

Analisis *Waste Material* pada Tulangan Kolom Berbasis *Building Information Modeling* (BIM)

Raka Aditya Fernanda ¹⁾

Bayzoni ²⁾

Hasti Riakara Husni ³⁾

Ashruri ⁴⁾

Abstract

This research aims to investigate the influence of implementing BIM concepts on waste material analysis in type 1 and type 2 column reinforcement. Type 1 column reinforcement refers to the reinforcement applied on each floor separately, while type 2 column reinforcement refers to the reinforcement applied every two floors. In this research, the BIM concept is implemented using Autodesk Revit software. The research process begins with data collection, 3D structural modeling, reinforcement modeling, inputting reinforcement schedule marks, clash detection, outputting the Bar Bending Schedule (BBS), cutting lists, and waste material analysis. The research findings indicate that the total weight of type 1 column reinforcement requirement is 29319.17 kg for D16 and 10232.06 kg for Ø10, with a total weight of waste reinforcement is 2739.17 kg for D16 and 120.64 kg for Ø10. Meanwhile, the total weight of type 2 column reinforcement requirement is 32103.36 kg for D16 and 10232.06 kg for Ø10, with a total weight of waste reinforcement is 6350.03 kg for D16 and 120.64 kg for Ø10. The waste level of type 1 column reinforcement is 9.34% for D16 and 1.18% for Ø10, while the waste level of type 2 column reinforcement is 19.78% for D16 and 1.18% for Ø10. Based on the research findings, it can be concluded that type 1 column reinforcement is more effective and efficient compared to type 2 column reinforcement in terms of the weight requirement and waste generated.

Keywords : *Building Information Modeling (BIM), Waste Material, Autodesk Revit, Bar Bending Schedule (BBS), Cutting List.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan konsep BIM dalam analisis *waste material* pada tulangan kolom tipe 1 dan tipe 2. Tulangan kolom tipe 1 merujuk pada penulangan yang dilakukan pada setiap lantai secara terpisah, sedangkan tulangan kolom tipe 2 merujuk pada penulangan yang dilakukan pada setiap dua lantai. Dalam penelitian ini, konsep BIM diimplementasikan menggunakan *software* Autodesk Revit. Proses penelitian dimulai dengan pengumpulan data, pemodelan 3D struktural, pemodelan tulangan, penginputan *schedule mark* tulangan, *clash detection*, *output Bar Bending Schedule* (BBS), *cutting list*, dan analisis *waste material*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total berat kebutuhan baja tulangan kolom tipe 1 D16 sebesar 29319,17 kg dan Ø10 sebesar 10232,06 kg serta total berat *waste* baja tulangan kolom tipe 1 D16 sebesar 2739,17 kg dan Ø10 sebesar 120,64 kg. Sementara untuk total berat kebutuhan baja tulangan kolom tipe 2 D16 sebesar 32103,36 kg dan Ø10 sebesar 10232,06 kg serta total berat *waste* baja tulangan kolom tipe 2 D16 sebesar 6350,03 kg dan Ø10 sebesar 120,64 kg. *Waste level* tulangan kolom tipe 1 D16 sebesar 9,34% dan Ø10 sebesar 1,18% sedangkan *waste level* tulangan kolom tipe 2 D16 sebesar 19,78% dan Ø10 sebesar 1,18%. Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa tulangan kolom tipe 1 lebih efektif dan efisien dibandingkan tulangan kolom tipe 2 berdasarkan berat kebutuhan dan berat *waste* yang dihasilkan.

Kata kunci : *Building Information Modeling (BIM), Waste Material, Autodesk Revit, Bar Bending Schedule (BBS), Cutting List.*

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: rakaadityafernanda2001@gmail.com

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

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

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

I. PENDAHULUAN

Pembangunan di Indonesia saat ini telah berkembang sangat cepat sehingga banyak menciptakan kemajuan dalam inovasi dan teknologi metode konstruksi yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dalam hal waktu, biaya, dan pemanfaatan material. Akan tetapi, masih sulit untuk menciptakan bangunan tanpa menghasilkan limbah/*waste*. Limbah/*waste* diartikan sebagai suatu pekerjaan yang tidak meningkatkan nilai pada suatu proses termasuk waktu, material, dan biaya (Intifada & Witantyo, 2012).

Waste material adalah salah satu permasalahan utama dalam melaksanakan proyek konstruksi. Keuntungan kontraktor dapat meningkat dan efek terhadap lingkungan dapat dikurangi dengan meminimalisir *waste material*. Oleh karena itu, dibutuhkan perhitungan yang akurat dalam menghitung berapa banyak material yang dibutuhkan untuk proyek dan bagaimana itu akan digunakan. Contoh *waste material* konstruksi seperti sisa potongan tulangan baja, sisa potongan kayu, sisa pengecoran beton, dan lain-lain.

