

Implementasi *Building Information Modeling* (BIM) dalam Analisis *Waste Material* Tulangan Balok pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Polda Lampung

Siti Usnul Khotimah ¹⁾

Hasti Riakara Husni ²⁾

Bayzoni ³⁾

Ashruri ⁴⁾

Abstract

Waste material refers to inefficiencies in material usage, resource allocation, and time management during construction work. Autodesk Revit and Cutting Optimization Pro software as alternatives for analyzing waste material have several advantages, including accuracy, reduced human error, and time effectiveness. The process involved modeling objects using Autodesk Revit to generate Bar Bending Schedule (BBS). Subsequently, the BBS results were input into Cutting Optimization Pro to obtain a cutting list. In this research, two types of beam reinforcement are used. Type-1 is the installation of reinforcement per span, type-2 is the installation of reinforcement with the maximum span length that can be used. The analysis was performed using waste material calculation formulas. The results of research shown that the weight of the beam reinforcement requirement for type-2 is smaller than for type-1, with a difference of 33.28%. Additionally, the waste weight for type-2 reinforcement is 17.19% lower compared to the average total waste weight for both types. In terms of Waste Level, type-2 reinforcement is 37.75% more efficient, making it a more effective choice.

Key words : Waste, Autodesk Revit, Cutting Optimization Pro, Reinforcement, Beams, Bar Bending Schedule, Waste Analysis.

Abstrak

*Waste material adalah bentuk pemborosan yang disebabkan oleh ketidakefektifan penggunaan material, sumber daya, dan waktu selama pengerjaan konstruksi. Software Autodesk Revit dan Cutting Optimization Pro sebagai alternatif untuk menganalisis waste material memiliki beberapa keunggulan, termasuk keakuratan, minim *human error*, dan efektivitas waktu. Proses penelitian melibatkan pemodelan objek menggunakan software Autodesk Revit untuk menghasilkan output Bar Bending Schedule (BBS). Selanjutnya, hasil BBS diinput ke software Cutting Optimization Pro untuk mendapatkan cutting list. Pada penelitian ini menggunakan 2 tipe penulangan balok, tipe-1 merupakan pemasangan tulangan per segmen, tipe-2 merupakan pemasangan tulangan dengan panjang maksimum bentang yang dapat digunakan. Analisis dilakukan dengan menggunakan rumus perhitungan waste material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat kebutuhan tulangan balok pada tipe-2 lebih kecil dibandingkan dengan tipe-1, dengan selisih sebesar 33,28%. Selain itu, berat waste tulangan tipe-2 lebih kecil sebesar 17,19%. Dalam hal Waste Level, tulangan tipe-2 lebih hemat sebesar 37,75%, sehingga tulangan tipe-2 lebih efektif digunakan.*

Kata kunci : Waste, Autodesk Revit, Cutting Optimization Pro, Tulangan, Balok, Bar Bending Schedule, Analisis Waste.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: siti.usnul.khotimah102@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan populasi keempat terbesar di dunia. Seiring dengan pertumbuhan penduduk, pemerintah gencar melakukan pembangunan infrastruktur. Kemajuan dalam pembangunan infrastruktur sejalan dengan kebutuhan teknologi yang dapat mendukung kesuksesan pembangunan tersebut. Terutama dalam era digital 5.0 dan konsep Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), teknologi menjadi jembatan penting untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Di Indonesia, perkembangan infrastruktur masih terus digencarkan, dan penggunaan teknologi sangat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko di lapangan. Salah satu teknologi yang diimplementasikan dalam bidang infrastruktur adalah *Building Information Modeling* (BIM).

Namun, pelaksanaan pembangunan infrastruktur memiliki dampak besar bagi lingkungan sekitar. Proses mobilisasi material, kerusakan sarana umum seperti jalan, dan pembuangan sampah sisa material (*waste material*) menjadi masalah yang perlu diperhatikan. Banyak dari sampah sisa material yang sulit didaur ulang. Oleh karena itu, dalam mencapai tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) yang ke-9, perlu memperhatikan pengelolaan limbah dan efisiensi penggunaan material, sumber daya, dan waktu (Mudzakir dkk., 2017).

Namun, di Indonesia masih kurangnya perhatian terkait pengendalian *waste material* yang menyebabkan kontribusi sampah dari sektor konstruksi semakin meningkat secara global. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengelolaan *waste material* pada proyek konstruksi. Khususnya, pada jenis struktur bangunan yang paling umum, yaitu beton bertulang, perlu memperhatikan pengendalian *waste material* berupa tulangan baja. Studi kasus penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Polda Lampung. Rumah Sakit Bhayangkara Polda Lampung adalah salah satu rumah sakit negeri yang terletak di Jl. Pramuka No. 88, Rajabasa, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung. Saat ini, rumah sakit tersebut sedang dalam tahap pembangunan gedung perawatan untuk meningkatkan kapasitas dan fasilitas.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material Konstruksi Baja Tulangan

2.1.1. Baja Tulangan Polos

Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 2052:2017, pada bagian 6.2.1 disebutkan bahwa baja tulangan polos (BjTP) adalah batang baja dengan penampang bundar dan permukaan yang rata.

2.1.2. Baja Tulangan Ulir

Berdasarkan SNI 2052 tentang Tulangan Baja Beton terdapat dua jenis baja tulangan beton sirip/ulir yaitu sirip/ulir bambu dan sirip/ulir curam.

