

Studi Kasus *Waste Material* Proses Fabrikasi Struktur Baja di Perusahaan EPC (Engineering, Procurement, Construction)

Kelvin Rudy Sutanto

Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto No. 121-131 Surabaya
E-mail: m01515003@john.petra.ac.id

Paulus Nugraha

Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto No. 121-131 Surabaya
E-mail: pnugraha@peter.petra.ac.id

Andi

Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto No. 121-131 Surabaya
E-mail: andi@peter.petra.ac.id

Abstrak

Sisa material atau waste merupakan sisa dari material yang tidak dapat dipergunakan kembali. Sering tidak sesuai perencanaan estimasi waste dengan kenyataan waste di lapangan, menjadi latar belakang penelitian ini. Penelitian ini terfokus pada empat jenis bangunan baja antara lain gudang, bandara, tower, jembatan dengan masing-masing menggambarkan jenis profil wf, pipa, siku, plat. Metode penelitian yaitu dengan menghitung persentase waste dengan cara menghitung selisih berat bruto dikurangi berat netto yang kemudian dibagi berat bruto. Berat bruto diperoleh dari perhitungan kebutuhan material berdasarkan gambar struktur, sedangkan berat netto diperoleh dari hasil permodelan 3D. Pengujian korelasi untuk mengetahui faktor penyebab waste. Hasil pengolahan data adalah waste tower dengan profil siku sebesar 5.71 %, gudang dengan profil wf sebesar 9.36 %, bandara dengan profil pipa sebesar 13.85 %, dan jembatan dengan profil plat sebesar 19.08%. Faktor penyebab waste adalah jenis profil dan dimensi bangunan yang meliputi tinggi bangunan, panjang bangunan, bentang bangunan.

Kata-kata Kunci: *Waste, profil, baja*

Abstract

Waste material is residual of the material that can't be used anymore. Often planning estimates of waste is not same with the actual waste on site become the creation of ideas in this study regarding waste steel profile. In previous studies have focused on natural materials making can be done in the field or cast in situ. This research focused on four types of steel buildings include warehouses, airports, towers, bridges with each describing the type of profile wf, pipe, angle bar, plate. The research method is to calculate the percentage of waste by calculating the difference between the gross weight minus the net weight is then divided by gross weight. The gross weight is obtained from the calculation of material needs by drawing the structure, while the net weight obtained from the 3D modeling. The percentage of waste is then analyzed regression to obtain the factors causing waste. The result of data processing shows that the smallest percentage of waste is a type of tower building with angled profile by 5.71%, warehouse with wf profile for 9,36%, the airport building with pipe profile of 13.85%, building bridges with the profile plate by 19,08%. Causing factor of waste is type of profile and building dimension consists of height, wide, and length of building.

Keywords: *Waste, profile, steel*

1. Pendahuluan

Perencanaan *waste* merupakan bagian penting dalam perhitungan estimasi proyek. Estimasi *waste* pada penawaran tender yang umumnya menggunakan lima sampai sepuluh persen seringkali tidak sesuai dengan

kenyataan di lapangan. Berbagai jenis proyek tentunya memiliki persentase *waste* yang tidak sama karena sifat proyek yang unik, khususnya untuk bangunan beton dan baja yang keduanya memiliki sifat dan karakteristik pekerjaan yang sangat berbeda. Beton yang merupakan material berbentuk curah tidak memiliki batasan kemasan dan dapat dikerjakan di lapangan,

sedangkan baja merupakan material yang terbatas dengan ukuran dan dimensi profil yang tersedia di pasaran. Panjang yang tersedia pun terbatas hanya panjang enam meter dan dua belas meter, sehingga faktor perencanaan material harus sangat diperhatikan agar penggunaan material baja benar – benar efisien.

Dari latar belakang di atas muncul pemikiran bahwa perlunya penelitian tentang estimasi *waste* profil baja karena adanya keterbatasan jenis dan ukuran profil. Perhitungan *waste* baja dikhususkan pada proses fabrikasi karena pada proses tersebut dilakukan pemotongan dan perakitan baja untuk menjadi struktur yang siap dipasang di lapangan. Oleh karenanya proses fabrikasi menjadi fase penting yang sangat diperhatikan dalam perencanaan *waste*.