Penyebab utama *waste material* adalah perencanaan yang tidak efektif dan perbaikan tak terduga selama fase desain dan konstruksi. Sebagai upaya dalam mengurangi *waste material*, konsep BIM dapat diimplementasikan dalam perencanaan untuk memperoleh hasil yang efektif dan efisien dalam penggunaan material (Anjani dkk., 2022). Jika dibandingkan dengan pendekatan konvensional, implementasi konsep BIM dengan *software* Autodesk Revit dapat memberikan *output* yang lebih akurat dan lebih cepat sekaligus meminimalkan potensi terjadinya kesalahan desain (Laily dkk., 2021). Perencanaan menggunakan konsep BIM dapat menghasilkan *Waste Material Ratio* (WMR) untuk penulangan pelat sebesar 2,48% dari total pengadaan (Asih dkk., 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan konsep BIM pada Gedung Serbaguna (GSG) Universitas Mitra Indonesia dengan *software* Autodesk Revit untuk memperoleh *output Bar Bending Schedule* (BBS) pada tulangan kolom. *Output* BBS kemudian dimasukkan ke dalam *software* Cutting Optimization Pro untuk memperoleh pola potongan (*cutting list*) dan *waste material* yang optimal. Pola pemasangan tulangan berdampak signifikan terhadap *output* BBS dan *waste material*. Pada penelitian ini dua tipe pemasangan tulangan yang berbeda dimodelkan untuk mengetahui tipe pemasangan tulangan yang menghasilkan *waste material* paling optimal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Waste Material

Waste material merupakan kelebihan atau sisa dari material yang telah dibeli dan didatangkan tetapi tidak menambah suatu nilai pada proyek. Akibatnya, sisa material hanya menambah beban pada biaya produksi. Sisa material konstruksi termasuk material yang berlebihan, kesalahan pengerjaan, pengerjaan ulang, cacat pada desain, masalah dengan pemasok, perselisihan dengan kontraktor lain, dan transportasi yang tidak memadai (Asiyanto, 2010).

Material yang tidak dapat digunakan lagi dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi dan bukan merupakan bagian dari struktur bangunan dianggap sebagai *waste material*. *Waste material* berdampak pada penggunaan material dalam proyek menjadi tidak efisien seiring dengan peningkatan limbah/sisa yang terjadi (Abdurrahman, 2012).

2.2. Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling (BIM) adalah suatu sistem atau konsep terintegrasi yang mencakup pemodelan, analisis, simulasi, dan representasi untuk merancang, membuat,

dan mengelola suatu bangunan. BIM dapat membantu koordinasi antara semua pihak yang terlibat dalam perencanaan konstruksi (Sangadji dkk., 2019). BIM menggunakan model 3D yang terintegrasi dengan denah 2D, tampak, potongan, dan elevasi, sehingga perubahan yang terjadi pada model akan diperbarui secara otomatis. Informasi tentang bangunan dapat bersifat parametrik atau non-parametrik. Parametrik mengacu pada proses yang memperlihatkan parameter intrinsik suatu bangunan yang menentukan tujuan desain dan respons desain (Jabi, 2013).

BIM menerapkan konsep kolaborasi antara berbagai pihak yang terlibat dalam suatu proyek konstruksi, dimulai dari pemodelan hingga pengeluaran dan modifikasi informasi, dengan tujuan mendukung kepentingan semua pihak terkait. Penggunaan BIM memberikan manfaat yang signifikan dalam hal efisiensi biaya, waktu, dan pengawasan dalam menjalankan proyek (Bryde dkk., 2013). BIM dapat digunakan secara lintas disiplin ilmu dan memungkinkan koordinasi dan pertukaran informasi yang efektif selama tahap perencanaan dan pelaksanaan proyek. Selain itu, BIM juga bermanfaat dalam meningkatkan kualitas dan merencanakan bangunan yang lebih berkelanjutan (Eastman dkk., 2008).

2.3. Autodesk Revit

Autodesk Revit adalah perangkat lunak yang digunakan perencana untuk melakukan perencanaan dan desain struktur bangunan yang akurat dan efisien berdasarkan konsep BIM. Dengan menggunakan Autodesk Revit, pengguna dapat menghasilkan *output* berbentuk informasi terkait proyek, analisis, dan simulasi sebelum dilakukannya konstruksi (Rayendra & Soemardi, 2014). Autodesk Revit memungkinkan pengguna untuk memodelkan dan mendesain bangunan dalam format tiga dimensi, yang meliputi informasi geometri dan non-geometri seperti data konstruksi yang relevan (Eastman dkk., 2008).