2.2. Balok

Balok adalah elemen struktural dalam bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban ke kolom. Balok memiliki struktur horizontal yang dirancang untuk menahan gaya vertikal. Di Indonesia, balok beton bertulang adalah jenis balok yang sangat diminati.

2.3. Waste Material

Sampah sisa material (*waste material*) merujuk pada sisa-sisa material yang tidak lagi digunakan selama pelaksanaan proyek. Pada dasarnya, sampah sisa material konstruksi selalu terjadi pada setiap proyek.

2.4. Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling (BIM) adalah model yang mengandung informasi terstruktur yang memungkinkan kolaborasi dan berbagi informasi untuk pengambilan keputusan sepanjang siklus hidup proyek.

2.4.1. Keuntungan Penggunaan Building Information Modeling (BIM)

Teknologi yang muncul ini adalah hasil dari revolusi dalam kemajuan infrastruktur. Ini memungkinkan penggambaran yang lebih mudah dan detail, serta efisiensi waktu. Manajemen yang terstruktur dan rekayasa yang memperhatikan risiko dan ancaman yang dapat diantisipasi juga menjadi bagian dari perubahan ini. Kolaborasi lebih lancar, dan waktu dapat disesuaikan dengan rencana yang telah disepakati.

2.4.2. Sejarah Building Information Modeling (BIM)

Perangkat lunak berbasis *Computer Aided Manufacturing* (CAM) pertama kali dibuat oleh Dr. Patrick J. Hanratty pada tahun 1957. Kemudian, pada tahun 1961, Dr. Patrick J. Hanratty mengembangkan *Design Automated by Computer* (CAD) yang menggunakan grafik interaktif dan digunakan untuk mencetak produk kompleks di *General Motors*.

2.4.3. Autodesk Revit

Autodesk Revit adalah perangkat lunak *Building Information Modeling* (BIM) yang dikembangkan sejak tahun 2000 dengan fokus pada MEP (*Mechanical Electrical and Plumbing*).

2.4.4. Cutting Optimization Pro

Cutting Optimization Pro adalah perangkat lunak pemotongan yang digunakan untuk menemukan letak pemotongan yang optimal. Selain itu, *Cutting Optimization Pro* juga memungkinkan pengguna untuk menentukan struktur yang kompleks.

2.4.5. Bar Bending Schedule (BBS)

Bar Bending Schedule (BBS) adalah sistem yang mengatur pola pembengkokan tulangan baja dengan mencakup data tentang bentuk, diameter, jumlah tulangan, dan panjangnya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Studi Kasus

Penelitian ini memfokuskan pada studi kasus Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Polda Lampung yang terletak di Jalan Pramuka No 88, Rajabasa, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung.

3.2. Data Penelitian

Dalam penelitian ini, kami mengumpulkan data berupa gambar rencana Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Polda Lampung. Proyek ini melibatkan kontraktor PT Pembangunan Bumi Baru dan konsultan perencanaan Gumilang Sajati.

3.3. Software Pendukung Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan perangkat lunak pendukung *Autodesk Revit* dan *Cutting Optimization Pro*. *Autodesk Revit* dipilih karena dapat menampilkan visualisasi gambar 2D dan 3D yang terintegrasi dengan rencana jadwal, serta

menghasilkan output seperti *Quality Take Off* dan *Bar Bending Schedule* dengan cepat. *Cutting Optimization Pro* digunakan karena perangkat lunak ini mampu menghasilkan pola pemotongan (*cutting list*) yang optimal.

3.4. Metode Penelitian

Pendekatan penelitian ini mengadopsi metode kuantitatif eksperimental murni. Metode ini digunakan untuk memahami dampak dari perlakuan yang diberikan pada satu atau lebih variabel yang sedang diteliti. Keberhasilan metode penelitian eksperimental terletak pada kemampuannya untuk memastikan hubungan sebab-akibat yang kuat.

3.4.1. Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini dilakukan dengan mencari literatur, membaca serta memahami jurnal-jurnal, buku dan artikel terkait implementasi *Building Information Modeling* serta panduan/tutorial dalam penggunaan *software* dari pendukung penelitian.

3.4.2. Pengumpulan Data

Penulis mengumpulkan data yang diperlukan untuk penelitian ini. Berdasarkan tujuan dan batasan masalah, data yang dibutuhkan adalah gambar rencana dari Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Polda Lampung. Data tersebut kemudian dimodelkan menggunakan *Autodesk Revit* dan dihitung pemotongan tulangan dengan *Cutting Optimization Pro*.

3.4.3. Tahap Pemodelan

Pada tahap pemodelan, langkah ini diambil setelah semua data terkumpul. Visualisasi Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Polda Lampung dilakukan menggunakan *Autodesk Revit*, mengacu pada gambar yang telah diperoleh. Pemodelan struktural mencakup *bore pile*, *pilecap*, *tie beam*, kolom, balok, pelat, *ringbalk*, dan rangka baja. Selanjutnya, pemodelan tulangan dilakukan pada semua struktur beton.

Gambar 1. Pola Penulangan Tipe 1.

Gambar 2. Pola Penulangan Tipe 2.

Gambar 2. Pola Penulangan Tipe 2.

