Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah *p-ISSN 2656-5021*
Volume 9 Nomor 2 Halaman 360-374 April 2024 *e-ISSN 2657-1579*

ANALISIS METODE BAR BENDING SCHEDULE UNTUK MENGURANGI SISA MATERIAL PENULANGAN UNTUK KONSTRUKSI DI LAHAN BASAH

Candra Yuliana[a], Retna Hapsari Kartadipura[b], Mutiara Nursalsadilla Supadi[c]

[a,b]Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Lambung Mangkurat, [c]Program Studi Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat

Email korespondensi: candrayuliana@ulm.ac.id

ABSTRAK

Komponen struktur material yang penting dalam perhitungan kebutuhan adalah seperti kebutuhan besi, karena kebutuhan besi memiliki nilai yang tinggi di dalam pengerjaan konstruksi. Kebutuhan besi banyak dipergunakan untuk penulangan seperti penulangan kolom, balok, pile cap, sloof, dan lainnya. Penelitian bertujuan untuk menentukan presentase sisa material tulangan besi berdasarkan metode Bar Bending Schedule (BBS), serta menentukan langkah apa saja yang mungkin dilakukan untuk meminimalisasi sisa material. Data sekunder dianalisis dengan metode BBS, sedangkan data primer dianalaisis dengan metode fishbone. Dengan metode BBS mampu meminimalkan waste of material, sehingga hanya menyisakan material pada tulangan besi jenis ulir sekitar 14,79 % untuk tulangan besi berdiameter 10 mm, dan sebesar 6,65 % untuk tulangan besi berdiameter 16 mm. Serta untuk tulangan besi polos hanya menyisakan material sekitar 0,01 % pada tulangan besi berdiameter 8 mm. Metode Bar Bending Schedule dapat mengoptimalkan sisa material dari panjang potongan besi yang tersisa, dengan cara digunakan kembali untuk rencana potongan besi lainnya yang dimana dimensi dari potongan tersebut dapat mencukupi sisa sebelumnya. Dari hasil analisis fishbone diketahui penyebab sisa material terjadi karena kurangnya pengawasan sehingga berdampak adanya pekerja yang menaruh material sembarangan, karena lokasi penumpukan berpindah-pindah dapat dengan mudah tercecer atau barang hilang. Meminimalisasi terjadinya sisa material juga dapat dilakukan dengan memberi bimbingan lebih pada tukang besi dan pekerja, serta selalu mengingatkan agar tidak menaruh material sembarangan.

Kata kunci: bar bending schedule, fishbone, sisa material, tulangan sengkang

PENDAHULUAN

Komponen struktur material yang penting dalam perhitungan kebutuhan adalah seperti kebutuhan besi, karena kebutuhan besi memiliki nilai yang tinggi didalam pengerjaan konstruksi. Kebutuhan besi banyak dipergunakan untuk penulangan seperti penulangan kolom, balok, pile cap, sloof, dan lainnya.

Pada proyek bangunan gedung sudah pasti banyak meliputi pekerjaan pembesian, yang diantaranya ada pekerjaan pemotongan, pembengkokan, dan perakitan besi yang juga menjadi bagian dalam pengerjaan tulangan sengkang. Untuk pengerjaan besi tulangan biasanya proses pemotongan dan lainnya itu harus sesuai dengan gambar rencana dan tulangan sengkang diketahui memiliki dimensi yang berbeda-beda antara setiap komponen bangunan, sehingga pengerjaannya dapat menimbulkan *waste of material*.

Resource Venture (dalam Wirakaryanti, 2017) menyatakan bahwa *waste of material* atau yang sering disebut juga dengan sisa material adalah merupakan suatu benda berwujud yang tidak membahayakan yang diperoleh dari aktivitas pembangunan dan pembersihan, yang kemudian dapat diberdayakan, digunakan atau diolah kembali.

Tidak terlepas juga pada beberapa proyek pembangunan gedung memiliki kendala yang serupa, yaitu timbulnya jumlah *waste of material* yang berlebih. Pengerjaan besi tulangan pada suatu proyek dikerjakan oleh para pekeja, yang sebagian besar dari para pekerja yang kurang memahami masalah pembesian, karena biasanya mereka hanya bekerja berdasarkan dengan pengalaman tanpa melihat serta berbekal dengan ilmu pengetahuan yang benar dalam pengaplikasiannya di lapangan. Karena kurangnya penanganan dalam meminimalkan *waste of material* dari pelaksana proyek serta pada lapangan *waste of material* tulangan sengkangnya sudah tercampur dengan semua material, maka tidak terdapat detail khusus untuk *waste of material* tertentu dan pihak pelaksana proyek pun tidak mengatahui pasti berapa jumlah *waste of material* seperti terlihat pada Gambar 1.

Gambar 1 *Waste of Material*

Waste of material besi tulangan berdampak langsung terhadap biaya operasional, maka hal ini dapat menjadi perhatian yang sangat penting. Hal ini juga berdasarkan pada pertimbangan wawasan yang ramah linkungan serta teknologi yang sederhana, sekaligus dari tampilan segi biayanya (Kadafi, 2008).