Autodesk Revit digunakan untuk menciptakan representasi tiga dimensi dan mendukung penerapan *Building Information Modeling* (BIM). Dengan menggunakan Autodesk Revit, pengguna dapat merancang bangunan secara terintegrasi, termasuk aspek arsitektural, struktural, dan MEP. Selain kemampuan desain, Autodesk Revit juga dapat menghasilkan gambar kerja 2D, mirip dengan fitur yang ada pada AutoCAD. Pengguna juga dapat merencanakan tahap implementasi dan menyampaikan informasi mengenai elemen-elemen bangunan.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode kuantitatif eksperimental murni. Penelitian kuantitatif adalah metode menemukan ilmu pengetahuan menggunakan data-data berbentuk angka sebagai alat untuk melakukan analisa informasi tentang apa yang ingin diketahui (Kasiram, 2008). Penelitian eksperimental adalah salah satu jenis penelitian metode kuantitatif yang digunakan untuk menentukan dampak perlakuan tertentu terhadap satu atau lebih variabel pada suatu item yang mempengaruhi hasil penelitian (Suryabrata, 2000). Eksperimen murni adalah perlakuan yang dirancang dengan sengaja yang dilakukan pada objek penelitian. Dengan kata lain, kondisi objek penelitian diubah dengan memberikan perlakuan khusus dan dengan cermat mengendalikan variabel lain selama periode waktu tertentu (Zulnadi, 2007).

3.1. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah gambar rencana Gedung Serbaguna Universitas Mitra Indonesia yang diperoleh dari PT. Berkah Lancar Lestari.

3.2. Tahapan Penelitian

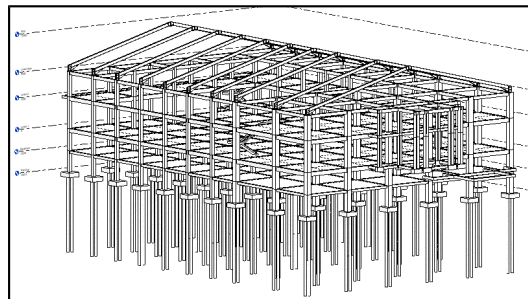
Dalam penelitian ini, terdapat variabel kontrol yang meliputi pemotongan tulangan dan tipe pemasangan tulangan. Variabel ini digunakan sebagai pembanding yang akan diuji coba terhadap total kebutuhan tulangan dan total *waste material* tulangan yang dihasilkan.

3.2.1. Tahap Persiapan

Dalam tahap persiapan, langkah-langkah yang dilakukan termasuk membuat *project* baru di perangkat lunak Autodesk Revit dengan menggunakan *structural template*, mengatur satuan pada *project unit* menjadi metrik, serta membuat *grid* dan *level*.

3.2.2. Tahap Pemodelan 3D Struktural

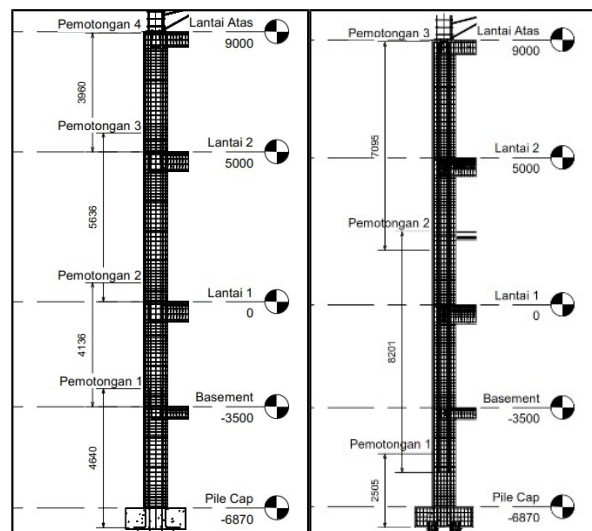
Pada perangkat lunak Autodesk Revit, dilakukan pemodelan yang mencakup spesifikasi teknis dan model 3D dari berbagai elemen konstruksi seperti pondasi, kolom, balok, pelat, tangga, dan rangka baja. Pemodelan ini didasarkan pada gambar rencana Gedung Serbaguna Universitas Mitra Indonesia.



Gambar 1. Hasil Pemodelan 3D Struktural.

3.2.3. Tahap Pemodelan Tulangan

Untuk melakukan pemodelan tulangan, dapat menggunakan fitur "Rebar". Pemodelan tulangan dilakukan pada setiap elemen struktur yang ada dalam pemodelan. Untuk penulangan pada kolom terdapat dua tipe penulangan yang digunakan. Tipe pertama adalah dengan melakukan pemotongan tulangan pada setiap lantai. Sedangkan tipe kedua adalah dengan melakukan pemotongan tulangan pada setiap dua lantai.



Gambar 2. Tulangan Kolom Tipe 1 dan Tipe 2.

3.2.4. Tahap Input Schedule Mark Tulangan

Setelah selesai memodelkan semua tulangan, langkah selanjutnya adalah melakukan input *schedule mark* pada setiap tulangan. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam menghasilkan *output Bar Bending Schedule* (BBS). *Schedule mark* dapat ditemukan pada *browser "Properties"* dari setiap tulangan yang telah dimodelkan.

