

Analisis *Waste Material* Tulangan Pelat Menggunakan BIM Pada Proyek Gedung Penunjang RS. PON Jakarta

Robi Malik Al-Nas¹; Achmad Pahrul Rodji^{1*}; Indriasari¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana
Jatiwaringin, Jakarta 13077 Indonesia

^{*)}Email : robimalikalnas@gmail.com

Received: 13 February 2026

Accepted: 4 May 2026

Published: 25 Agustus 2026

ABSTRACT

The construction industry in Indonesia continues to grow in response to the increasing demand for adequate infrastructure. Material efficiency is a critical factor in construction projects, influencing cost, time, and quality performance. Reinforcing steel is one of the most widely used materials in building structures, particularly in reinforced concrete slab elements. However, reinforcement work often generates material waste, which can lead to construction cost inefficiencies. This research was conducted on the Supporting Building project of the National Brain Center Hospital (PON), a vital and complex healthcare facility where material efficiency is essential. The study applied a purely experimental quantitative research method, using numerical data to analyze reinforcement usage and waste. Quantitative analysis was performed by comparing the required amount of slab reinforcement with the waste produced during construction. The results show that the total required weight of slab reinforcement was 141,121.69 kg, while the waste reached 21,938.48 kg. The highest waste percentage occurred in D10 reinforcement at 18.5% (7,470.49 kg), while the lowest waste was found in D13 reinforcement at 14.4%. Overall, the cumulative slab reinforcement waste was 15.5%.

Keywords: *Bending Schedule, BIM, Cutting Optimization Pro, Slab Reinforcement, Waste Material Bar*

ABSTRAK

Industri konstruksi di Indonesia terus berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan infrastruktur yang memadai. Efisiensi penggunaan material merupakan faktor yang sangat penting dalam proyek konstruksi karena berpengaruh terhadap biaya, waktu, dan mutu pelaksanaan. Baja tulangan merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam struktur bangunan, khususnya pada elemen pelat beton bertulang. Namun, dalam pelaksanaannya, pekerjaan pembesian sering menimbulkan waste material yang dapat menyebabkan ketidakefisienan biaya konstruksi. Penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan Gedung Penunjang Rumah Sakit Pusat Otak Nasional (PON), yang merupakan fasilitas kesehatan vital dan kompleks sehingga efisiensi penggunaan material menjadi hal yang sangat penting. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif eksperimental murni dengan memanfaatkan data numerik untuk menganalisis penggunaan dan waste tulangan. Analisis kuantitatif dilakukan dengan membandingkan kebutuhan tulangan pelat dengan jumlah waste yang dihasilkan selama proses konstruksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total berat kebutuhan tulangan pelat adalah sebesar 141.121,69 kg, sedangkan total waste tulangan mencapai 21.938,48 kg. Persentase waste terbesar terjadi pada tulangan D10 sebesar 18,5% (7.470,49 kg), sedangkan persentase waste terkecil terdapat pada tulangan D13 sebesar 14,4%. Secara keseluruhan, persentase kumulatif waste tulangan pelat pada proyek ini adalah sebesar 15,5%.

Kata kunci: *Bar Bending Schedule, BIM, Cutting Optimization Pro, Tulangan Pelat, Waste Material.*

1. PENDAHULUAN

Material yang paling banyak digunakan dalam struktur bangunan pada industri konstruksi adalah baja tulangan, khususnya pada elemen pelat beton bertulang. Namun dalam pelaksanaannya, sering terjadi pemborosan (*waste*) material tulangan yang dapat menimbulkan inefisiensi biaya konstruksi.[1] Kontribusi *waste* material tulangan pada proyek gedung bertingkat di Indonesia diperkirakan berkisar antara 2% hingga 10% dari total pemborosan material.[2] Penerapan Building Information Modeling (BIM) memungkinkan pelaku proyek menganalisis kebutuhan material secara lebih akurat sehingga potensi pemborosan di lapangan dapat diminimalkan.