3.4.4. Tahap Analisis

Analisis dilakukan berdasarkan perspektif penulis terhadap topik tertentu. Kedua jenis pemotongan tulangan di analisis dan dibandingkan untuk menemukan tipe dengan tingkat pemborosan (*waste*) yang paling efisien. Analisis ini bertujuan untuk mengoptimalkan hasil dari pemodelan. Dalam penelitian ini, terdapat dua tahap analisis: *Bar Bending Schedule* menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) dan pola pemotongan tulangan serta analisis material yang terbuang (*waste*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Bangunan

Data struktur dalam penelitian ini meliputi data dimensi *pilecap*, *tie beam*, sloof, balok, kolom, pelat lantai dan pelat atap.

4.2 .Pemodelan 3D Struktural

Dalam penelitian ini, pemodelan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Revit* 2024. Pemodelan 3D struktural melibatkan elemen-elemen seperti pondasi, *pilecap*, sloof, kolom, balok, dan semua elemen struktur lainnya.

4.3. Pemodelan Tulangan

Pemodelan tulangan adalah langkah yang diambil setelah semua pemodelan struktur selesai. *Autodesk Revit* memiliki fitur “Rebar” yang memungkinkan pengguna membuat dan memodifikasi penulangan pada model. Modifikasi atau pengaturan rebar dilakukan untuk menyesuaikan pemodelan tulangan dengan detail yang terdapat pada gambar rencana.

4.4. Interference Check

Interference Check adalah fitur penting dalam *Autodesk Revit* yang digunakan untuk mendeteksi bentrokan, tumpang tindih, dan benturan antara elemen penulangan dalam model *Building Information Modeling* (BIM). Fitur ini memungkinkan pengguna untuk mengidentifikasi konflik yang mungkin terjadi antara elemen struktural, elemen arsitektural, elemen MEP (*Mechanical*, *Electrical*, dan *Plumbing*), dan elemen lainnya dalam model *Revit*. Dengan melakukan pemeriksaan interferensi, dapat memastikan bahwa desain dan konstruksi berjalan dengan lancar dan menghindari masalah yang mungkin muncul selama pelaksanaan proyek.

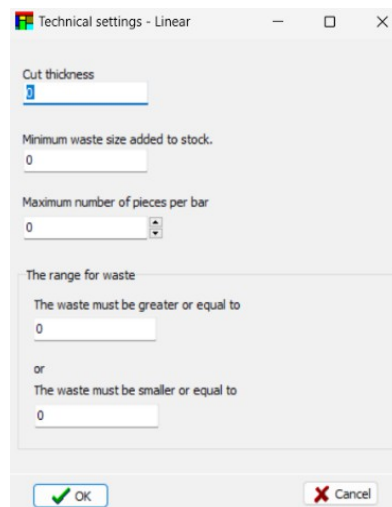
4.5. Bar Bending Schedule

Bar Bending Schedule (BBS) dilakukan setelah pemodelan struktur dan penentuan posisi serta penandaan (*Schedule Mark*) telah selesai. Untuk menghasilkan *Bar Bending Schedule* pada *Autodesk Revit*, dapat menggunakan fitur “Schedules” yang terdapat di *Panel Title* “View”. Dengan fitur ini, dapat mengatur dan menampilkan informasi tentang tulangan beton, termasuk jumlah, dimensi, dan lokasi pada model.

4.6. Input Cutting List

Cutting list adalah daftar rincian potongan batang tulangan baja yang diperlukan untuk tulangan beton pada proyek konstruksi. Membuat *cutting list* secara manual berisiko terjadi kesalahan perhitungan dan memakan waktu. Namun, dengan menggunakan perangkat lunak khusus seperti *Cutting Optimization Pro*, dapat membuat *cutting list* secara otomatis berdasarkan model 3D atau desain tulangan yang telah dibuat

menggunakan *Autodesk Revit*. Dengan demikian, efisiensi dan akurasi dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek dapat ditingkatkan.



Gambar 3. Tampilan *Software Cutting Optimization Pro*.

PIECES					
Append Delete Open Save Clear Print Labels Extra ☐ Index ☐ Texture ☐ Edge bands ☐ Grinding ☐ Customer name					
Length	Width	Quantity	Material	Rotation	Label
3725	0	40	D13	☒	TP B1
4900	0	55	D13	☒	TP B1
7600	0	54	D13	☒	TU TB1
9750	0	49	D13	☒	TU TB1
10250	0	50	D13	☒	TU TB1
11100	0	16	D13	☒	TU TB1
3700	0	13	D13	☒	TU TB1A
10700	0	28	D13	☒	TU TB1A
7400	0	4	D13	☒	TU TB2
8125	0	8	D13	☒	TU TB2

STOCK					
Append Delete Clear Print Labels Excel ☐ Index ☐ Texture ☐ Trim the edge ☐ Priority					
Length	Width	Quantity	Material	Label	Price
12000	0	2000	D13	0	0

Gambar 4. Tampilan “Pieces”.