Pada penelitian ini, identifikasi jenis bangunan akan menentukan perencanaan estimasi *waste* pada saat penawaran sehingga hal ini akan berpengaruh terhadap biaya proyek secara keseluruhan. Perlunya studi ini adalah untuk membantu pelaku bisnis konstruksi baja untuk menentukan besarnya estimasi *waste* berdasarkan jenis bangunannya. Perbedaan jenis bangunan mempengaruhi jenis profil yang digunakan sehingga proses fabrikasinya tidak sama untuk tiap jenis bangunan. Beberapa jenis bangunan yang menggunakan material baja antara lain tower transmisi, gudang, atap bandara, jembatan, tangki, dan bangunan industri. Dengan berbagai bentuk bangunan tentunya membutuhkan profil yang berbeda, profil yang umum digunakan dalam konstruksi baja antara lain profil plat, IWF, siku, H Beam, CNP, UNP, Castilated, Pipa, dan Kotak. Pada umumnya profil-profil tersebut tersedia hanya dua jenis panjang yakni panjang enam meter dan dua belas meter. Dengan terbatasnya panjang profil yang tersedia hal ini menyebabkan perhitungan *waste* profil baja berbeda dengan beton.

Metode untuk mengurangi *waste* dapat dilakukan dengan menggunakan program permodelan tiga dimensi *Building Information Modelling* (BIM) dimana setiap *member* atau bagian elemen struktur terdata secara detail, sehingga dapat diketahui kebutuhan jumlah dan panjang setiap profil. Kemudian akan dilakukan *nesting* atau *cutting plan* untuk memanfaatkan ukuran profil yang tersedia. Setiap hasil *nesting* tersebut akan diinput ke program mesin berupa *NC Files*, sehingga mesin produksi akan memotong profil atau plat sesuai *cutting plan* tersebut.

2. Studi Literatur

2.1 Definisi *waste*

Waste material dapat didefinisikan sebagai sisa dari material konstruksi yang tidak diinginkan dan tidak dipergunakan kembali. Terdapat beberapa perbedaan pandangan dari para peneliti mengenai definisi *waste* konstruksi. Formoso et al. (1999), mendefinisikan *waste* konstruksi sebagai ketidakefisienan yang dihasilkan dari penggunaan peralatan, tenaga kerja, bahan, atau biaya dalam jumlah yang lebih besar selain

yang direncanakan dalam proses pembangunan. Abdurrahman (2012), mengemukakan bahwa *waste* material merupakan bagian dari material yang tidak terpakai dalam pelaksanaan proyek konstruksi dan tidak menjadi bagian dari bangunan. Semakin banyak *waste* material yang terjadi, maka semakin tidak efisien penggunaan material dalam proyek tersebut.

Terjadinya *waste* material konstruksi dapat disebabkan oleh satu atau kombinasi dari beberapa sumber dan penyebab. Gaspers (2001) membedakan sumber-sumber permasalahannya menjadi enam yaitu : metode, pengukuran, manusia, lingkungan, mesin, dan material.

Metode perhitungan *waste* menurut Poon et al (2004) adalah dengan menghitung selisih antara volume terpakai atau yang dibeli dengan volume yang terpasang dibagi dengan volume yang terpasang.

$$\% \text{ Waste} = \frac{\text{Volume beli} - \text{Volume terpasang}}{\text{Volume beli}}$$

2.2 Proses fabrikasi

Definisi fabrikasi struktur baja menurut Gunadhi (2003) adalah suatu proses pembuatan komponen – komponen struktur baja dari bahan profil baja. Pelaksanaan proses fabrikasi dapat dilakukan di dalam pabrik dan di luar pabrik yaitu di lapangan dimana proyek konstruksi berlangsung.

Fabrikasi struktur baja umumnya dilakukan di *workshop* terutama untuk skala proyek yang cukup besar. Tahapan fabrikasi untuk struktur baja sebagai berikut (Schfly, 1998) :

1. Penandaan material baja
2. Pemotongan material baja
3. Pembuatan lubang
4. Pengelasan
5. Pengecatan

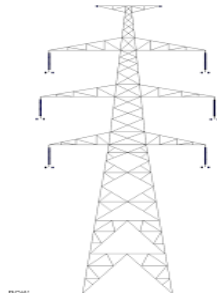
Tahap pemotongan merupakan tahapan yang paling banyak menghasilkan *waste* material karena keterbatasan panjang profil yang tersedia hanya 6 meter dan 12 meter saja sehingga perlu dilakukan perencanaan pemotongan atau *cutting plan* yang akan menghasilkan *nesting* atau perencanaan *waste*. Pemotongan sendiri dapat dilakukan dengan menggunakan gunting (*shearirtg*), mesin *cropping*, gergaji (*sawing*) atau menggunakan api (*flame cutting*). Seiring dengan perkembangan teknologi, pemotongan profil dapat dilakukan dengan mesin CNC yang merupakan mesin dengan program otomatis pembacaan *NC Files* yang merupakan *output* dari program permodelan tiga dimensi atau BIM (*Building Information Modelling*).