Pada era Revolusi Industri 4.0, penggunaan BIM menjadi salah satu indikator kemajuan sektor konstruksi.[3] BIM merupakan metodologi yang mengintegrasikan seluruh informasi proyek—meliputi spesifikasi, kuantitas, biaya, tahapan pekerjaan, dan aspek lainnya—ke dalam model bangunan tiga dimensi. Pendekatan ini memberikan berbagai manfaat, seperti pengendalian biaya dan waktu, koordinasi pelaksanaan yang lebih efisien, serta optimalisasi manajemen aset infrastruktur.[4] Penelitian Ardianto menunjukkan bahwa penerapan BIM dalam analisis *waste* material tulangan mampu menurunkan tingkat pemborosan hingga 15% dibandingkan metode konvensional.[5] Selain itu, perbandingan penggunaan wiremesh dan tulangan konvensional dapat dianalisis secara presisi melalui pendekatan BIM dan perangkat pendukung lainnya, bahkan tanpa memerlukan data lapangan secara langsung.[6] BIM juga mendorong pertukaran model tiga dimensi antar-disiplin ilmu sehingga proses berbagi informasi menjadi lebih cepat dan berdampak positif terhadap pelaksanaan konstruksi.

Proyek bangunan dengan standar keselamatan dan mutu tinggi, seperti RS PON, menuntut kesalahan pengadaan maupun penggunaan material ditekan seminimal mungkin. Kelebihan pemesanan maupun sisa potongan material akan berpengaruh langsung terhadap efisiensi proyek. Oleh karena itu, analisis *waste* material melalui simulasi digital berbasis BIM menjadi sangat penting diterapkan.[7] Autodesk Revit sebagai salah satu perangkat lunak BIM digunakan untuk memperoleh informasi proyek melalui simulasi dan analisis serta memprediksi kinerja sebelum konstruksi dilaksanakan.[8] Metode Bar Bending Schedule (BBS) juga dapat meningkatkan efisiensi pekerjaan penulangan dengan mengurangi limbah yang dihasilkan.

[9]*Waste* material merupakan sisa material yang muncul selama proses konstruksi berlangsung. Sebagian limbah tidak dapat dimanfaatkan kembali secara efektif, seperti potongan besi berukuran sangat kecil, sedangkan sebagian lainnya masih dapat digunakan ulang, misalnya sisa material bekisting.[10] Proses pemotongan baja tulangan menjadi bagian-bagian kecil sering menimbulkan limbah berupa potongan yang tersisa.[11] Asnudin mengelompokkan *waste* material menjadi dua jenis, yaitu *direct waste* dan *indirect waste*. Limbah akibat pemotongan baja tulangan termasuk dalam kategori *direct waste*, khususnya *cutting waste*, yaitu limbah yang dihasilkan dari proses pemotongan bahan seperti tiang pancang, besi beton, batu bata, keramik, dan material lainnya.[12] Berdasarkan SNI 7394:2008 tentang perhitungan indeks bahan, toleransi *waste* telah diperhitungkan sebesar 5%–20% yang mencakup angka susut, bergantung pada jenis material dan komposisi adukan.

[13]Penanganan *waste* material juga berpotensi meningkatkan biaya proyek secara keseluruhan, terutama akibat biaya transportasi menuju lokasi pembuangan yang umumnya berjarak cukup jauh. Oleh sebab itu, pengelolaan *waste* perlu dilakukan dengan pemisahan antara material yang masih dapat digunakan kembali (*reuse*), didaur ulang (*recycle*), dijual kembali (*salvage*), maupun yang harus dibuang (*disposal*).

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada Proyek Pembangunan Gedung Penunjang Rumah Sakit Pusat Otak Nasional Jakarta Timur berlokasi di Jl. M.T. Haryono Kav 11 Cawang, Jakarta Timur 13630. Lokasi penelitian dapat dilihat Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Objek Penelitian

2.2 Data Penelitian

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini yaitu gambar rencana Gedung Penunjang Rumah Sakit Otak Nasional Jakarta. Data didapatkan dari perusahaan Konsultan Pengawas.