Length	Material	Quantity	Label	Waste	Graphic: 1D																
12000	D13	34 0	1150		<table><tr><td>1550</td><td>1550</td><td>1550</td><td>1550</td><td>1550</td><td>1550</td><td>1550</td><td></td></tr><tr><td>S TB1</td><td>S TB1</td><td>S TB1</td><td>S TB1</td><td>S TB1</td><td>S TB1</td><td>S TB1</td><td></td></tr></table>	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550		S TB1	S TB1	S TB1	S TB1	S TB1	S TB1	S TB1	
1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550															
S TB1	S TB1	S TB1	S TB1	S TB1	S TB1	S TB1															
12000	D13	10 0	1300		<table><tr><td>4575</td><td></td><td>4575</td><td></td><td>1550</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B1</td><td></td><td>TP B1</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	4575		4575		1550				TP B1		TP B1		S TB1			
4575		4575		1550																	
TP B1		TP B1		S TB1																	
12000	D13	4 0	300		<table><tr><td>4575</td><td></td><td>4575</td><td></td><td>2550</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B1</td><td></td><td>TP B1</td><td></td><td>TP B1</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	4575		4575		2550				TP B1		TP B1		TP B1			
4575		4575		2550																	
TP B1		TP B1		TP B1																	
12000	D13	24 0	1200		<table><tr><td>6225</td><td></td><td>4575</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B1</td><td></td><td>TP B1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	6225		4575						TP B1		TP B1					
6225		4575																			
TP B1		TP B1																			
12000	D13	1 0	1225		<table><tr><td>7675</td><td></td><td>1550</td><td></td><td>1550</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B2</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	7675		1550		1550				TP B2		S TB1		S TB1			
7675		1550		1550																	
TP B2		S TB1		S TB1																	
12000	D13	5 0	550		<table><tr><td>7675</td><td></td><td>3775</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B2</td><td></td><td>S TB1A</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	7675		3775						TP B2		S TB1A					
7675		3775																			
TP B2		S TB1A																			
12000	D13	5 0	500		<table><tr><td>7675</td><td></td><td>3825</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B2</td><td></td><td>S TB1A</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	7675		3825						TP B2		S TB1A					
7675		3825																			
TP B2		S TB1A																			
12000	D13	182 0	1150		<table><tr><td>7750</td><td></td><td>1550</td><td></td><td>1550</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B1</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	7750		1550		1550				TP B1		S TB1		S TB1			
7750		1550		1550																	
TP B1		S TB1		S TB1																	
12000	D13	46 0	525		<table><tr><td>7750</td><td></td><td>3725</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B1</td><td></td><td>TP B1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	7750		3725						TP B1		TP B1					
7750		3725																			
TP B1		TP B1																			
12000	D13	58 0	1125		<table><tr><td>7775</td><td></td><td>1550</td><td></td><td>1550</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B1</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	7775		1550		1550				TP B1		S TB1		S TB1			
7775		1550		1550																	
TP B1		S TB1		S TB1																	
12000	D13	6 0	125		<table><tr><td>7775</td><td></td><td>4100</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B1</td><td></td><td>TP B2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	7775		4100						TP B1		TP B2					
7775		4100																			
TP B1		TP B2																			
12000	D13	8 0	975		<table><tr><td>7925</td><td></td><td>1550</td><td></td><td>1550</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP TB3</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	7925		1550		1550				TP TB3		S TB1		S TB1			
7925		1550		1550																	
TP TB3		S TB1		S TB1																	
12000	D13	16 0	925		<table><tr><td>7975</td><td></td><td>1550</td><td></td><td>1550</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B1A</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	7975		1550		1550				TP B1A		S TB1		S TB1			
7975		1550		1550																	
TP B1A		S TB1		S TB1																	
12000	D13	43 0	875		<table><tr><td>8025</td><td></td><td>1550</td><td></td><td>1550</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B1</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td>S TB1</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	8025		1550		1550				TP B1		S TB1		S TB1			
8025		1550		1550																	
TP B1		S TB1		S TB1																	
12000	D13	14 0	125		<table><tr><td>8025</td><td></td><td>3850</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B1</td><td></td><td>TP B1A</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	8025		3850						TP B1		TP B1A					
8025		3850																			
TP B1		TP B1A																			
12000	D13	2 0	125		<table><tr><td>8025</td><td></td><td>3850</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP TB3</td><td></td><td>TP B1A</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	8025		3850						TP TB3		TP B1A					
8025		3850																			
TP TB3		TP B1A																			
12000	D13	6 0	25		<table><tr><td>8250</td><td></td><td>3725</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B2</td><td></td><td>TP B1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	8250		3725						TP B2		TP B1					
8250		3725																			
TP B2		TP B1																			
12000	D13	1 0	4325		<table><tr><td>7675</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>TP B2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	7675								TP B2							
7675																					
TP B2																					

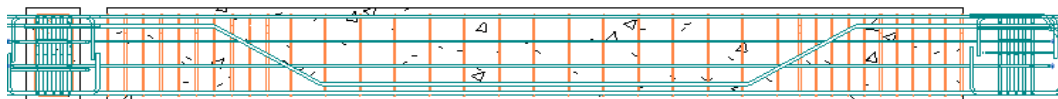
Gambar 5. Hasil *Cutting List*.

4.7. Analisis *Waste Material*

Analisis *waste material* dengan *cutting list* adalah proses untuk mengidentifikasi dan mengukur jumlah material yang terbuang serta kebutuhan tulangan selama proses pemotongan. *Software Cutting Optimization Pro* memainkan peran penting dalam mengoptimalkan penggunaan material. Pada *cutting list*, terdapat informasi tentang “Stock” panjang tulangan sepanjang 12 meter yang digunakan untuk tulangan tipe 1 dan 2. Dengan demikian, dapat menghitung efisiensi dan mengurangi pemborosan material dalam proyek konstruksi.

4.7.1. Analisis *Waste Tulangan Tipe 1*

Pada penulangan tipe 1 menggunakan pola penulangan per segmen.



Gambar 6. Pemodelan Tulangan Tipe 1.

Tabel 1. Kebutuhan dan Berat *Waste Tulangan Tipe 1 D19*.