2.3 Jenis struktur baja

Jenis struktur baja yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah struktur baja yang dikerjakan oleh perusahaan EPC antara lain tower, gudang, bandara, dan jembatan.

2.3.1 Tower

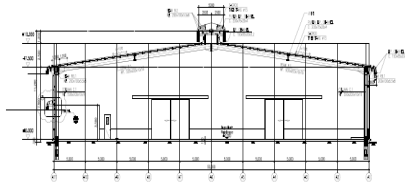
Tower merupakan struktur baja yang menjulang tinggi ke atas dengan menggunakan profil siku seluruhnya yang terdiri dari banyak variasi ukuran siku seperti terlihat pada **Gambar 1**. Tower memiliki dimensi lebar kaki dan tinggi tower yang disesuaikan dengan beban kabel yang diterima.



Gambar 1. Struktur tower transmisi

2.3.2 Gudang

Gudang merupakan konstruksi baja yang menggunakan profil WF yang umumnya digunakan sebagai rafter, kolom, dan tie beam seperti pada **Gambar 2**. Bentuk gudang umumnya berupa struktur pelana yang menggunakan profil WF untuk rafter, kolom, dan *tie beam*, untuk gording menggunakan CNP dan untuk ikatan angin dan sagrod menggunakan besi beton. Untuk jarak antar kolom umumnya menggunakan jarak 6 meter, akan tetapi juga dapat hingga 12 meter. Untuk bentang bangunan sendiri bervariasi dimulai dari panjang 10 meter hingga 120 meter.



Gambar 2. Struktur gudang

2.3.3 Atap bandara

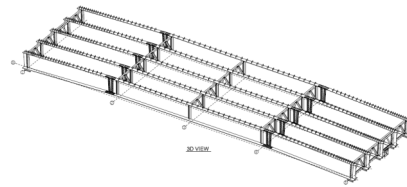
Atap bandara atau atap lengkung merupakan struktur busur melengkung yang menggunakan profil pipa karena kemudahan dan fleksibilitas pipa baja untuk ditekuk dan disesuaikan dengan desain bentuk bangunan seperti pada **Gambar 3**. Selain untuk atap bandara, struktur pipa juga umumnya digunakan untuk bangunan stadion dan *coal shelter* yang memerlukan bentang lebih dari 100 meter.



Gambar 3. Struktur atap bandara

2.3.4 Jembatan

Jembatan adalah struktur baja yang terdiri dari rangkaian batang – batang baja yang dihubungkan satu dengan yang lain menggunakan profil plat yang dilas menyerupai bentuk WF. Tipe jembatan yang umum digunakan antara lain adalah jembatan girder seperti **Gambar 4**. Menurut lebar jalannya, masing – masing jembatan tersebut dibagi menjadi 3 tipe yaitu tipe A dengan lebar 9 m diperuntukkan untuk dua arah, tipe B dengan lebar 7 m untuk satu arah, dan tipe C dengan lebar 5 m juga untuk satu arah. Untuk bentang jembatan bervariasi dimulai dari panjang 5 meter hingga 30 meter untuk jembatan girder dan 30 meter hingga 60 meter untuk jembatan rangka baja.



Gambar 4. Struktur jembatan girder

2.4 Perusahaan EPC

Perusahaan EPC (*Engineering, Procurement, Construction*) adalah sebuah perusahaan konstruksi yang menangani berbagai jenis struktur baja seperti tower, gudang, bandara, jembatan dan dimulai dari pekerjaan desain, pengadaan material hingga proses konstruksi yang meliputi fabrikasi di pabrik dan ereksi di lapangan. Perusahaan EPC ini pada umumnya menggunakan program permodelan tiga dimensi BIM (*Building Information Modelling*) untuk meningkatkan keakuratan dalam pengadaan materialnya sehingga diharapkan dengan program BIM ini efisiensi *waste* dapat tercapai karena ukuran dan spesifikasi material dari masing – masing elemen struktur akan terlihat dalam bentuk model tiga dimensi dan dalam bentuk daftar material meliputi dimensi panjang dan berat material.