2.3 Software Pendukung Penelitian

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Autodesk Revit dan *Cutting Optimization Pro*. Autodesk Revit dimanfaatkan karena mampu menghasilkan keluaran berupa *Bar Bending Schedule* (BBS) yang menjadi dasar analisis dalam penelitian. Sementara itu, *Cutting Optimization Pro* digunakan untuk melakukan optimasi proses pemotongan tulangan guna meningkatkan efisiensi penggunaan material.

2.4 Rencana Analisis Data

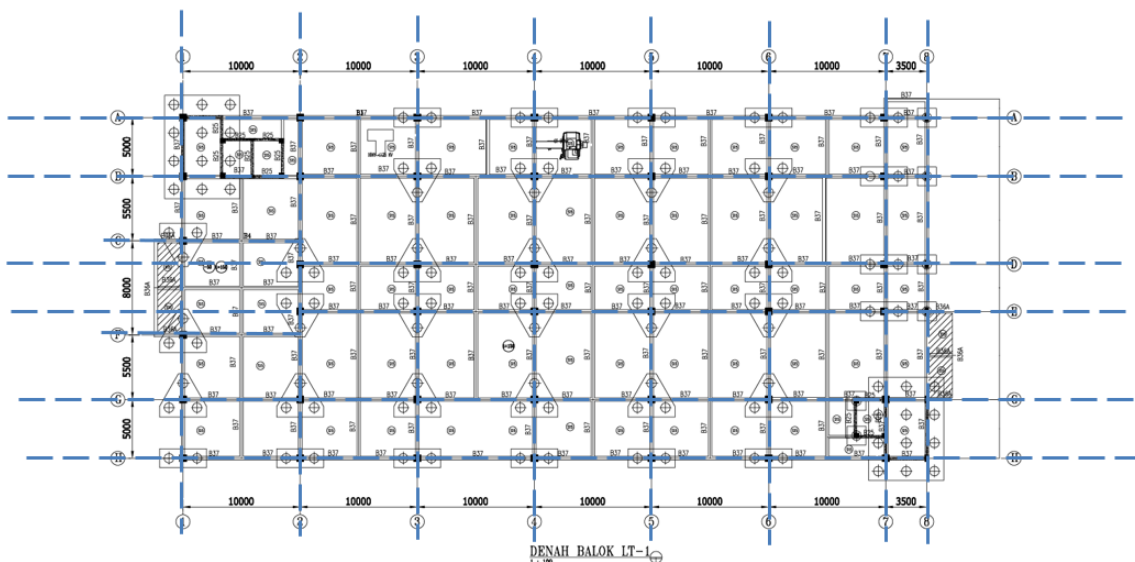
Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen murni. Metode kuantitatif merupakan pendekatan penelitian yang menghasilkan pengetahuan berdasarkan pengolahan data numerik sebagai sumber informasi untuk menganalisis serta memahami fenomena yang diteliti. Dalam penelitian ini digunakan variabel kontrol berupa proses pemotongan tulangan dan kebutuhan pemotongan, yang selanjutnya dianalisis untuk memperoleh besaran *waste* tulangan yang dihasilkan.

2.4.1 Tahap Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa gambar rencana Gedung Penunjang Rumah Sakit Otak Nasional Jakarta. Berdasarkan data tersebut, proses pemodelan struktur tiga dimensi dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit.

2.4.2 Tahap Pemodelan

Tahapan pemodelan tiga dimensi struktur Gedung Penunjang Rumah Sakit Otak Nasional Jakarta dilakukan menggunakan metode *Building Information Modeling* (BIM) melalui perangkat lunak Autodesk Revit dengan mengacu pada gambar kerja yang tersedia. Elemen struktur yang dimodelkan meliputi *bore pile*, *pile cap*, kolom, balok, serta pelat. Pemodelan penulangan pada elemen pelat dilakukan dengan tipe pemotongan berdasarkan segmentasi bangunan pada setiap lantai. Ilustrasi tipe penulangan per segmen tersebut ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rencana Pemotongan Penulangan Pelat Persegmen

2.4.3 Bar Bending Schedule (BBS)

Analisis *Bar Bending Schedule* (BBS) merupakan proses pengolahan data yang bertujuan menghasilkan informasi mengenai jenis, diameter, bentuk, panjang, serta jumlah baja tulangan yang digunakan. Dokumen *Bar Bending Schedule* (BBS) tersebut diperoleh melalui pemanfaatan perangkat lunak Autodesk Revit.