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	12	8	0,075	96	213,67	1	1
2	12	32	0,15	384	854,67	5	11
3	12	24	0,225	288	641,00	5,40	12,02
4	12	66	0,225	792	1762,75	14,85	33,05
5	12	40	0,575	480	1068,34	23,00	51,19
6	12	5	1,95	60	133,54	9,75	21,70
7	12	109	2,2	1308	2911,22	239,80	533,72
8	12	144	3,95	1728	3846,01	568,80	1265,98
9	12	258	4	3096	6890,77	1032,00	2296,92
10	12	18	4,05	216	480,75	72,90	162,25
11	12	8	4,05	96	213,67	32	71,22
12	12	268	4,4	3216	7157,85	1179	2624,10
13	12	1	7,1	12	26,71	7,10	15,80
Total		981		11772	26200,95	3190,00	7100,0

Tabel 2. Kebutuhan dan Berat *Waste* Tulangan Tipe 1 D16.

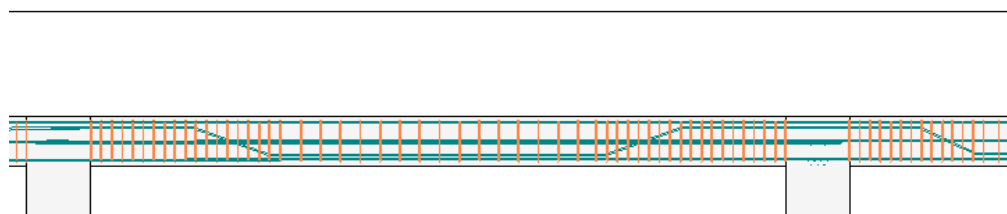
Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	12	7	0,925	84	132,58	6	10
2	12	29	3,65	348	549,26	106	167
3	12	20	0,05	240	378,80	1	2
4	12	25	3,75	300	473,50	94	148
5	12	432	0,432	5184	8182,09	187	295
6	12	36	0	432	681,84	0	0
7	12	9	3,875	108	170,46	35	55
8	12	625	3,9	7500	11837,52	2438	3847
9	12	40	0,174	480	757,60	7	11
10	12	760	4,1	9120	14394,43	3116	4918
11	12	98	4,225	1176	1856,12	414	654
12	12	25	0	300	473,50	0	0
13	12	39	4,4	468	738,66	172	271
14	12	9	0,275	108	170,46	2	4
15	12	7	0,5	84	132,58	4	6
16	12	4	0,1	48	75,76	0	1
17	12	1	0,875	12	18,94	1	1
18	12	14	1,65	168	265,16	23	36
19	12	72	2,1	864	1363,68	151	239
20	12	18	2,31	216	340,92	42	66
21	12	8	2,35	96	151,52	19	30
Total		2278,00	0	27336,00	43145,40	6816,61	10758,91

Tabel 3. Kebutuhan dan Berat *Waste* Tulangan Tipe 1 D13.

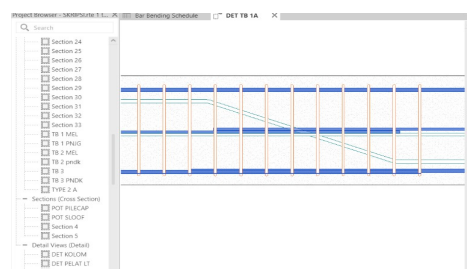
Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	12	34	1,15	408	425,11	39,10	40,74
2	12	10	1,3	120	125,03	13,00	13,55
3	12	4	0,3	48	50,01	1,20	1,25
4	12	24	1,2	288	300,08	28,80	30,01
5	12	1	1,225	12	12,50	1,23	1,28
6	12	5	0,55	60	62,52	2,75	2,87
7	12	5	0,5	60	62,52	2,50	2,60
8	12	182	1,15	2184	2275,62	209,30	218,08
9	12	46	0,525	552	575,16	24,15	25,16
10	12	58	1,125	696	725,20	65,25	67,99
11	12	6	0,125	72	75,02	0,75	0,78
12	12	8	0,975	96	100,03	7,80	8,13
13	12	16	0,925	192	200,05	14,80	15,42
14	12	43	0,875	516	537,65	37,63	39,20
15	12	14	0,125	168	175,05	1,75	1,82
16	12	2	0,125	24	25,01	0,25	0,26
17	12	6	0,025	72	75,02	0,15	0,16
18	12	1	4,325	12	12,50	4,33	4,51
Total		465,00		5580,00	5814,07	454,73	473,80

4.7.2. Analisis Waste Tulangan Tipe 2.

Analisis berdasarkan hasil output *Bar Bending Schedule* (BBS) melibatkan penentuan pemasangan tulangan berdasarkan bentang terpanjang yang dapat terpasang. Dalam tahap selanjutnya, penyaluran tulangan dilakukan dengan mengacu pada regulasi SNI 2847 Tahun 2019. Regulasi ini memberikan pedoman dan standar untuk pelaksanaan konstruksi beton bertulang di Indonesia.



Gambar 7. Pemodelan Penulangan Tipe 2.



Gambar 8. Detail Pemodelan Tulangan Tipe 2.

Tabel 4. Kebutuhan dan Berat *Waste* Tulangan Tipe 2 D19.