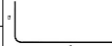
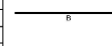
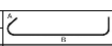
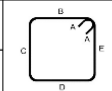
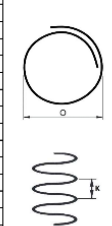
3.2.5. Tahap Clash Detection

Clash detection merupakan suatu proses yang digunakan untuk memeriksa dan mengidentifikasi konflik atau tabrakan yang terjadi antara model-model yang berada di tempat yang sama atau saling berpotongan (BPSDM Kementerian PUPR, 2018). Untuk melakukan *clash detection*, dapat menggunakan fitur "Interference Check" yang terdapat pada tab "Collaborate".

3.2.6. Tahap Pengeluaran Output Bar Bending Schedule (BBS)

Setelah menyelesaikan pemodelan struktural dan tulangan, langkah selanjutnya adalah menghasilkan *output* berupa *Bar Bending Schedule* (BBS). Untuk menghasilkan BBS secara otomatis, dapat menggunakan fitur "Schedule" yang disediakan dalam perangkat lunak Autodesk Revit.

Tabel 1. *Output Bar Bending Schedule* (BBS) Kolom Tipe 1.

Bar Bending Schedule Kolom Tipe 1															
Kode	Diameter	Gambar	Panjang (mm)						Panjang	Jumlah	Total Panjang	Berat			
			A	B	C	D	E	O					K		
L K1	D16			4640	400					5000 mm	321	1605000 mm	2533229,52 kg		
L K2	D16				4640	400					5000 mm	588	2940000 mm	4640308,28 kg	
U K1	D16			3960						3960 mm	324	1283040 mm	2025068,41 kg		
U K1	D16			4140						4140 mm	324	1341360 mm	2117116,98 kg		
U K1	D16			5640						5640 mm	324	1827360 mm	2884188,35 kg		
U K2	D16			3500						3500 mm	210	735000 mm	1160077,07 kg		
U K2	D16			3960						3960 mm	378	1496880 mm	2362579,81 kg		
U K2	D16			4140						4140 mm	378	1564920 mm	2469969,81 kg		
U K2	D16			5640						5640 mm	378	2131920 mm	3364886,40 kg		
U K3	D16			3960						3960 mm	96	380160 mm	600020,27 kg		
U K3	D16			6280						6280 mm	96	602880 mm	951547,30 kg		
U K4	D16			3960						3960 mm	80	316800 mm	500016,89 kg		
U K4	D16			5640						5640 mm	20	112800 mm	178036,32 kg		
U K4	D16			6280						6280 mm	80	502400 mm	792956,08 kg		
Total D16										3597	16840520 mm	26580001,49 kg			
P K1	Ø10		110	720						910 mm	756	687960 mm	424153,18 kg		
P K2	Ø10			110	420						610 mm	1404	856440 mm	528027,43 kg	
S K1	Ø10		120	720	720	720	720			3060 mm	2124	6499440 mm	4007148,87 kg		
S K2	Ø10			120	420	420	420	420			1860 mm	3951	7348860 mm	4530848,20 kg	
S K3	Ø10								300	150	1890 mm	8	15120 mm	9322,05 kg	
S K3	Ø10									320	100	2030 mm	8	16240 mm	10012,57 kg
S K3	Ø10									320	100	2950 mm	8	23600 mm	14550,29 kg
S K3	Ø10									320	150	7940 mm	8	63520 mm	39162,47 kg
S K3	Ø10									320	100	10740 mm	8	85920 mm	52972,91 kg
S K3	Ø10									320	100	10850 mm	8	86800 mm	53515,46 kg
S K3	Ø10									300	150	11130 mm	8	89040 mm	54896,50 kg
S K3	Ø10									310	100	11440 mm	8	91520 mm	56425,52 kg
S K3	Ø10									320	100	11750 mm	8	94000 mm	57954,53 kg
S K4	Ø10									220	150	5450 mm	8	43600 mm	26881,04 kg
S K4	Ø10									220	100	6720 mm	2	13440 mm	8286,26 kg
S K4	Ø10									220	100	7320 mm	8	58560 mm	36104,44 kg
S K4	Ø10									220	100	7390 mm	8	59120 mm	36449,70 kg
S K4	Ø10									220	100	9300 mm	10	93000 mm	57337,99 kg
S K4	Ø10									220	150	9430 mm	10	94300 mm	58139,49 kg
S K4	Ø10									220	100	9980 mm	8	79840 mm	49224,36 kg
Total Ø10										8361	16400320 mm	10111413,25 kg			
Grand Total (D16 + Ø10)										11958	33240840 mm	36691414,73 kg			

Tabel 2. Output Bar Bending Schedule (BBS) Kolom Tipe 2.