2.4.4 Pola Pemotongan Baja Tulangan dan Analisis *Waste Material*

Berdasarkan data *Bar Bending Schedule* (BBS), selanjutnya dilakukan perhitungan *waste material* tulangan menggunakan perangkat lunak yang mampu mengombinasikan berbagai pola pemotongan tulangan untuk menghasilkan sisa potongan paling kecil dibandingkan pola lainnya. Pada tahap ini dilakukan proses perhitungan sekaligus analisis terhadap *waste material* tulangan pelat.

2.5 Alur Tahapan

Alur penelitian dapat dilihat berikut :

1. Mulai

Tahap awal dalam melakukan penelitian ini adalah mulai

2. Studi Literatur

Melakukan kajian teori dan mengumpulkan referensi yang berkaitan dengan *Waste* material, teknik pemodelan struktur, metode optimasi pemotongan tulangan, dan penggunaan Software terkait.

3. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data proyek nyata, seperti gambar kerja, spesifikasi teknis, dimensi struktur, jumlah tulangan, dan data lainnya yang dibutuhkan untuk pemodelan.

4. Pemodelan 3D

Struktural dan Pemodelan Penulangan dengan Software Autodesk Revit Membuat model 3D struktur gedung, termasuk pemodelan detail penulangan (Rebar modeling) menggunakan Autodesk Revit, berdasarkan data proyek yang telah dikumpulkan.

5. Clash Detection Clash Detection adalah proses pengecekan pada model apakah terjadi konflik/tabrakan antara masing-masing model yang menempati tempat yang sama atau pada suatu perpotongan.

6. Hasil Bar Bending Schedule

Menghasilkan daftar kebutuhan material:

1) Bar Bending Schedule (BBS): Tabel potongan dan pembengkokan tulangan sesuai dengan desain.

7. Analisis Optimasi *Waste* Model Penulangan dengan Software Cutting Optimization Pro

1) Mengoptimalkan penggunaan batang tulangan untuk meminimalkan sisa potongan (*Waste*) menggunakan aplikasi Cutting Optimization Pro.

2) Software ini membantu mengatur panjang potongan agar penggunaan batang besi lebih efisien.

8. Hasil *Waste* Material Penulangan

1) Menghitung berapa banyak pengurangan *Waste* yang berhasil dicapai melalui proses optimasi.

9. Kesimpulan dan Saran

Setelah data dianalisis dan dibahas dapat dihasilkan kesimpulan dan saran yang merupakan hasil akhir dari penelitian ini.

10. Selesai

Penelitian dan analisis selesai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perangkat lunak *Cutting Optimization Pro* merupakan salah satu alat pendukung dalam meningkatkan efisiensi penggunaan material, terutama pada proses optimalisasi pemotongan batang tulangan. Aplikasi ini mampu menyusun pola pemotongan secara otomatis berdasarkan kebutuhan proyek sehingga sisa material yang terbuang dapat diminimalkan. Kemampuan menghasilkan *cutting list* secara cepat dan optimal menjadikan perangkat lunak ini sebagai solusi yang efektif dalam pengendalian *waste* material pada proyek konstruksi modern.

Berdasarkan hasil analisis *waste* material tulangan pelat menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) pada proyek pembangunan Gedung Penunjang Rumah Sakit Otak Nasional Jakarta, data perhitungan optimasi menunjukkan total berat kebutuhan baja tulangan pelat untuk diameter D10 dan D13 yang telah disesuaikan melalui proses perencanaan yang lebih efisien.