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	12	111	0	1332	2964,63	0	0
2	12	48	0,2	576	1282,00	10	21
3	12	174	1,1	2088	4647,26	191,40	426,00
4	12	6	1,365	72	160,25	8,19	18,23
5	12	36	2,05	432	961,50	73,80	164,26
6	12	12	0,225	144	320,50	2,70	6,01
7	12	4	3,75	48	106,83	15,00	33,39
8	12	53	0,025	636	1415,55	1	3
9	12	1	3,95	12	26,71	4	9
10	12	16	4,05	192	427,33	64,80	144,23
11	12	32	0,025	384	854,67	0,80	1,78
12	12	72	4,2	864	1923,01	302,40	673,05
13	12	132	0,025	1584	3525,51	3,30	7,34
14	12	80	4,225	960	2136,67	338,00	752,29
15	12	19	4,425	228	507,46	84	187
16	12	1	0,75	12	26,71	1	2
17	12	5	1,8	60	133,54	9,00	20,03
18	12	1	2	12	26,71	2,00	4,45
19	12	3	2,1	36	80,13	6,30	14,02
20	12	1	2,2	12	26,71	2,20	4,90
21	12	27	2,25	324	721,13	60,75	135,21
22	12	1	2,475	12	26,71	2	6
23	12	27	2,7	324	721,13	73	162
24	12	1	73,5	12	26,71	73,50	163,59
Total		863		9552,00	23049,36	1329,22	2958,43

Tabel 5. Kebutuhan dan Berat Waste Tulangan Tipe 1 D16.

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	12	5	0,225	60	94,70	1	2
2	12	6	2,4	72	113,64	14	23
3	12	5	2,35	60	94,70	12	19
4	12	16	2,2	192	303,04	35	56
5	12	38	0,4	456	719,72	15	24
6	12	16	0,4	192	303,04	6	10
7	12	12	0,35	144	227,28	4	7
8	12	71	2,125	852	1344,74	151	238
9	12	6	1,365	72	113,64	8	13
10	12	28	1,275	336	530,32	36	56
11	12	16	0,9	192	303,04	14	23
12	12	1	7,2	12	18,94	7	11
Total		220,00		2640,00	4166,81	304,64	480,82

Tabel 6. Kebutuhan dan Berat *Waste* Tulangan Tipe 2 D13.

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	12	82	0,1	984	1025,28	8	8,54
2	12	24	0,15	288	300,08	4	3,75
3	12	3	0,275	36	37,51	1	0,86
4	12	16	0,35	192	200,05	6	5,83
5	12	3	0,375	36	37,51	1	1,17
6	12	26	0,525	312	325,09	14	14,22
7	12	3	1,4	36	37,51	4	4,38
8	12	78	1,65	936	975,26	129	134,10
9	12	11	3,1	132	137,54	34	35,53
10	12	18	4,25	216	225,06	77	79,71
Total		264,00		3168,00	3300,89	276,50	288,10

Tabel 7. Kebutuhan dan Berat *Waste* Tulangan Tipe 2 D10.

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	12	106	0	1272	784,24	0,00	0,00
2	12	1	0	12	7,40	0,00	0,00
3	12	9	0	108	66,59	0,00	0,00
4	12	446	0,275	5352	3299,71	122,65	75,62
5	12	248	0,075	2976	1834,82	18,60	11,47
6	12	74	0,15	888	547,49	11,10	6,84
7	12	1	6,675	12	7,40	6,68	4,12
8	12	1	1,45	12	7,40	1,45	0,89
Total		886,00		10632,00	6555,03	160,48	98,94

Tabel 8. Rekap Kebutuhan dan Berat *Waste*.

Tulangan		Kebutuhan		Waste	
		Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
Tipe 1	D19	8448	18802,72	3190,60	7101
	D16	27336	43145,40	6816,61	10758,91
	D13	5580,00	5814,07	454,73	473,80
	D10	10632	6555,03	160,48	98,94
	D19	9552	23049,36	1329,22	2958,43
Tipe 2	D16	2640	4166,81	304,64	480,82
	D13	3168	3300,89	276,50	288,10
	D10	10632	6555,03	160,48	98,94

4.8. Waste Level

Waste level atau tingkat terbuang adalah indikator yang digunakan untuk mengukur persentase material yang terbuang selama proses pemasangan. Tingginya *waste* level berdampak negatif pada berbagai aspek, terutama kerugian biaya. Material yang terbuang harus dibeli, diangkut, dan dibuang, sehingga menambah pengeluaran. Selain itu, *waste*

level yang tinggi juga bisa menjadi indikator adanya inefisiensi dalam proses produksi atau konstruksi. Dengan mengurangi *waste level*, kita dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan meminimalkan dampak lingkungan.

Waste level atau tingkat terbuang adalah indikator yang digunakan untuk mengukur persentase material yang terbuang selama proses pemasangan. Tingginya *waste level* berdampak negatif pada berbagai aspek, terutama kerugian biaya. Material yang terbuang harus dibeli, diangkut, dan dibuang, sehingga menambah pengeluaran. Selain itu, *waste level* yang tinggi juga bisa menjadi indikator adanya inefisiensi dalam proses produksi atau konstruksi. Dengan mengurangi *waste level*, kita dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan meminimalkan dampak lingkungan.

$$\text{Waste Level} = \boxed{} \times 100\%$$

Tabel 9. Persentase Berat Kebutuhan dan Berat *Waste*.