2.5 Faktor penyebab *waste material*

Waste material yang terjadi di lapangan dapat disebabkan oleh satu atau kombinasi dari beberapa faktor penyebab. Gavilan dan Bernold, membedakan sumber-sumber yang dapat menyebabkan terjadinya *waste material* konstruksi atas enam kategori: (1) disain; (2) pengadaan material; (3) penanganan material; (4) pelaksanaan; (5) residual dan (6) lain lain.

3. Metode Penelitian

3.1 Kerangka penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur dari jurnal penelitian terdahulu untuk mengetahui teori – teori mengenai faktor penyebab terjadinya *waste material* dan spesifikasi profil baja yang umum digunakan dan tersedia di pasaran untuk masing-masing bangunan. Setelah itu dilakukan penentuan

jumlah data bangunan yang akan digunakan. Setelah mendapatkan data tersebut maka dilakukan pengolahan data untuk menghitung besarnya *waste* untuk masing-masing bangunan.

Penelitian ini merupakan penelitian untuk menghitung besarnya *waste* dengan cara menghitung selisih dari berat bruto yang merupakan berat dari material terbeli dengan berat netto yang merupakan berat dari elemen struktur dari permodelan 3 dimensi pada sebuah perusahaan EPC (*Engineering, Procurement, Construction*). Perusahaan EPC (*Engineering, Procurement, Construction*) adalah sebuah perusahaan konstruksi yang menangani berbagai jenis struktur baja seperti tower, gudang, bandara, jembatan dan dimulai dari pekerjaan desain, pengadaan material hingga proses konstruksi yang meliputi fabrikasi di pabrik dan ereksi di lapangan. Perusahaan EPC ini pada umumnya menggunakan program permodelan tiga dimensi BIM (*Building Information Modelling*) untuk meningkatkan keakuratan dalam pengadaan materialnya sehingga diharapkan dengan program BIM ini efisiensi *waste* dapat tercapai karena ukuran dan spesifikasi material dari masing – masing elemen struktur akan terlihat dalam bentuk model tiga dimensi dan dalam bentuk daftar material meliputi dimensi panjang dan berat material

3.2 Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan dari 40 bangunan yang telah dikerjakan sebuah perusahaan EPC yang terdiri 10 bangunan untuk masing – masing jenis bangunan gudang, tower transmisi, jembatan, dan atap bandara antara lain :

1. Data umum proyek meliputi jenis dan dimensi bangunan
2. Desain dan gambar struktur masing-masing jenis bangunan baja.
3. Material *list* untuk daftar kebutuhan material yang akan dibeli

3.3 Pengolahan data

Masing – masing jenis bangunan akan diambil 10 sampel bangunan. Setiap desain bangunan yang telah diperoleh akan diinput ke dalam program model 3 dimensi BIM (*Building Information Modeling*)

3.3.1 Breakdown material

Breakdown material untuk mengetahui setiap elemen struktur pada masing-masing bangunan diperoleh dari *material list* hasil program BIM yang kemudian akan dikelompokkan menurut ukuran profil. Dari hasil tersebut akan diketahui kebutuhan material untuk masing-masing elemen sehingga diperoleh berat netto.

3.3.2 Cutting plan/nesting

Kebutuhan material untuk masing – masing elemen struktur yang telah diketahui melalui BIM dan *breakdown*

material, kemudian akan lakukan proses *cutting plan* atau *nesting* untuk mengetahui kebutuhan beli dari material tersebut sehingga diperoleh berat bruto.