Dalam menentukan perhitungan kebutuhan tulangan besi, menggunakan metode Bar Bending Schedule. Metode lebih mudah digunakan dikarenakan penerapannya dalam proses perhitungan sangat detail. Metode Bar Bending Schedule (BBS) merupakan sebuah metode perhitungan untuk menentukan panjang besi yang dibutuhkan, serta menentukan banyaknya besi tulangan yang akan digunakan dan total dari berat keseluruhan besi yang akan di terapkan pada sebuah struktur. Dengan adanya metode Bar Bending Schedule ini maka diharapkan dapat mempermudah pekerjaan manajemen konstruksi dalam menghitung kebutuhan besi tulangan dengan sangat maksimal, sehinga tidak terjadi kelebihan pada *waste of material* serta dapat mengoptimalkan biaya dan waktu pada saat pekerjaan sedang berlangsung.

Tujuan penelitian ini adalah menentukan presentase sisa material tulangan besi berdasarkan metode Bar Bending Schedule (BBS), serta menentukan strategi yang mungkin dilakukan untuk meminimalisasi sisa material.

Manajemen Proyek Konstruksi

Manajemen proyek merupakan suatu penerapan ilmu pengetahuan, keahlian serta keterampilan dalam mengatur cara teknis yang terbaik dan dengan sumber daya terbatas, demi mencapai sasaran dan tujuan yang tealh ditentukan agar mendapatkan hasil yang optimal dalam hal kinerja biaya, mutu dan waktu serta keselamatan kerja (Husen, 2009). Pada umumnya ada tiga fungsi atau tahap manajemen yang dikenal luas oleh masyarakat yaitu berupa perencanaan (planning), penjadwalan (schedulling), serta pengendalian (controlling). Suatu manajemen proyek dapat dikatakan sukses apabila sudah mencapai tujuan yang dapat diidentifikasi ketepatan waktu dan ketepatan biayanya, sesuai dengan performa dan tingkatan teknologi yang tepat, hanya terjadi sedikit perubahan pada lingkup pekerjaan, efektif dan efisien dalam pemanfaatan sumber daya, serta diterima oleh Owner (kesesuaian kualitas).

Material adalah sesuatu yang diperoleh dari pembelian lokal, impor atau pengolahan sendiri, yang kemudian diolah oleh perusahaan industri menjadi bahan baku atau suatu produk atau barang yang terbuat dari beberapa bahan yang dijadikan satu, sehingga suatu produk itu menjadi lebih bermanfaat merupakan pengertian dari material (Mulyadi, 2000; Callister dan William, 2004).

Besi beton yang juga dikenal sebagai baja tulangan beton merupakan besi yang memiliki fungsi pada penulangan kekuatan struktur konstruksi. Penggunaan baja dalam pembesian beton dihasilkan melalui canai panas (hot rolling) dengan bahan dasar billet, yang kemudian dibentuk menjadi baja berbentuk batang bulat (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Beton lemah dalam menahan gaya tarik tanpa retak-retak, hal teresebut membuat beton perlu diberi bantuan kekuatan penulangan agar dapat meningkatkan kekuatan gaya tarik yang disebakan oleh beban yang timbul dalam suatu sistem (Budi, 2011). Besi yang terekspos ke sumber panas akan menerima panas lebih banyak dibandingkan besi yang tertutup. Oleh karena itu, perlu diketahui bahwasannya apabila bagian luar besi beton terbakar, maka suhunya tidak selalu sama dengan suhu besi beton dibagian yang tertutup (Eko et al., 2015).

Masing-masing pekerjaan pembesian memiliki prosesnya, seperti pada pekerjaan pembengkokan besi memerlukan satu pasang alat bar bender untuk membengkokan besi beton yang ukurannya cukup panjang, serta pada pekeerjaan pemotongan juga memerlukan satu buah alat yang bernama bar cutter. Pada pekerjaan pembengkokan dan pemotongan penggunaan alat sangat membantu dalam mempercepat proses pelaksanaan. Sedangkan untuk proses pemasangan tulangan biasanya dilakukan oleh sumber daya manusia atau tenaga kerja yang pemasangannya disesuaikan dengan rencana pada gambar kerja.

Sisa Material

Sisa material merupakan segala jenis material yang berasal dari bagian alam di bumi yang dipindahkan, diolah ke suatu tempat agar kemudian dapat digunakan pada proses konstruksi baik pada suatu lokasi atau antar lokasi dengan berbagai macam kemungkinan yang dapat ditimbulkan seperti kerusakan, kelebihan, tidak terpakai, tidak sesuai dengan hasil spesifikasi atau hasil dari proses pengerjaan kosntruksi menurut Al Moghany (dalam Wirakaryanti, 2017; Rasha H. Ali, 2022). Garas et al (dalam Wirakaryanti, 2017) juga menyatakan bahwa sisa material adalah sesuatu yang tidak dapat terpakai/terbuang/tidak efisien dalam hasil yang diakibatkan dari peralatan, material, tenaga kerja, atau biaya dalam jumlah yang cukup besar yang kemudian dipertimbangkan dalam proses pembangunan (Sweis, G. J., dkk, 2018; Karoriya, D, 2018; Rasha H. Ali, 2022).