Tulangan		Berat Kebutuhan (kg)	Berat <i>Waste</i> (kg)	<i>Waste Level</i>
Tipe 1	D19	18802,72	7101,32	37,77%
	D16	43145,40	10758,91	24,94%
	D13	5814,07	473,80	8,15%
	D10	6555,03	98,94	1,51%
Tipe 2	D19	23049,36	2958,43	12,84%
	D16	4166,81	480,82	11,54%
	D13	3300,89	288,10	8,73%
	D10	6555,03	98,94	1,51%

4.9. Pembahasan

Penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) dengan *Autodesk Revit* dalam perencanaan dan pemodelan memungkinkan penghasilan *Bar Bending Schedule* (BBS) secara cepat dan akurat. Ketelitian dalam memasukkan *Schedule Mark* akan mempengaruhi akurasi hasil *output* dari BBS. BIM diterapkan dalam seluruh proses, dari perencanaan hingga pemeliharaan, dengan tujuan meningkatkan efektivitas dan efisiensi penggunaan material serta meminimalisir *waste* material. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Nurvireza D. (2023).

Penerapan BIM juga berpotensi mengurangi waktu, biaya, dan meningkatkan ketepatan proses pengerjaan. Terkadang, kesalahan akibat kurangnya ketelitian atau human error dapat terjadi, dan kompleksitas proyek semakin menuntut penggunaan teknologi seperti BIM, sebagaimana yang ditemukan oleh Apriansyah R. (2021).

Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan *software Autodesk Revit* dan analisis *waste* material penulangan balok tipe 1 dan 2 pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Polda Lampung menggunakan *software Cutting Optimization Pro*, diperoleh hasil sebagai berikut:

▪ Kebutuhan tulangan untuk penulangan tipe 1:

- D19: 18.802,72 kg
- D16: 43.145,40 kg
- D13: 5.814,07 kg
- D10: 6.555,03 kg

Total kebutuhan penulangan tipe 1: 74.317,22 kg

Berat *waste* dari pola penulangan tipe 1:

- D19: 7.101,32 kg
- D16: 10.758,91 kg
- D13: 473,80 kg
- D10: 98,94 kg

Total *waste* penulangan tipe 1: 18.432,97 kg

▪ Kebutuhan tulangan untuk penulangan tipe 2:

- D19: 23.049,36 kg
- D16: 4.166,81 kg
- D13: 3.300,89 kg
- D10: 6.555,03 kg

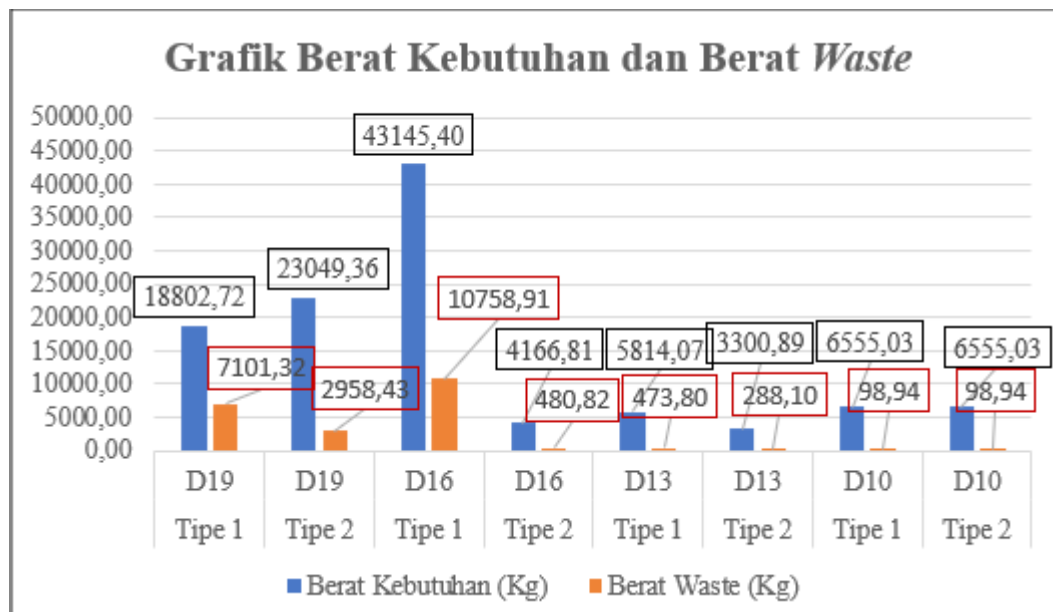
Total kebutuhan penulangan tipe 2: 37.072,08 kg

Berat *waste* dari pola penulangan tipe 2:

- D19: 2.958,43 kg
- D16: 480,82 kg
- D13: 288,10 kg
- D10: 98,94 kg

Total *waste* penulangan tipe 2: 3.826,30 kg

Dengan memahami hasil analisis ini, dapat lebih efisien dalam penggunaan material dan mengurangi pemborosan.

