\
 &= 10730,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2) Perhitungan Struktur Balok

Gambar 2 merupakan contoh perhitungan Balok tipe TB1 as line A, dengan data sebagai berikut:

b	=	350	mm
h	=	700	mm
Pbalok	=	2(13800)	mm
Tebal Selimut	=	40	mm
Tulangan Atas	=	5-D19	mm
Tulangan Bawah	=	5-D19	mm
Sengkang	=	D10-100	mm

a. Panjang Tulangan Atas

$$\begin{aligned}
 P_0 &= 12000 \text{ mm} \\
 12000 &= (\text{panjang penjangkaran}) + \text{tulangan utama} \\
 &= (h - 2s) + \text{tulangan utama} \\
 \text{Tulangan utama} &= 11380 \text{ mm} \\
 P_1 &= 12000 \times 5 \\
 &= 60000 \text{ mm} \\
 &= 60 \text{ m} \\
 P_2 &= (P_{balok} - P_1 + (h - 2s)) \times 5 \\
 &= (13800 - 12000 + 620) \times 5 \\
 &= 12100 \text{ mm} \\
 &= 12,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Panjang Tulangan Bawah

Dikarenakan tulangan atas sama dengan tulangan bawah, maka perhitungan tulangan akan dikalikan dua.

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 60 \times 2 \text{ m} \\
 &= 120 \text{ m} \\
 P_2 &= 12,1 \times 2 \text{ m} \\
 &= 24,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c. Panjang Tulangan Sengkang Tumpuan

$$\begin{aligned}
 P_3 &= ((b - 2s) + (h - 2s) + 6D) \times \left(\frac{6000 - 650}{2 \times 100} + \frac{7800 - 650}{2 \times 100} \right) \\
 &= ((350 - 80) + (700 - 80) + 60) \times (27 + 36) \\
 &= 119700 \text{ mm} \\
 &= 119,7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

d. Panjang Tulangan Sengkang Lapangan

$$\begin{aligned}
 P_4 &= ((b - 2s) + (h - 2s) + 6D) \times \left(\frac{6000 - 650}{2 \times 150} + \frac{7800 - 650}{2 \times 150} \right) \\
 &= ((350 - 80) + (700 - 80) + 60) \times (18 + 24) \\
 &= 79800 \text{ mm} \\
 &= 79,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

e. Panjang Teis Tumpuan

$$\begin{aligned}
 P_5 &= ((h - 2s) + 6D) \times \left(\frac{6000 - 650}{2 \times 100} + \frac{7800 - 650}{2 \times 100} \right) \\
 &= ((700 - 80) + 60) \times (27 + 36) \\
 &= 46620 \text{ mm} \\
 &= 46,62 \text{ m}
 \end{aligned}$$

f. Panjang Ties Lapangan

$$\begin{aligned}
 P_6 &= ((h - 2s) + 6D) \times \left(\frac{6000 - 650}{2 \times 150} + \frac{7800 - 650}{2 \times 150} \right) \\
 &= ((700 - 80) + 60) \times (18 + 24) \\
 &= 31080 \text{ mm} \\
 &= 31,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

g. Total Berat Balok TB1 As Line A

$$\begin{aligned}
 W_1 &= 2(L_{\text{Lingkaran}} \times g_{\text{Baja}} \times (P_1 + P_2)) \\
 &= 2\left(\frac{\pi \times (19 \times 0,001)^2}{4} \times 7850 \times 144,2\right) \\
 &= 642 \text{ kg} \\
 W_2 &= 2(L_{\text{Lingkaran}} \times g_{\text{Baja}} \times (P_3 + P_4 + P_5 + P_6)) \\
 &= 2\left(\frac{\pi \times (10 \times 0,001)^2}{4} \times 7850 \times 277,22\right) \\
 &= 341,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

C. Perhitungan dengan Tekla Structures

Dari perhitungan volume pembesian menggunakan bantuan Tekla Structures didapat seberat 177.513.240 kg, dengan melakukan proses sebagai berikut:

1) Pemodelan Tekla Structures

a. Pembuatan Grid

Grid pada Tekla Structures terdiri dari tiga koordinat, yakni sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Mengatur jarak antar grid dapat dilakukan dengan klik tombol spasi pada keyboard.

b. Input Data Tulangan

Dilakukan input tulangan SD400 Rebar Grades-KOR, yang sesuai dengan ketentuan tulangan Indonesia. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pengguna dalam otomatisasi pendetailan pada tulangan seperti diameter yang tersedia dan juga bending yang dimiliki.

c. Pemodelan Struktur Kolom

Pemodelan struktur kolom dilakukan dengan memodelkan komponen beton dilanjutkan dengan detailing tulangan. Data struktur kolom dapat dilihat pada Tabel 1, hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3.

d. Pemodelan Struktur Balok

Pemodelan struktur kolom dilakukan dengan memodelkan komponen beton dilanjutkan dengan detailing tulangan. Data struktur kolom dapat dilihat pada Tabel 2, hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.

e. Numbering Komponen

Proses numbering bertujuan untuk menghasilkan pemberian kode tiap komponen yang nantinya dapat dilakukan untuk menghasilkan Bar Bending Schedule.

f. Pengecekan Clash

Setelah pemodelan dilakukan perlu dilakukannya pengecekan clash untuk melihat apakah ada tabrakan atau singgungan atau komponen yang saling tindih. Jika terdapat clash maka akan muncul detail komponen yang mengalaminya, kemudian dapat dibenarkan sesuai kesalahan.