Limbah konstruksi terbukti berdampak buruk terhadap kondisi anggaran perusahaan konstruksi dan juga lingkungan. Pengelolaan limbah konstruksi adalah aspek yang akan membantu negara untuk berkembang secara berkelanjutan. Penerapan teori pengelolaan limbah akan mengurangi permasalahan yang berkaitan dengan lingkungan, sosial dan juga memberikan manfaat ekonomi bagi perusahaan. Limbah konstruksi telah terbukti berdampak negatif terhadap situasi anggaran perusahaan konstruksi dan lingkungan. Pengelolaan limbah konstruksi merupakan salah satu aspek yang akan membantu negara berkembang secara berkelanjutan. Penerapan teori pengelolaan limbah akan mengurangi dampak lingkungan dan sosial serta membawa manfaat ekonomi bagi bisnis (Nilesh Jain, dkk, 2016; Budiadi, 2008; Candra, W. P. A, 2015; Gulghane, A. A., & Khandve, P. V., 2015)

Perhitungan sisa material ini berasal dari perhitungan perbandingan antara perencanaan material sebelum pengerjaan degan sisa material saat menyelesaikan pekerjaan (Budiadi, 2008). Beberapa perihal yang menyebabkan terjadinya material yang tersisa diantaranya adalah karena terjadi perubahan desain, atau penggunaan metode konstruksi yang kurang tepat (Al-Moghany, 2006; Agyekum, K., Ayarkwa, J., & Adjei-Kumi, T., 2013).

Metode Perhitungan Kebutuhan Pembesian

Ada tiga metode perhitungan kebutuhan pembesian. Metode pertama adalah pendekatan atau bisa disebut dengan metode manual adalah merupakan sebuah metode yang dimana melakukannya berdasarkan dari pengamatan langsung di lapangan. Pengamatan di lapangan dilakukan untuk mengamati bagaimana proses pengerjaan pemotongan besi di lapangan terjadi. Pengamatan pada pengerjaan pemotongan besi juga berguna untuk mendapatkan sebuah jumlah kebutuhan tulangan besi pada metode manual ini. Metode ini biasanya diharuskan mengamati lebih dari satu proyek (Wirakaryanti, 2017). Metode kedua yaitu Metode Bar Bending Schedule (BBS). Metode ini dapat membantu mengurangi jumlah material sisa yang terbuang.

Penggunaan metode BBS ini dapat mengarahkan pemotongan besi sesuai dengan kebutuhan dalam pekerjaan pembesian/penulangan (Candra, W.P et al., 2015). Perhitungan pembesian dengan metode Bar Bending Schedule (BBS) memerlukan data yang lebih detail sehingga dapat menghasilkan kuantitas kebutuhan yang cukup akurat. Menurut Candra et al. (2015) BBS merupakan sebuah metode perhitungan dalam menentukan panjang setiap besi yang dibutuhkan, banyaknya besi tulangan yang digunakan serta total berat dari keseluruhan besi yang akan diterapkan pada sebuah struktur bangunan (Gulghane, A. A., & Khandve, P. V., 2015) Metode BBS menghasilkan sebuah kuantitas besi dalam satuan batang, kemudian dikonversikan dalam satuan berat. Dalam proses perhitungnnya menggunakan acuan SNI 2847-2019 dengan berdasarkan data gambar (shop drawing) yang sebelumnya telah disetujui oleh perencana (Hartono, Utami, et al., 2015).

Sedangkan metode yang ketiga yaitu Metode Linear Programming, merupakan suatu metode dalam penyelesaian masalah dengan menggunakan persamaan atau pertidaksamaan linear yang mempunyai banyak penyelesaian dengan memperhatikan syarat-syarat yang ada sehingga memperoleh penyelesaian optimum (nilai maksimum atau nilai minimum). Secara umum dalam penyusunan metode Linear Programming melibatkan tiga komponen dasar penting yaitu fungsi tujuan (objective function), fungsi batasan (constraint function), dan variabel keputusan. Berdasarkan penelitian Novita, Ulfiyati, dan Hardiyanti pada tahun 2021 metode Linear Programming dapat melakukan penghematan pada *waste of material* sebesar 21,56 %, serta total besi yang telah dilakukan penghematan sebesar 23,46 % (Novita, dkk, 2021), serta 23,9% (Candra Yuliana, dkk, 2022).

METODE PENELITIAN

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah menganalisis perhitungan kebutuhan tulangan besi dengan menggunakan metode metode BBS, untuk dapat meminimalkan *waste of matetial*. Data yang digunakan berupa data primer dari hasil wawancara dan pengamatan, yaitu berupa pengerjaan pembesian yang dilakukan di lapangan, bagaimana penanganan sisa material yang timbul dalam pengerjaan pembesian, serta untuk mengetahui berapa jumlah kebutuhan tulangan besi yang telah digunakan di lapangan sejauh tahap pembangunan. Selain itu juga wawancara dengan pakar di lapangan terkait penyebab terjadinya *waste* material. Data sekunder berupa data gambar kerja (shop drawing) perencanaan detail penulangan beserta dengan data jumlah volume tulangan besi yang telah digunakan pada proyek Pembangunan Pukesmas di Banjarmasin. Data ini diperoleh dari pihak dokumen kontrak pada kontraktor selaku pelaksana dari proyek yang ditinjau.