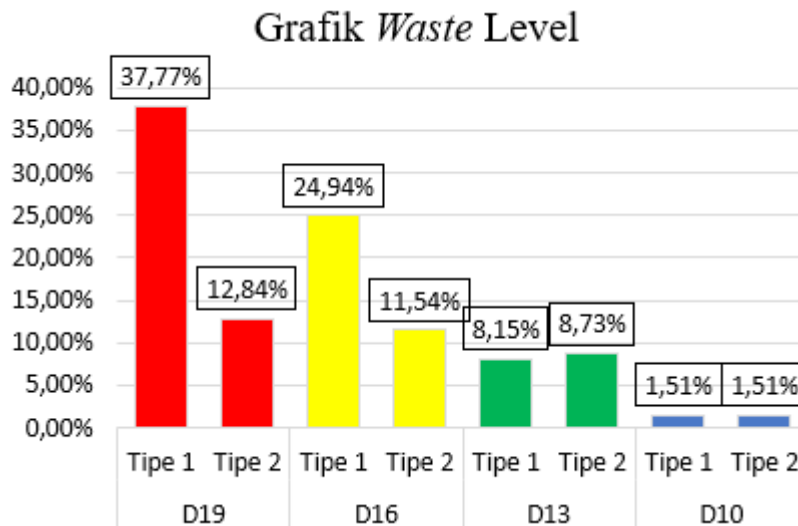


Gambar 9. Grafik Berat Kebutuhan dan Berat *Waste*.

Pola penulangan tipe 1 melibatkan pemasangan tulangan per segmen, yang menghasilkan kebutuhan berat dan *waste* yang lebih besar dibandingkan dengan pola penulangan tipe 2, yang memanfaatkan bentang terpanjang yang dapat digunakan untuk pemasangan tulangan.

- Selisih Kebutuhan Berat:
 - Perbedaan dalam kebutuhan berat antara kedua tipe penulangan adalah 37.245,13 kg.
 - Penulangan tipe 2 lebih hemat sebesar 33,28% dari rata-rata berat total kedua tipe, karena mengurangi penggunaan material.
- Selisih Berat *Waste*:
 - Perbedaan dalam berat *waste* antara kedua pola penulangan adalah 14.606,67 kg.
 - Penulangan tipe 2 lebih hemat sebesar 17,19% dari berat rata-rata total *waste* kedua tipe, karena mengurangi pemborosan material.

Dengan mengoptimalkan pola penulangan, dapat mencapai efisiensi yang lebih baik dan meminimalkan pemborosan material dalam proyek konstruksi.



Gambar 10. Grafik *Waste Level*.

Angka persentase *waste* pada tipe 2 lebih efisien dan hemat karena menggunakan tulangan dengan bentang terpanjang yang dapat dimanfaatkan, sehingga mengurangi *waste* yang seharusnya dihasilkan. Dibandingkan dengan tipe 1, pola pemotongan per segmen pada tipe 2 memperhitungkan banyaknya bentang dengan panjang yang berbeda dan bentuk tulangan bengkokan, yang menjadi faktor utama dalam angka *waste* pada tipe 1 yang jauh lebih besar.

Secara keseluruhan, penulangan balok tipe 2 lebih efisien jika ditinjau dari berat kebutuhan dan berat *waste*. Selain itu, *waste level* pada penulangan tipe 2 juga lebih rendah dibandingkan dengan tipe 1

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pemodelan 3D, pemodelan penulangan, dan analisis data, berikut adalah kesimpulan dari penelitian ini:

1. Pemodelan 3D dan Penulangan Struktur dengan *Autodesk Revit*.
Autodesk Revit, yang merupakan *software* berbasis *Building Information Modeling* (BIM), digunakan untuk pemodelan pondasi, sloof, kolom, balok, pelat lantai, dan tangga. Dengan memanfaatkan fitur *Schedule/Quantity*, *Autodesk Revit* dapat menghasilkan output *Bar Bending Schedule* (BBS) yang mencakup volume dan berat dari tulangan balok.
2. Analisis *Waste Material* Tulangan Balok.
Berdasarkan hasil dari *Bar Bending Schedule* (BBS) dan *cutting list* dari *Cutting Optimization Pro*, ditemukan : Kebutuhan berat tulangan tipe 2 lebih hemat 33,28% dibandingkan dengan rata-rata total berat kedua tipe penulangan. Berat *waste* tulangan tipe 2 lebih hemat 17,18% dibandingkan dengan rata-rata total *waste* kedua tipe. *Waste level* tulangan tipe 2 lebih hemat 37,75% dibandingkan dengan tipe 1.
3. Penggunaan *Software Autodesk Revit* dan *Cutting Optimization Pro*.
Autodesk Revit digunakan untuk pemodelan objek dan menghasilkan output *Bar Bending Schedule*. *Cutting Optimization Pro* digunakan untuk menghasilkan *cutting list* dengan optimalisasi *waste* dan meminimalisir *human error*. Pertimbangan utama dalam penggunaan *Cutting Optimization Pro* adalah efisiensi waktu dan mengurangi kesalahan. Dengan memahami temuan ini, kita dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemborosan dalam proyek konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Mudzakir, A. C., Setiawan, A., Wibowo, M. A., & Khasani, R. R. (2017). Evaluasi Waste dan Implementasi Lean Construction (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Serbaguna Taruna Politeknik Ilmu Pelayanan Semarang). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(2), 145–158. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts%0AEVALUASI>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Baja Tulangan Beton. SNI 2052-2017, 13.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. SNI 2847-2019, 8, 720.
- Apriansyah, R. (2021). Implementasi Konsep *Building Information Modelling* (BIM) Dalam Estimasi Quantity Take Off Material Pekerjaan Struktural. *Universitas Islam Indonesia*, 126.
- Baja, P., Beton, T., Bjtp, P., Ichsan, M., Kurniawannasution, F., & Irwan, A. (2000). *Pengaruh Pengelasan Smaw Terhadap Kekuatan Tarik*. 3814(70), 268–272.