3.1 Waste Tulangan Pelat D10

Perhitungan kebutuhan dan *waste* material tulangan pelat D10 di tampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kebutuhan dan *Waste* Material Tulangan Pelat D10

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah Batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang	Berat	Panjang	Berat
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	12	4	0	48	29,59	0	0
2	12	10	0	120	73,98	0	0
3	12	48	0	576	355,13	0	0
4	12	108	0	1296	799,03	0	0
5	12	6	0	72	44,39	0	0
6	12	8	0	96	59,19	0	0
7	12	6	0	72	44,39	0	0
8	12	6	0	72	44,39	0	0
9	12	32	0	384	236,75	0	0
10	12	51	0	612	377,32	0	0
11	12	12	0	144	88,78	0	0
12	12	4	0	48	29,59	0	0
13	12	8	0	96	59,19	0	0
14	12	6	0	72	44,39	0	0
15	12	78	0,05	936	577,08	3,9	2,40
16	12	2	0,05	24	14,80	0,1	0,06
17	12	6	0,075	72	44,39	0,45	0,28
18	12	2	0,1	24	14,80	0,2	0,12
19	12	26	0,1	312	192,36	2,6	1,60
20	12	2	0,1	24	14,80	0,2	0,12
21	12	1	0,15	12	7,40	0,15	0,09
22	12	8	0,2	96	59,19	1,6	0,99
23	12	10	0,2	120	73,98	2	1,23
24	12	34	0,35	408	251,55	11,9	7,34
25	12	86	0,4	1032	636,27	34,4	21,21
26	12	80	0,5	960	591,88	40	24,66
27	12	6	0,7	72	44,39	4,2	2,59
28	12	3	1	36	22,20	3	1,85
29	12	781	1,4	9372	5778,19	1093,4	674,12
30	12	2096	1,7	25152	15507,16	3563,2	2196,85
31	12	1	1,8	12	7,40	1,8	1,11
32	12	1	1,875	12	7,40	1,875	1,16
33	12	2	1,95	24	14,80	3,9	2,40
34	12	24	2	288	177,56	48	29,59
35	12	228	2,3	2736	1686,85	524,4	323,31
36	12	1	2,675	12	7,40	2,675	1,65
37	12	246	3,4	2952	1820,02	836,4	515,67
38	12	20	3,7	240	147,97	74	45,62
39	12	1394	4,2	16728	10313,45	5854,8	3609,71

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah Batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang	Berat	Panjang	Berat
40	12	1	7,7	12	7,40	7,7	4,75
Total		5448	38,67	65376	40306,79	12116,85	7470,49

3.2 Waste Tulangan Pelat D13

Perhitungan kebutuhan dan *waste* material tulangan pelat D13 di tampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kebutuhan dan *Waste* Material Tulangan Pelat D13

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah Batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang	Berat	Panjang	Berat
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	12	4	0	48	50,01	0	0
2	12	4	0	48	50,01	0	0
3	12	4	0	48	50,01	0	0
4	12	8	0	96	100,03	0	0
5	12	31	0	372	387,61	0	0
6	12	2	0	24	25,01	0	0
7	12	56	0	672	700,19	0	0
8	12	6	0	72	75,02	0	0
9	12	2	0	24	25,01	0	0
10	12	2	0	24	25,01	0	0
11	12	1	0	12	12,50	0	0
12	12	1	0	12	12,50	0	0
13	12	2	0	24	25,01	0	0
14	12	12	0	144	150,04	0	0
15	12	1	0	12	12,50	0	0
16	12	6	0	72	75,02	0	0
17	12	2	0	24	25,01	0	0
18	12	3	0	36	37,51	0	0
19	12	2	0	24	25,01	0	0
20	12	2	0	24	25,01	0	0
21	12	6	0	72	75,02	0	0
22	12	16	0	192	200,05	0	0
23	12	26	0	312	325,09	0	0
24	12	10	0	120	125,03	0	0
25	12	1	0	12	12,50	0	0
26	12	9	0	108	112,53	0	0
27	12	2	0	24	25,01	0	0
28	12	4	0	48	50,01	0	0
29	12	5	0	60	62,52	0	0
30	12	2	0	24	25,01	0	0
31	12	1	0	12	12,50	0	0
32	12	34	0	408	425,12	0	0