Bar Bending Schedule Kolom Tipe 2													
Kode	Diameter	Gambar	Panjang (mm)						Panjang	Jumlah	Total Panjang	Berat	
			A	B	C	D	E	O					K
L K1	D16			2470	400					2830 mm	324	916920 mm	1447207,98 kg
L K2	D16			2470	400					2830 mm	588	1664040 mm	2626414,49 kg
U K1	D16			7100						7100 mm	324	2300400 mm	3630804,48 kg
U K1	D16			8200						8200 mm	324	2656800 mm	4193323,48 kg
U K2	D16			5680						5680 mm	210	1192800 mm	1882639,36 kg
U K2	D16			7100						7100 mm	378	2683800 mm	4235938,56 kg
U K2	D16			8200						8200 mm	378	3099600 mm	4892210,73 kg
U K3	D16			9600						9600 mm	96	921600 mm	1454594,60 kg
U K4	D16			5640						5640 mm	20	112800 mm	178036,32 kg
U K4	D16			9600						9600 mm	80	768000 mm	1212162,16 kg
Total D16										2722	16316760 mm	25753332,15 kg	
P K1	Ø10		110	720						910 mm	756	687960 mm	424153,18 kg
P K2	Ø10		110	420						610 mm	1404	856440 mm	528027,43 kg
S K1	Ø10		120	720	720	720	720			3060 mm	2124	6499440 mm	4007148,87 kg
S K2	Ø10		120	420	420	420	420			1860 mm	3951	7348860 mm	4530848,20 kg
S K3	Ø10							300	150	1890 mm	8	15120 mm	9322,05 kg
S K3	Ø10							320	100	2030 mm	8	16240 mm	10012,57 kg
S K3	Ø10							320	100	2950 mm	8	23600 mm	14550,29 kg
S K3	Ø10							320	150	7940 mm	8	63520 mm	39162,47 kg
S K3	Ø10							320	100	10740 mm	8	85920 mm	52972,91 kg
S K3	Ø10							320	100	10850 mm	8	86800 mm	53515,46 kg
S K3	Ø10							300	150	11130 mm	8	89040 mm	54896,50 kg
S K3	Ø10							310	100	11440 mm	8	91520 mm	56425,52 kg
S K3	Ø10							320	100	11750 mm	8	94000 mm	57954,53 kg
S K4	Ø10							220	150	5450 mm	8	43600 mm	26881,04 kg
S K4	Ø10							220	100	6720 mm	2	13440 mm	8286,26 kg
S K4	Ø10							220	100	7320 mm	8	58560 mm	36104,44 kg
S K4	Ø10							220	100	7390 mm	8	59120 mm	36449,70 kg
S K4	Ø10							220	100	9300 mm	10	93000 mm	57337,99 kg
S K4	Ø10							220	150	9430 mm	10	94300 mm	58139,49 kg
S K4	Ø10							220	100	9980 mm	8	79840 mm	49224,36 kg
Total Ø10										8361	16400320 mm	10111413,25 kg	
Grand Total (D16 + Ø10)										11083	32717080 mm	35864745,39 kg	

3.2.7. Tahap Pembuatan Cutting List

Dalam penelitian ini, *cutting list* dibuat menggunakan *software* Cutting Optimization Pro. *Software* ini mampu menghasilkan kombinasi *cutting list* yang paling optimal, dengan tujuan meminimalkan *waste material* yang dihasilkan.

Length	Material	Quantity	Label	Waste	Graphic ID	Length	Material	Quantity	Label	Waste	Graphic ID
12000	D10	96	I	80		12000	Ø10	8	250		
12000	D16	80	I	80		12000	Ø10	8	560		
12000	D16	74	I	720		12000	Ø10	8	260		
12000	D16	189	I	720		12000	Ø10	8	240		
12000	D16	10	I	720		12000	Ø10	8	60		
12000	D16	160	I	2000		12000	Ø10	8	30		
12000	D16	1	I	2000		12000	Ø10	532	230		
12000	D16	293	I	2000		12000	Ø10	38	410		
12000	D16	1	I	2860		12000	Ø10	10	130		
12000	D16	161	I	220		12000	Ø10	705	50		
12000	D16	1	I	220		12000	Ø10	1	260		
12000	D16	48	I	220		12000	Ø10	8	190		
12000	D16	140	I	3720		12000	Ø10	8	40		
12000	D16	1	I	3800		12000	Ø10	2	40		
12000	D16	107	I	120		12000	Ø10	4	40		
12000	D16	1	I	120		12000	Ø10	4	0		
12000	D16	125	I	120		12000	Ø10	8	40		
12000	D16	1	I	120		12000	Ø10	4	60		
12000	D16	31	I	120		12000	Ø10	8	50		
12000	D16	1	I	120		12000	Ø10	1	10		
12000	D16	26	I	120		12000	Ø10	1	230		
12000	D16	1	I	8040		12000	Ø10	1	6450		

Gambar 3. Output Cutting List Tipe 1 D16 dan Senggang.