3.3.3 Perhitungan waste

Waste diperoleh dengan menghitung selisih dari berat bruto dengan berat netto setiap ukuran profil. Setelah diperoleh persentase *waste* untuk masing-masing ukuran profil, kemudian akan dijumlah per bangunan dan kemudian dirata-rata untuk mengetahui besarnya persentase *waste* masing-masing jenis struktur baja. Setelah diperoleh persentase *waste* untuk masing-masing struktur baja, selanjutnya dihitung standar deviasi untuk mengetahui deviasi persentase *waste* dari penelitian ini. Rumus untuk menghitung besarnya *waste* adalah :

$$\% \text{ waste} = \frac{\text{berat bruto} - \text{berat netto}}{\text{berat bruto}}$$

3.4 Analisa data

Perhitungan *Waste* Setiap Jenis Struktur Baja

Setelah diperoleh *waste* untuk masing-masing sampel bangunan, kemudian *waste* tersebut dirata-rata untuk mengetahui nilai *waste* masing - masing bangunan seperti gudang, bandara, tower, dan jembatan. Kemudian dihitung standar deviasi untuk mengetahui deviasi persentase *waste* dalam penelitian ini.

Analisa korelasi untuk mengetahui faktor penyebab

Berdasarkan analisa perhitungan *waste* diatas dapat diketahui melalui analisa korelasi untuk mengetahui hubungan faktor penyebab perbedaan nilai *waste* untuk masing – masing jenis bangunan. Analisa korelasi menggunakan program SPSS v.19 dengan metode Pearson untuk mengetahui adanya pengaruh faktor penyebab dengan tingkat signifikansi minimum 0,5. Faktor penyebab yang diduga dalam penelitian ini antara lain :

Tower

- Tinggi tower merupakan jarak tegak antara titik terendah tower di atas pile cap hingga titik tertinggi tower.
- Lebar kaki merupakan jarak antar kaki tower yang berbentuk persegi

Gudang

- Bentang gudang merupakan jarak antar kolom arah melintang yang umumnya menggunakan profil rafter
- Panjang gudang merupakan jarak antar kolom arah memanjang yang umumnya kelipatan 6 m.

- Tinggi gudang merupakan tinggi kolom dari titik terendah pile cap hingga titik tertinggi kolom.

Sudut gudang merupakan sudut kemiringan atap gudang

Bandara

- Bentang atap bandara merupakan jarak antar kolom arah melintang yang umumnya menggunakan profil rafter
- Panjang atap bandara merupakan jarak antar kolom arah memanjang yang umumnya kelipatan 6 m.
- Radius atap bandara merupakan jarak lengkung atap bandara

Jembatan

- Bentang atau panjang jembatan merupakan jarak antar tumpuan jembatan dari ujung ke ujung lainnya.
- Lebar jembatan merupakan jarak antar balok terluar dari jembatan.
- Tinggi jembatan merupakan tinggi tegak dari titik terendah hingga titik tertinggi kolom.

4. Analisa dan Pembahasan

Data penelitian diperoleh dari sebuah perusahaan EPC di Surabaya yang mengerjakan proyek konstruksi baja seperti gudang, jembatan, tower transmisi dan atap bandara yang dibantu dengan program permodelan 3 dimensi BIM (*Building Information Modeling*). Dalam penelitian ini, masing – masing dari empat jenis struktur seperti tower, gudang, bandara, dan jembatan diambil 10 sampel proyek untuk mewakili besarnya persentase *waste*.

4.1 Perhitungan *waste* tower

Dari 10 sampel bangunan tower transmisi yang di hitung persentase *waste* materialnya, kemudian dibuat rekapitulasi perhitungan *waste* material tower untuk semua bangunan tower yang meliputi data lebar kaki tower, tinggi tower, rasio tinggi dibagi lebar dan hasil perhitungan *waste* untuk masing – masing tower yang kemudian akan dirata – rata untuk memperoleh persentase *waste* tower dan kemudian dihitung standar deviasinya seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Rekapitulasi perhitungan *waste* material tower

Nama Bangunan	Lebar kaki (m)	Tinggi (m)	Rasio Tinggi / Lebar	Waste (%)
T1	4	20	5.00	4.43
T2	5	22	4.40	4.79
T3	6	24	4.00	4.92
T4	10	28	2.80	5.10
T5	7	30	4.29	5.10
T6	7	30	4.29	5.12
T7	8	32	4.00	5.17
T8	8	35	4.38	5.46
T9	8	36	4.50	6.71
T10	9	40	4.44	6.79

Berdasarkan **Tabel 1** dapat diketahui bahwa persentase *waste* material untuk tower rata – rata sebesar 5.36 % dengan standard deviasi sebesar 0.78 %. Faktor penyebab *waste* material tower tidak terlalu besar adalah bentuk bangunan lurus dan menggunakan beberapa ukuran profil sehingga penggunaan material efisien. Kemudian akan diuji korelasi dengan metode Pearson menggunakan SPSS v.19 untuk beberapa faktor seperti lebar kaki tower, tinggi tower, rasio tinggi dibagi lebar kaki tower.