Alat dan Bahan

Alat-alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu pulpen, kertas, map, kamera, dll.

Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam metode penelitian untuk mendapatkan presentase *waste of material* tulangan besi berdasarkan metode Bar Bending Schedule (BBS), yaitu terlebih dahulu menganalisis gambar rencana dan kemudian dilakukanlah perhitungan kebutuhan tulangan besi dengan menggunakan metode BBS, agar dapat meminimalkan *waste* of matetial pada pekerjaan pembesian. Sehingga diakhir penelitian didapat hasil selisih antara perhitungan kebutuhan tulangan besi metode BBS dengan kebutuhan tulangan besi bedasarkan pada pengamatan serta wawancara di lapangan dan juga data sekunder yang diberikan oleh proyek. Perbandingan selisih yang didapat inilah yang akan membuktikan bahwa apakah metode perhitungan yang digunakan dalam penilitian dapat meminimalkan *waste of material* atau tidak. Sedangkan untuk mendapatkan tujuan kedua yaitu strategi yang mungkin dilakukan untuk meminimalisasi *waste* material, adalah pengumpulan data primer dari pakar/pihak terlibat proyek, menentukan kelompok penyebab masalah dengan diskusi (*brainstormin*) dengan pakar penggambaran konstruksi *fishbone*, menentukan strategi/langkah untuk memninimalkan *waste* of material.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan Besi Tulangan pada Proyek

Data sekunder dari proyek Pembangunan Pukesmas berupa volume tulangan besi dengan diameter 10 mm, 16 mm dan 8 mm seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Rekapitulasi Volume Tulangan Besi Berdiameter 10 mm, 16 mm dan 8 mm yang Digunakan

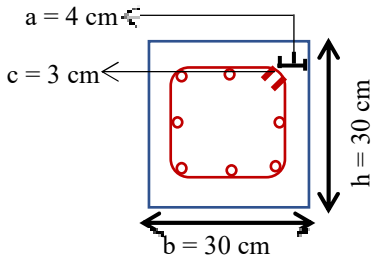
Uraian	Volume Besi Diameter 10 mm (Kg)	Volume Besi Diameter 16 mm (Kg)	Volume Besi Diameter 8 mm (Kg)
Kolom K1	7,298.09		
Kolom K2	1,797.55		
Balok B1a	3,804.26		
Balok B2	8,123.73		
Balok B3	1,642.94		
Balok B4	4,541.61		
Balok S1	1,566.36		
Pondasi P1		1,551.84	
Pondasi P2		3,282.96	
Kolom Praktis			2,257.64
Balok Letai			1,727.56
Balok S2			1,206.64
Jumlah	**28,474.54**	**4,834.80**	**5,191.84**

Pengolahan Data

Dalam penelitian ini pekerjaan pembesian yang akan diteliti hanya berbatas pada pemotongan besi tulangan untuk tulangan sengkang pada penulangan balok dan kolom. Dari hasil pembacaan gambar rencana pembangunan proyek, maka didapatkanlah jumlah pengadaan tulangan besi terhadap pengerjaan tulangan sengkang pada penulangan balok dan kolom, yang dimana kemudian setelahnya akan dilakukan perhitungan jumlah dan berapa panjang besi yang akan dipotong dalam penggunaan tulangan sengkang pada penulangan balok dan kolom menggunakan Ms. Excel (Kork, 2013). Sehingga akan mendapatkan hasil akhir dari perhitungan sebelumnya berupa jumlah besi yang akan diperlukan beserta presentase dari *waste of material*, selanjutnya akan dibandingkan dengan jumlah besi yang telah digunakan di lapangan.

Kebutuhan Besi Dengan Metode Bar Bending Schedule

Untuk kebutuhan besi tulangan sengkang pada penulangan balok dan kolom, perhitungannya akan dihitung berdasarkan data sekunder yang telah didapatkan dari Proyek Pembangunan Gedung Pukesmas Guntung Payung yaitu berupa gambar rencana atau disebut juga dengan shop drawing. Tahpan perhitungannya adalah (1) menghitung panjang kolom atau balok, (2) menghitung kebutuhan tulangan dalam satuan buah, volume dan potongan. Berikut contoh perhitungan kebutuhan tulangan sengkang untuk kolom K1. Untuk gambar potongan penampang tulangan pada penulangan kolom K1 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Potongan Penampang Tulangan Pada Penulangan Kolom K1

- Panjang tulangan sengkang

$$L = \{(h - a) + (b - a) + c\} \times 2 \quad (1)$$

$$L = \{(30 - 4) + (30 - 4) + 3\} \times 2 = 110\ cm$$

- Jumlah tulangan sengkang

Pada tulangan sengkang ada dua penempatan area, yaitu area tumpuan dan area lapangan.