Length	Material	Quantity	Label	Waste	Graphic: 1D
12000	D16	96		2400	
12000	D16	80		2400	
12000	D16	324		970	
12000	D16	378		970	
12000	D16	210		2070	
12000	D16	114		4900	
12000	D16	378		4900	
12000	D16	105		640	
12000	D16	10		720	

Gambar 4. Output Cutting List Tipe 2 D16.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Waste Material

Pada penelitian ini, *waste material* tulangan kolom tipe 1 dan tipe 2 dianalisis dengan menggunakan *cutting list* yang dihasilkan oleh *software* Cutting Optimization Pro. Perbedaan utama antara tulangan kolom tipe 1 dan tipe 2 terletak pada tulangan utama kolom. Namun tidak ada perbedaan untuk tulangan sengkang antara kedua tipe kolom tersebut. Oleh karena itu, dalam analisis *waste material* untuk tulangan sengkang keduanya dianggap sebagai satu kesatuan.

4.1.1. Waste Tulangan Utama Kolom Tipe 1

Tabel 3. Kebutuhan dan Waste Material Tulangan Kolom Tipe 1 D16

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah Batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
1	12	96	0,08	1152	1818,24	7,68	12,12
2	12	80	0,08	960	1515,20	6,4	10,10
3	12	74	0,72	888	1401,56	53,28	84,09
4	12	189	0,72	2268	3579,67	136,08	214,78
5	12	10	0,72	120	189,40	7,2	11,36
6	12	160	2	1920	3030,41	320	505,07
7	12	1	2	12	18,94	2	3,16
8	12	293	2	3516	5549,43	586	924,90
9	12	1	2,86	12	18,94	2,86	4,51
10	12	161	0,22	1932	3049,35	35,42	55,90
11	12	1	0,22	12	18,94	0,22	0,35
12	12	48	0,22	576	909,12	10,56	16,67
13	12	140	3,72	1680	2651,60	520,8	822,00
14	12	1	3,9	12	18,94	3,9	6,16
15	12	107	0,12	1284	2026,58	12,84	20,27
16	12	1	0,12	12	18,94	0,12	0,19
17	12	125	0,12	1500	2367,50	15	23,68
18	12	1	0,12	12	18,94	0,12	0,19
19	12	31	0,12	372	587,14	3,72	5,87
20	12	1	0,12	12	18,94	0,12	0,19
21	12	26	0,12	312	492,44	3,12	4,92
22	12	1	8,04	12	18,94	8,04	12,69
Total		1548		18576	29319,17	1735,48	2739,17

4.1.2. Waste Tulangan Utama Kolom Tipe 2

Tabel 4. Kebutuhan dan Waste Material Tulangan Kolom Tipe 2 D16

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah Batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
1	12	96	2,4	1152	1818,24	230,4	363,65
2	12	80	2,4	960	1515,20	192	303,04
3	12	324	0,97	3888	6136,57	314,28	496,04
4	12	378	0,97	4536	7159,33	366,66	578,71
5	12	210	2,07	2520	3977,41	434,7	686,10
6	12	114	4,9	1368	2159,16	558,6	881,66
7	12	378	4,9	4536	7159,33	1852,2	2923,39
8	12	105	0,64	1260	1988,70	67,2	106,06
9	12	10	0,72	120	189,40	7,2	11,36
Total		1695		20340	32103,36	4023,24	6350,03

4.1.3. Waste Tulangan Senggang

Tabel 5. Kebutuhan dan Waste Material Tulangan Senggang

Batang	Panjang Batang (m)	Jumlah Batang	Waste per Batang (m)	Kebutuhan		Waste	
				Panjang (m)	Berat (kg)	Panjang (m)	Berat (kg)
1	12	8	0,25	96	59,19	2	1,23
2	12	8	0,56	96	59,19	4,48	2,76
3	12	8	0,26	96	59,19	2,08	1,28
4	12	8	0,24	96	59,19	1,92	1,18
5	12	8	0,06	96	59,19	0,48	0,30
6	12	8	0,03	96	59,19	0,24	0,15
7	12	532	0,23	6384	3935,98	122,36	75,44
8	12	38	0,41	456	281,14	15,58	9,61
9	12	10	0,13	120	73,98	1,3	0,80
10	12	705	0,05	8460	5215,91	35,25	21,73
11	12	1	0,26	12	7,40	0,26	0,16
12	12	8	0,19	96	59,19	1,52	0,94
13	12	8	0,04	96	59,19	0,32	0,20
14	12	2	0,04	24	14,80	0,08	0,05
15	12	4	0,04	48	29,59	0,16	0,10
16	12	4	0	48	29,59	0	0,00
17	12	8	0,04	96	59,19	0,32	0,20
18	12	4	0,06	48	29,59	0,24	0,15
19	12	8	0,05	96	59,19	0,4	0,25
20	12	1	0,01	12	7,40	0,01	0,01
21	12	1	0,23	12	7,40	0,23	0,14
22	12	1	6,45	12	7,40	6,45	3,98
Total		1383		16596	10232,06	195,68	120,64

4.1.3. Waste Tulangan Senggang

Waste level merupakan suatu parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat keborosan dalam proyek konstruksi. *Waste level* menggambarkan persentase perkiraan total sisa material yang tidak dapat digunakan kembali. Perhitungan *waste level* dapat dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut.