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah Batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang	Berat	Panjang	Berat
33	12	54	0	648	675,18	0	0
34	12	18	0	216	225,06	0	0
35	12	2	0	24	25,01	0	0
36	12	2	0	24	25,01	0	0
37	12	56	0	672	700,19	0	0
38	12	1	0	12	12,50	0	0
39	12	3	0	36	37,51	0	0
40	12	12	0	144	150,04	0	0
41	12	9	0	108	112,53	0	0
42	12	2	0	24	25,01	0	0
43	12	327	0,025	3924	4088,61	8,175	8,52
44	12	3	0,025	36	37,51	0,075	0,08
45	12	3	0,05	36	37,51	0,15	0,16
46	12	122	0,1	1464	1525,41	12,2	12,71
47	12	142	0,1	1704	1775,48	14,2	14,80
48	12	88	0,125	1056	1100,30	11	11,46
49	12	35	0,125	420	437,62	4,375	4,56
50	12	113	0,4	1356	1412,88	45,2	47,10
51	12	408	0,4	4896	5101,39	163,2	170,05
52	12	561	0,45	6732	7014,41	252,45	263,04
53	12	8	1	96	100,03	8	8,34
54	12	1068	1,4	12816	13353,63	1495,2	1557,92
55	12	3180	1,7	38160	39760,81	5406	5632,78
56	12	56	2,45	672	700,19	137,2	142,96
57	12	8	2,75	96	100,03	22	22,92
58	12	132	3,7	1584	1650,45	488,4	508,89
59	12	1340	4,2	16080	16754,56	5628	5864,09
60	12	42	4,5	504	525,14	189	196,93
61	12	1	6,7	12	12,50	0,67	0,70
Total		8063	24195	96756	100814,9	13885,49	14467,99

3.3 Waste Level

Setelah diperoleh data mengenai kebutuhan dan *waste* tulangan pelat, tahap berikutnya adalah menghitung tingkat *waste* (*waste level*) pada tulangan pelat. *Waste level* merupakan indikator yang digunakan untuk mengukur persentase pemborosan material yang terjadi dalam suatu proyek konstruksi. Nilai *waste level* ditentukan berdasarkan persentase estimasi total sisa material yang tidak dapat dimanfaatkan kembali.

Waste level dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\text{Waste Level} = \frac{\text{Berat Waste}}{\text{Berat Kebutuhan}} \times 100\% \dots (1)$$

Perhitungan *waste level* disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. *Waste Level Material Tulangan Pelat*

Perhitungan sebelum Optimasi			
Tulangan	Berat Kebutuhan (Kg)	Berat <i>Waste</i> (Kg)	<i>Waste Level</i> (%)
D10	32860,90	8611,0	26,2
D13	86619,7	21461,74	24,8
Perhitungan Sesudah Optimasi			
Tulangan	Berat Kebutuhan (Kg)	Berat <i>Waste</i> (Kg)	<i>Waste Level</i> (%)
D10	40306,79	7470,49	18,5
D13	100814,9	14467,99	14,4

3.4 *Waste kumulatif*

Waste kumulatif adalah total keseluruhan sisa besi dari semua batang yang digunakan dalam suatu proyek. menggambarkan seberapa banyak material terbuang secara keseluruhan selama proses pemotongan.

Waste Kumulatif dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\text{Waste Kumulatif} = \frac{\text{Berat Keseluruhan Waste}}{\text{Berat Keseluruhan Kebutuhan}} \times 100\% \dots (2)$$

Perhitungan *waste level* disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. *Waste Kumulatif Material Tulangan Pelat*

Perhitungan Sebelum Optimasi			
Tulangan	Berat Kebutuhan (Kg)	Berat <i>Waste</i> (Kg)	<i>Waste Kumulatif</i> (%)
D10	32860,90	8611,0	25,1
D13	86619,7	21461,74	
Total	119480,6	30072,74	
Perhitungan Sesudah Optimasi			
Tulangan	Berat Kebutuhan (Kg)	Berat <i>Waste</i> (Kg)	<i>Waste Kumulatif</i> (%)
D10	40306,79	7470,49	15,5
D13	100814,9	14467,99	
Total	141121,69	21938,48	

3.5 *Pembahasan*

Berdasarkan hasil analisis *waste* material tulangan pelat menggunakan Building Information Modeling (BIM) pada proyek pembangunan Gedung Penunjang Rumah Sakit Otak Nasional Jakarta, diperoleh data perhitungan manual yang menunjukkan bahwa total berat kebutuhan baja tulangan pelat diameter D10 sebesar 32.860,9 kg dan diameter D13 sebesar 86.619,7 kg. Sementara itu, total berat *waste* baja tulangan pelat pada perhitungan manual tercatat sebesar 8.611 kg untuk D10 dan 21.461,74 kg untuk D13.