$$\text{Bagian tumpuan} = \frac{(L \times 1/4) \times 2}{s} \quad (2)$$

$$= \frac{(4\times1/4)\times2}{0.10} = 20 \quad \text{buah}$$

$$\text{Bagian lapangan} = \frac{(L\times1/2)}{s} \tag{3}$$

$$= \frac{(4\times1/2)}{0.15} = 14 \text{ buah}$$

• Jumlah potongan

Pada bagian ini akan dilakukannya perhitungan untuk mendapatkan potongan bedasarkan jumlah dan panjang tulangan sengkang yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan bagian ini diambil dari tulangan besi utuh yang dijual di pasaran yaitu dengan panjang tulangan besi sekitar 12 m, yang kemudian dengan panjang tersebut akan dibagi dengan panjang tulangan sengkang yang telah dihitung sebelumnya. Dimana kemudian setelah mendapatkan potongan yang sesuai dengan jumlah serta panjang tulangan yang telah dihitung sebelumnya, maka dapat terlihatlah sisa panjang dari tulangan besi yang digunakan.

$$Jumlah\ potongan = \frac{panjang\ tulangan\ per\ batang}{panjang\ tulangan\ sengkang} \tag{4}$$

$$= \frac{1200\ cm}{110\ cm} = 10\ buah$$

Didapatkan 10 buah potongan untuk panjang tulangan sengkang 110 cm, dengan panjang sisa dari tulangan besinya adalah 100 cm. Sisa dari potongan tersebut kemudian akan digunakan kembali pada perhitungan selanjutnya yang mencukupi yaitu pada perhitungan Kolom K2, maka dari pada itu sisa dari materialnya telah teroptimalkan dengan baik. Untuk contoh perhitungan kebutuhan dan sisa kebutuhan tulangannya pada Kolom K1 dapat dilihat pada Tabel 2. Dermikan juga dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk besi diameter 16 mm, dan 8 mm.

Setelah dilakukan perhitungan metode BBS untuk kebutuhan tulangan besi, maka didapat hasil berupa jumlah keseluruhan potongan, volume tulangan yang dibutuhkan, volume sisa material, jumlah panjang tulangan yang digunakan, serta jumlah volume dari sisa material besi. Rekapitulasi hasil perhitunghan tersebut terlihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Contoh Tabel Perhitungan Bar Bending Schedule pada Kolom K1 Diameter 10 mm

No Kode	Jumlah (buah)	Vol (Kg)	POTONGAN		SISA POTONGAN				
			Jlh (buah)	Panjang (cm)	Jlh (buah)	Sisa (cm)	Ket	Jlh Sisa (buah)	Vol (Kg)
K1A No.01 Tumpuan	20	13.57	1	1200	10	100	Pindah ke K2A No.01 Tumpuan		
		-	1	1200	10	100	Pindah ke K2A No.01 Tumpuan		
K1A No.01 Lapangan	14	9.50	1	1200	10	100	Pindah ke K2A No.01 Lapangan		
		-	1	1200	4	760	pindah ke K1A No.02 tumpuan		
		-	1	1200	10	100	Pindah ke K2A No.02 Tumpuan		
			1	1200	4	760	Pindah ke K1A No.02 Lapangan		

Tabel 3. Jumlah Sisa Potongan Tulangan Besi

Diameter	Nama Bagian	Jumlah sisa (Buah)	Volume Sisa (Kg)	Volume Sisa (%)
10 mm	Kolom 1	117	70,4	1,33
10 mm	Kolom 2	240	26,59	3,52
10 mm	Balok B1a	-	-	-
10 mm	Balok B2	582	89,65	3
10 mm	Balok B3	88	16,84	2,62
10 mm	Baok B4	3	1,17	0,05
10 mm	Balok S1	151	57,32	4,27
	Jumlah	**1181**	**261,97**	**14,79**
16 mm	Pondasi P1			
16 mm	Pondasi P2	184	164,27	6,56
	Jumlah	**184**	**164,27**	**6,56**
8 mm	Kolom Praktis			
8 mm	Balok Letai	1	0,08	0,01
8 mm	Balok S2			
	Jumlah	**1**	**0,08**	**0,01**

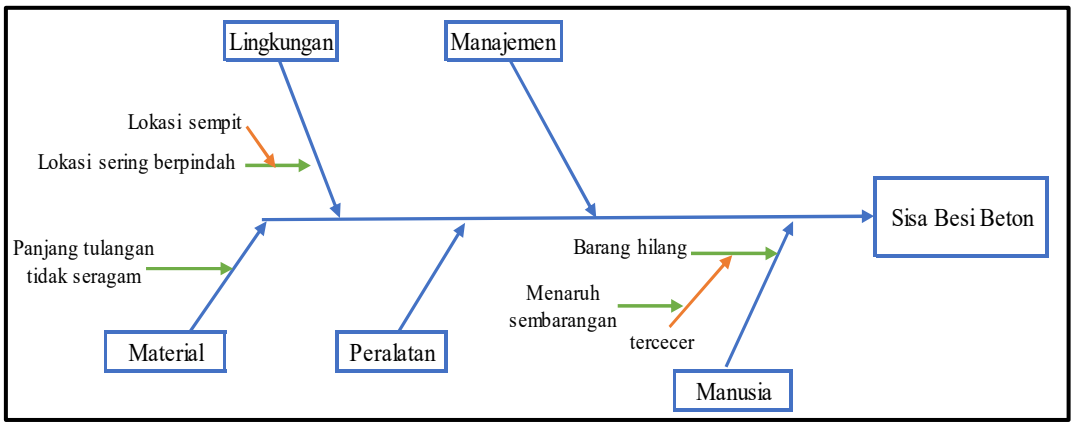
Tabel 4. Perbandingan Volume Kebutuhan Tulangan Besi dan Volume Sisa