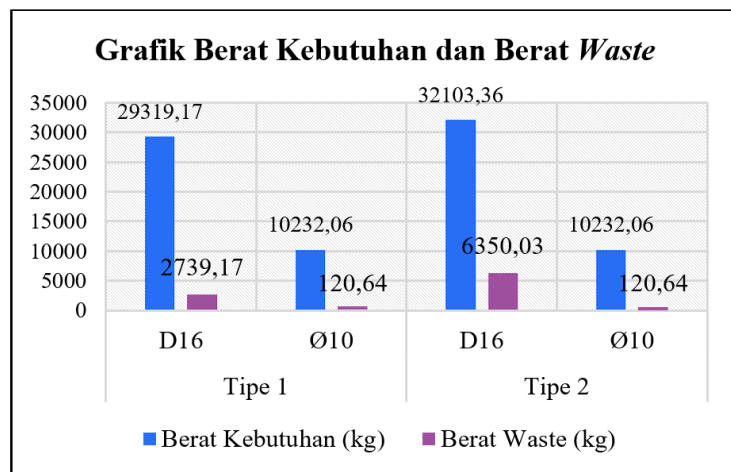
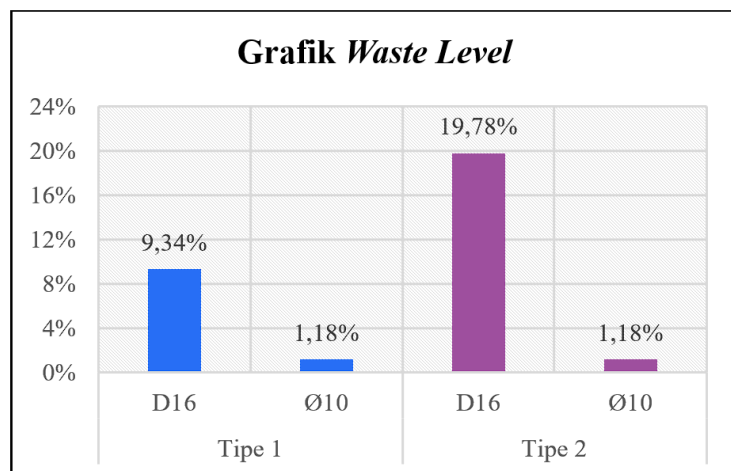
$$\text{Waste level} = \frac{\text{Berat waste}}{\text{Berat kebutuhan}} \times 100 \%$$

Tabel 6. *Waste Level* Tulangan Kolom Tipe 1 dan Tipe 2

Tulangan		Berat Kebutuhan (kg)	Berat <i>Waste</i> (kg)	<i>Waste Level</i>
Tipe 1	D16	29319,17	2739,17	9,34%
	Ø10	10232,06	120,64	1,18%
Tipe 2	D16	32103,36	6350,03	19,78%
	Ø10	10232,06	120,64	1,18%

4.2. Pembahasan

Berdasarkan hasil implementasi *Building Information Modeling* (BIM) dalam analisis *waste* material tulangan kolom tipe 1 dan tipe 2 pada Gedung Serbaguna Universitas Mitra Indonesia didapat bahwa total berat kebutuhan baja tulangan kolom tipe 1 D16 sebesar 29319,17 kg dan Ø10 sebesar 10232,06 kg serta total berat *waste* baja tulangan kolom tipe 1 D16 sebesar 2739,17 kg dan Ø10 sebesar 120,64 kg. Sementara untuk total berat kebutuhan baja tulangan kolom tipe 2 D16 sebesar 32103,36 kg dan Ø10 sebesar 10232,06 kg serta total berat *waste* baja tulangan kolom tipe 2 D16 sebesar 6350,03 kg dan Ø10 sebesar 120,64 kg.

Gambar 5. Grafik Perbandingan Berat Kebutuhan dan Berat *Waste*.Gambar 6. Grafik *Waste Level*.

Waste level tulangan kolom tipe 1 D16 sebesar 9,34% dan Ø10 sebesar 1,18% serta *waste level* tipe 2 D16 sebesar 19,78% dan Ø10 sebesar 1,18%. Dapat dilihat pada Gambar 8, bahwa tulangan kolom tipe 2 menghasilkan *waste level* yang lebih besar dibandingkan tipe 1. Dalam hal total berat kebutuhan dan berat *waste material*, tulangan kolom tipe 1 lebih efisien dibandingkan tipe 2. Selain itu, dari segi *waste level*, tulangan kolom tipe 1 menghasilkan sisa material yang lebih sedikit dibandingkan tipe 2.