2) Perhitungan BBS dengan TeklaPad

Perhitungan Bar Bending Schedule (BBS) dilakukan menggunakan TeklaPad yang dapat di install melalui web resmi Tekla Warehouse. Hasil BBS yang ditampilkan berupa beberapa kategori yakni, nama (hasil numbering), diameter tulangan, quantity, unit length, total length, unit weight, total weight, dan ilustrasi pola pembesian. Hasil dari BBS yang telah dilakukan dapat diexport dalam bentuk Microsoft Excel.

D. Perhitungan Waste Material

Perhitungan optimasi sekaligus waste material dilakukan dengan bantuan Software Cutting Optimization Pro (SCOP), yang akan menghitung optimasi pemotongan pembesian

dengan melakukan input data pembesian yang didapat dari perhitungan BBS secara manual dan menggunakan Tekla Structures, selain itu juga melakukan input data stock atau ketersediaan yang dimiliki, dapat diisikan secara imajiner selama memenuhi kebutuhan. Hasil dari perhitungan menggunakan SCOP dapat di-export dalam bentuk PDF dengan rincian panjang besi yang tidak dapat digunakan kembali, diameter tulangan, jumlah tulangan, dan ilustrasi pemotongan.

Setelah dilakukan perhitungan optimasi dan waste, dapat dilakukan perhitungan waste level, dengan persamaan:

$$\text{Waste Level} = \frac{\text{volume waste}}{\text{volume material terpakai}} \quad (1)$$

Dari perhitungan yang sudah dilakukan, didapat perbandingan rekapitulasi waste level pada

Tabel 3.

Didapat dari

Tabel 3, rerata waste level untuk per-hitungan Bar Bending Schedule (BBS) dengan perhitungan manual adalah sebesar 9,2%, sedangkan dengan menggunakan Tekla Structures adalah sebesar 4,7%.

E. Perhitungan Signifikansi

Perhitungan signifikansi dilakukan untuk melihat apakah perbedaan yang terjadi antara perhitungan manual Bar Bending Schedule dengan perhitungan menggunakan Tekla Structures terdapat perbedaan secara bermakna atau tidak. Diambil taraf signifikansi sebesar 5%, dan didapat nilai signifikansi adalah 2,5%, sehingga perbedaan pada perhitungan manual Bar Bending Schedule dengan perhitungan menggunakan Tekla Structures dapat dikategorikan signifikan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, didapat kesimpulan sebagai berikut: (1) Total volume berat tulangan struktur kolom dan balok pada Gedung Geodiversity menggunakan metode manual Bar Bending Schedule adalah sebesar 184.059.714 kg. (2) Total volume berat tulangan struktur kolom dan balok pada Gedung Geodiversity menggunakan bantuan Tekla Structures adalah sebesar 177.513.240 kg. (3) Perbandingan hasil waste level penggunaan metode manual Bar Bending Schedule lebih besar dibanding waste level yang didapat dengan Tekla Structures. Selisih perbedaan untuk D22 adalah 7,2%; D19 yakni sebesar 0,1%; D16 sebesar 7,7%; D13 sebesar 6,3%; D10 sebesar 1,2%. (4) Signifikansi data yang didapat sebesar 2,5%, yang menandakan perbedaan perhitungan yang terjadi adalah signifikan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Nursin, Y. Latief, and I. Abidin, "Pertumbuhan barang sisa konstruksi (Construction waste) di Indonesia," *J. Poli-Teknologi*, vol. 13, no. 1, 2014, doi: 10.32722/pt.v13i1.603.
- [2] Eurostat, *The EU in The World*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. doi: 10.2785/64273.
- [3] S. A. Khan and S. G. Al-Ghamdi, "Renewable and integrated renewable energy systems for buildings and their environmental and socio-economic sustainability assessment," *Energy Syst. Eval.*, vol. 1, no. 1, pp. 127–144, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-67529-5_6.
- [4] A. B. Siswanto and M. A. Salim, "Pengadaan jasa konstruksi dengan e-procurement," *J. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 1, pp. 1–17, 2018.

- [5] L. Jaillon, C.-S. Poon, and Y. H. Chiang, "Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong," *Waste Manag.*, vol. 29, no. 1, pp. 309–320, 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2008.02.015.
- [6] P. H. Simatupang, T. M. W. Sir, and V. A. Wadu, "Integrasi program tekla structures dan SAP2000 dalam perencanaan gedung beton struktural," *J. Tek. Sipil*, vol. 9, no. 1, pp. 67–80, 2020.
- [7] W. P. A. Candra, W. Hartono, and S. Sunarmasto, "Rancangan program pengerjaan bar bending schedule penulangan core lift dan pit lift dengan Visual Basic 6.0," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 3, no. 1, 2015.
- [8] M. Kork, "Perhitungan Kebutuhan Tulangan Besi dengan Memperhitungkan Optimasi Waste Besi pada Pekerjaan Balok dengan Program Microsoft Excel The Estimation of Reinforcement Requirement by Calculating the Reinforcement Waste Optimization in Concrete Beam using Mi," *Teknik Sipil*, Universitas Negeri Sebelas Maret, 2013.
- [9] Meinarwati, "Evaluasi Penerapan BIM Tekla Structures terhadap Perhitungan Bar Bending Schedule," *Teknik Sipil*, Universitas Gajah Mada, 2022.