Diameter Tulangan Besi	Volume Kebutuhan Tulangan Besi Berdasarkan Data Sekunder (Kg)	Volume Kebutuhan Tulangan Besi Berdasarkan Perhitungan dengan Metode BBS (Kg)	Volume Sisa Metode BBS (%)
10 mm	28.474,54	15.077,37	14,79
16 mm	4.834,80	3.352,3	6,56
8 mm	5,191.84	1.607,81	0,01
Jumlah	38.501,18	20.037,48	
Selisih	18.463,70		

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat perbandingan antara volume kebutuhan kebutuhan tulangan sengkang pada proyek dengan volume kebutuhan tulangan sengkang yang diperhitungan dengan menggunakan metode *Bar Bending Schedule*. Seperti yang tertera pada tabel hasil volume data penelitian pada proyek lebih besar jumlahnya daripada hasil data perhitungan yang dikerjakan. Hal tersebut disebabkan karena perhitungan kebutuhan tulangan dengan metode *Bar Bending Schedule* dapat memanfaatkan sisa potongan dari tulangan besinya untuk digunakan kembali pada kebutuhan yang mencukupi untuk digunakan kembali, sedangkan pada proyek sisa dari tulangan besi dalam pengerjaannya dibuang atau tidak dimanfaatkan kembali sehingga menjadi sisa material yang menumpuk pada proyek, namun perhitungan untuk volume kebutuhanya tetap dihitung berdasarkan berapa jumlah tulangan besi yang habis terpakai secara keseluruhan (sisa potongan tulangan besinya ikut terhitung). Meminimalkan pemborosan material tidak hanya akan meningkatkan kinerja proyek dan meningkatkan nilai bagi pelanggan individual, namun juga berdampak positif terhadap perekonomian nasional. Mengurangi limbah material tidak hanya akan meningkatkan kinerja proyek dan meningkatkan nilai bagi pelanggan individual, namun juga berdampak positif terhadap perekonomian nasional (Gulghane, A. A., & Khandve, P. V, 2015; Agyekum, K, dkk, 2013; Bossink B.A.G, H.J.H Brouwers, 1996; Poon, C. S., dkk, 2004).

Identifikasi Faktor Penyebab Waste pada Besi Beton

Berdasarkan *brainstorming* dari kategori utama yang telah ditentukan, dihasilkan faktor dan sub faktor penyebab *waste* pada material besi beton dan selanjutnya dianalisis dengan *fishbone* mengenai pengaruh keterkaitan antara tiap-tiap faktor penyebab dan sub faktornya terhadap kategori utama seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 *Fishbone* Diagram untuk *Waste* Besi Beton

Dari hasil *fishbone* diagram dapat disimpulkan bahwa faktor potensial yang paling berpengaruh terhadap sisa material besi beton adalah:

a. kategori lingkungan, dipengaruhi oleh lokasi yang sempit sehingga penumpukan material dilakukan berpindah-pindah.
b. kategori manusia, dipengaruhi oleh pekerja yang menaruh material sembarangan karena lokasi penumpukan berpindah-pindah dapat dengan mudah tercecer atau barang hilang

Setelah menentukan dan mengetahui masalah yang terjadi dengan *fishbone* diagram maka strategi untuk meminimalisasi terjadinya *waste* di lapangan didapat dari saran dan masukan dari pelaku proyek, saran yang diberikan bersifat opini yang berasal dari pengalaman dilapangan saat narasumber bekerja. Untuk meminimalisasi jumlah *waste* besi beton dapat dilakukan dengan memberi bimbingan lebih pada tukang besi dan pekerja, serta selalu mengingatkan agar tidak menaruh material sembarangan.

KESIMPULAN

Volume kebutuhan besi jenis ulir dengan metode Bar Bending Schedule berdiameter 10 mm ialah sebesar 15.077,37 kg kemudian untuk tulangan besi dengan diameter 16 mm adalah sebesar 3.352,3 kg dan 1.607,81 kg untuk tulangan besi polos dengan diameter 8 mm. Dengan selisih jumlah keseluruhan kebutuhan tulangan dengan kedua metode adalah sebesar 38.501,18 kg.