IV. KESIMPULAN

Implementasi *Building Information Modeling* (BIM) dengan menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit dalam proses perencanaan mampu menghasilkan *Bar Bending Schedule* (BBS) secara cepat dan akurat, serta mengurangi risiko terjadinya kesalahan manusia atau *human error* dalam perhitungan. Pembuatan *cutting list* menggunakan perangkat lunak Cutting Optimization Pro dapat dilakukan dengan cepat tanpa perlu menghitung secara manual. *Cutting list* yang dihasilkan adalah pola potongan yang paling optimal, sehingga dapat mengurangi *waste material* yang dihasilkan dibandingkan dengan pola potongan lainnya.

Berdasarkan implementasi *Building Information Modeling* (BIM) dalam analisis *waste material*, ditemukan bahwa penggunaan tulangan kolom tipe 2, yang dipasang setiap dua lantai, menghasilkan berat kebutuhan dan berat *waste* yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan tulangan kolom tipe 1, yang dipasang setiap satu lantai. Dalam hal berat kebutuhan, terdapat selisih sebesar 2784,19 kg, sehingga tulangan kolom tipe 1 lebih hemat 9% dibandingkan dengan tipe 2. Dalam hal berat *waste*, terdapat selisih sebesar 3610,86 kg, sehingga tulangan kolom tipe 1 lebih hemat 132% dibandingkan dengan tipe 2. Jika dilihat dari perspektif *waste level*, tulangan kolom tipe 1 lebih hemat 10,44% dibandingkan dengan tipe 2.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, M.A. 2012. Analisa dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi Pada Pembangunan Gedung Bertingkat Rendah di Makassar. *Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik*. 6: 1–4.
- Anjani, A., Bayzoni, B., Husni, H.R. & Niken, C. 2022. Penerapan Building Information Modeling (BIM) Menggunakan Software Autodesk Revit Pada Gedung 4 Rumah Sakit Pendidikan Peguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 10(1): 87–98. Tersedia di <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/view/2360>. Diakses pada 31 Januari 2023.
- Asih, W.R., Bayzoni, B., Husni, H.R. & Niken, C. 2022. Perbandingan Quantity Take Off (QTO) Material Berbasis Building Information Modeling (BIM) Terhadap Metode Konvensional pada Struktur Pelat. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 10(4): 563–574. Tersedia di <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/view/2845>. Diakses pada 31 Januari 2023.
- Asiyanto, A. 2010. *Manajemen Produksi Untuk Jasa Konstruksi*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BPSDM) Kementrian PUPR 2018. *Workflow dan Implementasi BIM pada Level Kolaborasi dalam Proses Monitoring Proyek*. Tersedia di https://simantu.pu.go.id/epel/edok/9760f_MODUL_6-

WORKFLOW_DAN_IMPLEMENTASI_BIM.pdf.

- Bryde, D., Broquetas, M. & Volm, J.M. 2013. The Project Benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7): 971–980. Tersedia di <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>. Diakses pada 28 Januari 2023.
- Eastman, C.M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. 2008. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Intifada, G.S. & Witantyo 2012. Meminimasi Waste Menggunakan Value Stream Analysis Tool untuk Meningkatkan Efisiensi Waktu Produksi. *Jurnal Teknik POMITS*, 1(1): 1–6.
- Jabi, W. 2013. *Parametric Design for Architecture*. Edisi 1. *International Journal of Architectural Computing*, Laurence King Publishing, London.
- Kasiram, M. 2008. *Metode Penelitian Kuantitatif-Kualitatif*. UIN. Malang Press, Malang.
- Laily, F.N., Husni, H.R. & Bayzoni, B. 2021. Perbandingan Perhitungan BoQ dengan Menggunakan Revit 2019 Terhadap Perhitungan BoQ dengan Menggunakan Metode Konvensional pada Pekerjaan Struktur (Studi Kasus: Gedung G Fakultas Pertanian Universitas Lampung). *REKAYASA: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 25(2): 27–31. Tersedia di <https://doi.org/10.23960/rekrjits.v25i2.30>. Diakses pada 1 Februari 2023.
- Rayendra & Soemardi, B.W. 2014. Studi Aplikasi Teknologi Building Information Modeling untuk Pra Konstruksi. *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri*. 14–21. Tersedia di <http://hdl.handle.net/11617/5528>. Diakses pada 28 Januari 2023.
- Sangadji, S., Kristiawan, S.A. & Saputra, I.K. 2019. Pengaplikasian Building Information Modeling (BIM) dalam Desain Bangunan Gedung. *Matriks Teknik Sipil*, 7(4): 381–386. Tersedia di <https://doi.org/10.20961/mateksi.v7i4.38475>. Diakses pada 28 Januari 2023.
- Suryabrata, S. 2000. *Metode Penelitian*. PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Zulnadi, Y. 2007. *Metode Penelitian Ekeperimental*. Jogja Pustaka, Yogyakarta.