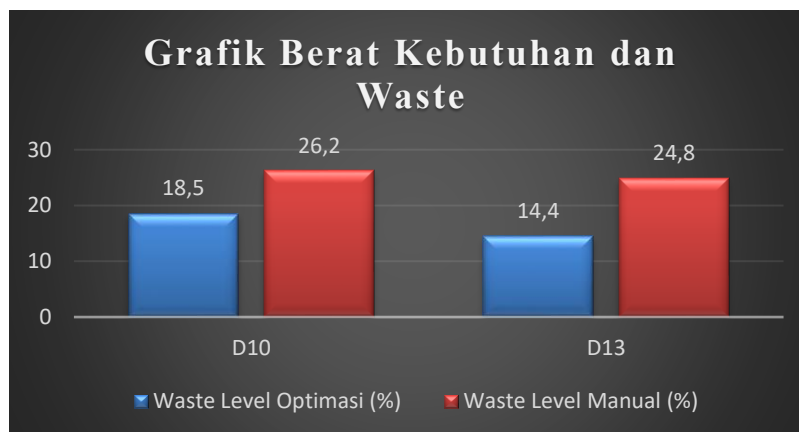
Hasil perhitungan setelah dilakukan optimasi menunjukkan bahwa total berat kebutuhan baja tulangan pelat meningkat menjadi 40.306,79 kg untuk D10 dan 100.814,9 kg untuk D13. Adapun total berat *waste* baja tulangan pelat setelah optimasi sebesar 7.470,49 kg pada D10 dan 14.467,99

kg pada D13. Perbandingan antara berat kebutuhan dan berat *waste* tulangan pelat diameter D10 dan D13 tersebut disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Berat Kebutuhan dan *Waste*

Dan didapat perhitungan *Waste Level* tulangan D10 sebesar 18,5%, D13 Sebesar 14,4%. Grafik perbandingan *Waste Level* tulangan pelat dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Grafik Berat Kebutuhan dan *Waste*

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis data, diperoleh kesimpulan bahwa total berat kebutuhan material pelat pada proyek Pembangunan Gedung Penunjang Rumah Sakit Pusat Otak Nasional Jakarta sebesar 119.480,6 kg, dengan berat *waste* mencapai 30.072,74 kg berdasarkan perhitungan manual. Setelah dilakukan optimasi penulangan, total berat kebutuhan material pelat menjadi 141.121,69 kg dengan total *waste* sebesar 21.938,48 kg. Terdapat penurunan *waste* sebesar 8.134,26 kg, yang menunjukkan bahwa optimasi penulangan lebih efektif dalam mengurangi sisa potongan besi pelat sehingga penggunaan material menjadi lebih hemat.

Analisis *waste* material tulangan pelat dilakukan menggunakan perhitungan Bar Bending Schedule (BBS) dan cutting list yang menghasilkan keluaran berupa berat kebutuhan, berat *waste*, serta tingkat *waste* (*waste level*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat kebutuhan tulangan pelat sebesar 141.121,69 kg dengan berat *waste* sebesar 21.938,48 kg. Tingkat *waste* terbesar terjadi

pada tulangan diameter D10 sebesar 18,5% dengan berat 7.470,49 kg, sedangkan tingkat *waste* terkecil terdapat pada tulangan D13 sebesar 14,4% dengan berat 14.467,99 kg. Secara keseluruhan, *waste* kumulatif tulangan pelat mencapai 15,5%. Penerapan metode BIM dan BBS dalam perhitungan kebutuhan tulangan pelat terbukti mampu mengoptimalkan penggunaan material sekaligus meminimalkan *waste*. Nilai sisa tulangan sebesar 15,5% juga telah memenuhi ketentuan SNI 7394:2008 HSP Beton yang mensyaratkan rentang sisa material besi tulangan antara 5% hingga 20%. Meskipun demikian, evaluasi lanjutan masih diperlukan untuk memastikan tingkat *waste* yang dihasilkan dapat dikategorikan rendah.

Penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam tahap perencanaan memungkinkan penyusunan Bar Bending Schedule (BBS) secara lebih cepat dan akurat karena BBS dapat dihasilkan secara otomatis setelah pemodelan struktur dan tulangan selesai dilakukan. Dengan demikian, perhitungan BBS secara konvensional atau manual tidak lagi diperlukan sehingga waktu perencanaan dapat dihemat. Selain itu, penggunaan perangkat lunak Cutting Optimization Pro dalam penyusunan cutting list mampu mempermudah proses perencanaan sekaligus meminimalkan potensi kesalahan manusia (*human error*). Cutting list dapat dihasilkan dalam waktu singkat dengan pola pemotongan material yang paling efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Krisbandono, V. Agustina, and G. P. Permana, *Rekomendasi Percepatan Implementasi Building Information Modeling (BIM) pada Pembangunan Infrastruktur PUPR*. Pusat Litbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi, 2019.
- [2] A. Anjani, H. Riakara Husni, and C. Niken, "Penerapan Building Information Modeling (BIM) Menggunakan Software Autodesk Revit Pada Gedung 4 Rumah Sakit Pendidikan Peguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung," *Jurnal*, vol. 10, no. 1, 2022.
- [3] H. N. Hanggara and Y. Nurchasanah, "Implementasi Building Information Modeling (BIM) Dalam Analisis Struktur Menggunakan Autodesk Robot Structural Analysis Professional Untuk Mengoptimalkan Value Engineering," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2023*, 2023, pp. 693–698.
- [4] O. P. S. Ardianto, T. A. Kristianto, C. A. Budianto, A. A. Rucitra, and A. Wardoyo, "Evaluasi Media Presentasi Perancangan Interior Rumah Air Surabaya Berbasis Virtual Tour sebagai Usaha Penerapan Building Information Modelling pada Perancangan Interior," *Jurnal*, 2019. doi: 10.12962/j12345678.v4i1.5271.
- [5] F. N. Hidayah, R. Rafie, S. M. Nuh, S. Syahrudin, and L. Lusiana, "Comparative Analysis of Direct *Waste* Using Software Cutting Optimization Pro and The Cost of Using Conventional Reinforcement and Wiremesh in Floor Slab Work (Case Study: Office and Depot Construction Project of PT. Gudang Garam)," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 23, no. 1, p. 103, 2023, doi: 10.26418/jtst.v23i1.61193.
- [6] C. Eastman *et al.*, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [7] Rayendra and W. B. Soemardi, "Studi Aplikasi Teknologi Building Information Modelling untuk Pra-Konstruksi," in *Simposium Nasional RAPI XIII*, 2014, pp. 14–21.
- [8] M. Kork and W. Hartono, "e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/ dengan Program Microsoft Excel," *Jurnal*, 2013.
- [9] N. Susilawati, S. M. Nuh, and Rafie, "Evaluasi sisa material pada proyek konstruksi," *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, vol. 6, no. 3, pp. 1–4, 2019.

- [10] I. A. Baskoro, “Penerapan Building Information Modeling Menggunakan Tekla Structures dalam Perhitungan Volume Besi Tulangan dan Bar Bending Schedule,” PT. Wijaya Karya Bangunan Gedung, Jakarta, 2019.
- [11] A. Asnudin, “Pengendalian Sisa Material Konstruksi Pada Pembangunan Rumah Tinggal,” *Jurnal Mekanika Teknik*, vol. 12, no. 3, pp. 162–164, 2010.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton Pracetak untuk Konstruksi Bangunan Gedung. SNI 7394:2008*. Jakarta: BSN, 2008.
- [13] A. P. Wiguna and H. Irawan, “Analisis Penanganan Material Waste pada Proyek Perumahan di Surabaya,” in *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah*, 2009, pp. 147–154.