Dengan metode Bar Bending Schedule mampu mengoptimalkan *waste of material*, sehingga hanya menyisakan material pada tulangan besi jenis ulir sekitar 14,79 % untuk seluruh perhitungan kebutuhan tulangan besi berdiameter 10 mm, dan sebesar 6,65 % untuk tulangan besi berdiameter 16 mm. Serta untuk tulangan besi polos hanya menyisakan material sekitar 0,01 % pada tulangan besi berdiameter 8 mm. Dari hasil perbandingan terlihat bahwa perbedaan yang cukup signifikan mengenai kebutuhan tulangan dalam pengerjaanya. Hal tersebut dapat menunjukan bahwa metode *Bar Bending Schedule* dapat mengoptimalkan

sisa material dari panjang potongan besi yang tersisa, dengan cara digunakan kembali untuk rencana potongan besi lainnya yang dimana dimensi dari potongan tersebut dapat mencukupi sisa sebelumnya.

Pada material besi beton, *waste* terjadi karena kurangnya pengawasan yang berdampak adanya pekerja yang menaruh material sembarangan karena lokasi penumpukan berpindah-pindah dapat dengan mudah tercecer atau barang hilang. Cara meminimalisasi terjadinya *waste* material memberi bimbingan lebih pada tukang besi dan pekerja, serta selalu mengingatkan agar tidak menaruh material sembarangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya kepada LPPM ULM yang telah memberikan bantuan dana untuk penelitian ini sesuai SK Rektor No. 615/UN8/PG/2023

DAFTAR PUSTAKA

Agyekum, K., Ayarkwa, J., & Adjei-Kumi, T. (2013). Minimizing materials wastage in construction-a lean construction approach. Journal of Engineering and Applied Science, 5(1), 125-146.

Al-moghany, S. S., 2006. Managing and Minimizing Construction *Waste* in Gaza Strip, A Thesis Submited in Partial Fulfillment of the Requirement, The Islamic University of Gaza, Palestina.

Badan Standardisasi Nasional, 2017, Baja tulangan beton (SNI 2052:2017). Standar Nasional Indonesia. https://ibmpkp.pu.go.id/assets/public/03._BUKU_SAKU_PETUNJUK_UMUM_KONSTRUKSI_2022.pdf

Bajjou M.S, and Chafi A, 2022, "Exploring the Critical *Waste* Factors Affecting Construction Projects," Engineering, Construction and Architectural Management, vol. 29, no. 6, pp. 2268-2299. https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2020-1097

Budi, G. S., 2011. Pengujian Kuat Tarik Dan Modulus Elastisitas Tulangan Baja (Kajian Terhadap Tulangan Baja Dengan Sudut Bengkok 45, 90, 135). *Jurnal Teknik Sipil*, 11(1). https://doi.org/10.26418/jtsft.v11i1.1070

Budiadi, Andri., 2008. Desain Praktis Beton Prategang. Yogyakarta: Penerbit Andi

Bossink B.A.G, H.J.H Brouwers, "Construction *Waste*: Quantification and Source Evaluation," Journal of Construction Engineering and Management, pp. 55-60, 1996

Callister & William., 2018, Materials Science and Engineering, https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/TEKNOLOGI%20REKAYASA%20MATERIAL%20PERTAHANAN/Materials%20Science%20and%20Engineering%20An%20Introduction%20by%20William%20D.%20Callister,%20Jr.,%20David%20G.%20Rethwish%20(z-lib.org).pdf

Candra Yuliana, Gawit Hidayat, Jihan Safitri, "Analysis of *Waste* Material on Reinforced Concrete Work in

Wetlands by Linear Programming Method," SSRG International Journal of Civil Engineering, vol. 9, no. 9, pp. 33-38, 2022. Crossref, [https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V9I9P106] [https://repo-dosen.ulm.ac.id/bitstream/handle/123456789/29862/IJCE-V9I9P106.pdf?sequence=1]

Candra, W. P. A., Hartono, W., & Sunarmasto. (2015). Rancangan Program Pengerjaan Bar Bending Schedule Penulangan Core Lift Dan Pit Lift dengan Visual Basic 6.0. *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 89–95. [https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/view/37313]

Enshassi, A., El-Moghany, S., Mayer, P. E., & Zimmermann, J. (2011). Material wastage on construction sites in the Gaza strip. International Journal of Construction Project Management, 3(2), 107. [https://scholar.google.co.id/scholar?cluster=6823219680029521273&hl=id&as_sdt=0,5&as_vis=1]

Formoso, C.T., Soibelman, L., Cesare, C.M., & Isatto, E.L. (2002). Material *Waste* in Building Industry: Main Causes and Prevention. *Journal of Construction Engineering and Management-ASCE*, 128, 316-325. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:4(316).

Gulghane, A. A., & Khandve, P. V. (2015). Management for construction materials and control of construction *waste* in construction industry: a review. International Journal of Engineering Research and Applications, 5(4), 59-64. [https://scholar.google.co.id/scholar?cluster=12901987831625683501&hl=id&as_sdt=0,5&as_vis=1&scioq=*waste*+of+materials+in+construction]

Gulghane, A. A., & Khandve, P. V. (2015). Management for construction materials and control of construction *waste* in construction industry: a review. International Journal of Engineering Research and Applications, 5(4), 59-64. [https://scholar.google.co.id/scholar?cluster=12901987831625683501&hl=id&as_sdt=0,5&as_vis=1&scioq=Optimasi+*Waste*+Besi+Pada+Pier+Median+Jalan+Tol+Jakarta]

Haddad, E., 2015, Construction resources management system for Gaza Strip building contractors. Civil and Environmental Research, 7(5), 27-35. [https://scholar.google.co.id/scholar?cluster=13889964492160091213&hl=id&as_sdt=0,5&as_vis=1]

Hartono, W., Utami, H., & Sunarmasto, S. (2015). Rancangan Program Pengerjaan Bar Bending Schedule Penulangan Pile Cap Dan Kolom Bawah Dengan Visual Basic 6.0. *Matriks Teknik Sipil*, 3(2). [https://scholar.google.co.id/scholar?cluster=5671718831659353014&hl=id&as_sdt=0,5&as_vis=1&scioq=*waste*+of+materials+in+construction]

Husen, Abrar., 2009. Manajemen Proyek: Perencanaan Penjadwalan dan Pengendalian Proyek, Penerbit : Andi Yogyakarta. [https://scholar.google.co.id/scholar?hl=en&as_sdt=0,5&cluster=6229249750423241223]

Julsena, Abdullah Abdullah, Anita Rauzana, 2018, "Material Residual Factors that Affect the Cost of the Implementation of Building Construction Projects in Aceh Province," *Archives Journal of Civil Engineering and Planning*, vol. 1, no. 4, pp. 148-155, 2018. Doi:10.24815/jarsp.vlil.12465

Karoriya, D., & Pandey, M. (2018). Efficient techniques of construction material management in construction projects. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 5(03), 1136-1138. [https://scholar.google.co.id/scholar?cluster=2481321154200439621&hl=id&as_sdt=0,5&as_vis=1]

Kork, M., "Calculation of Iron Reinforcement Needs by Taking into Account the Optimization of Iron *Waste* in Beam Work with Microsoft Excel Program", E-Journal of Civil Engineering Matrix, vol. 1, no. 3, pp. 290-295, 2013. Doi: 10.20961/Mateksi.V1i3.37533

K V Subrahmanyam, U Arun Kumar, Dr. PVV Satyanarayana, "A Comparative Study on Utilization of *Waste* Materials in GSB Layer," SSRG *International Journal of Civil Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 9-13, 2014. Crossref, https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V1I3P102

Muhammad Khadafi, 2008, "Analisis Penggunaan Aplikasi Software Optimasi *Waste* Besi pada Pekerjaan Struktur Beton Bertulang,", https://lib.ui.ac.id/file?file=digital/123073-R010876-Analisis%20penggunaan-Abstrak.pdf

Mulyadi, 2000, Akutansi Biaya, Yogyakarta: Aditya Media. https://www.jurnal.id/id/blog/jenis-jenis-bahan-baku-dalam-industri/

Nilesh Jain, Avinash Shingan, Shantanu Paraspatki, "Construction *Waste* Minimisation & Management," SSRG International Journal of Civil Engineering, vol. 3, no. 12, pp. 22-28, 2016. Crossref, https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V3I12P104

Novita, W. A., Ulfiiyati, Y., & Hardiyanti, S. A. (2022). Optimasi *Waste* Besi Pada Pier Median Jalan Tol Jakarta–Cikampek 2 Elevated Dengan Program Linear. Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan, 5(1), 58-66. [https://scholar.google.co.id/scholar?hl=id&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&scioq=*waste*+of+materials+in+construction&q=Optimasi+*Waste*+Besi+Pada+Pier+Median+Jalan+Tol+Jakarta&btnG=]

Poon, C. S., Yu, A. T. W., Wong, S. W., & Cheung, E. (2004). "Management of construction *waste* in public housing projects in Hong Kong". *Construction Management & Economics*, 22(7), 675-689

Rasha H. Ali, "New Innovation in Concrete Using Industrial and Agricultural *Waste*s," *SSRG International Journal of Civil Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 1-5, 2022. Crossref, [https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V9I5P103]

Sweis, G. J., Hiari, A., Thneibat, M., Hiyassat, M., Abu-Khader, W. S., & Sweis, R. J., 2021, *Understanding the Causes of Material Wastage in the Construction Industry*. Jordan Journal of Civil Engineering, 15(2). [https://scholar.google.co.id/scholar?cluster=7692682974594912195&hl=id&as_sdt=0,5&as_vis=1]

Wior, C. E., Wallah, S. E., & Pandaleke, R. (2015). Kajian Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Baja Tulangan Gedung Teknik Arsitektur dan Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado Pasca Kebakaran. *Jurnal*

Sipil Statik, 3(4). [https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=nbTDk6gAAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=nbTDk6gAAAAJ:LkGwnXOMwfcC]

Wirakaryanti E, Henry Wardhana, "Iron Cutting Methods to Minimize *Waste* of Material in Iron Works," *Thesis, Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Lambung Mangkurat University*, 2017.