4.2 Perhitungan *waste* gudang

Dari 10 sampel bangunan gudang yang di hitung persentase *waste* materialnya, kemudian dibuat rekapitulasi perhitungan *waste* material gudang untuk semua bangunan gudang yang meliputi data bentang gudang, panjang gudang, tinggi gudang, sudut kemiringan atap gudang dan hasil perhitungan *waste* untuk masing – masing gudang yang kemudian akan dirata – rata untuk memperoleh persentase *waste* gudang dan kemudian dihitung standar deviasinya seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rekapitulasi perhitungan *waste* material gudang

Nama Bangunan	Bentang (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)	Sudut (°)	Waste (%)
G1	12	24	6	15	4.82
G2	18	30	6	15	5.19
G3	24	32	9	15	5.43
G4	36	42	8	15	5.49
G5	42	50	8	15	9.46
G6	55	60	12	20	10.04
G7	64	65	10	15	10.47
G8	70	80	12	20	11.46
G9	75	90	15	20	13.56
G10	88	90	14	20	13.73

Berdasarkan **Tabel 2** dapat diketahui bahwa persentase *waste* material untuk gudang rata – rata sebesar 9.36 % dengan standard deviasi sebesar 3.31 %. Pada gudang G1 hingga G5 dengan bentang kecil dari 12 meter hingga 42 meter *waste* berada di bawah 10 %, sedangkan pada gudang dengan bentang lebih dari 42 meter dari G6 – G10 *waste* berada di atas 10 %. Kemudian akan diuji korelasi dengan metode Pearson menggunakan SPSS v.19 untuk beberapa faktor seperti bentang gudang, panjang gudang, tinggi gudang, sudut kemiringan gudang.

4.3 Perhitungan waste bandara

Dari 10 sampel bangunan bandara yang di hitung persentase waste materialnya, kemudian dibuat rekapitulasi perhitungan waste material bandara untuk semua bangunan bandara yang meliputi data bentang bandara, panjang bandara, radius atap bandara dan hasil perhitungan waste untuk masing – masing bandara yang kemudian akan dirata – rata untuk memperoleh persentase waste bandara dan kemudian dihitung standar deviasinya seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan waste material bandara

No	Nama Bangunan	Bentang (m)	Panjang (m)	Radius (m)	Waste (%)
1	B1	50	60	52	6.75
2	B2	52	70	53	9.35
3	B3	55	60	57	13.09
4	B4	60	70	61	14.18
5	B5	70	60	72	14.32
6	B6	72	80	74	14.35
7	B7	75	80	78	14.48
8	B8	80	82	83	14.53
9	B9	85	90	88	15.17
10	B10	90	90	92	22.31

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa persentase waste material untuk bandara rata – rata sebesar 13.85 % dengan standard deviasi sebesar 3.82 %. Pada Bandara B1 dan B2 waste berada di bawah 10 % karena bandara B1 dan B2 tidak berbentuk atap lengkung sedangkan pada Bandara B3 – B10 waste berada di atas 10 % mencapai 22 %. Faktor penyebab dari perbedaan nilai waste untuk bandara tersebut antara lain bentuk bangunan yang melengkung dan bentang bangunan. Kemudian akan diuji korelasi dengan metode Pearson menggunakan SPSS v.19 untuk beberapa faktor seperti bentang bandara, panjang bandara, radius atap bandara.

4.4 Perhitungan waste jembatan

Dari 8 sampel bangunan jembatan yang di hitung persentase waste materialnya, kemudian dibuat rekapitulasi perhitungan waste material jembatan untuk semua bangunan jembatan yang meliputi data bentang jembatan, lebar jembatan, dan hasil perhitungan waste untuk masing – masing jembatan yang kemudian akan dirata – rata untuk memperoleh persentase waste jembatan dan kemudian dihitung standar deviasinya seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi perhitungan waste material jembatan

Nama Bangunan	Lebar (m)	Bentang (m)	Rasio Bentang / Lebar	Waste (%)
J1	5	30	6.00	14.02
J2	7	15	2.14	15.47
J3	7	25	3.57	15.98
J4	7	30	4.29	16.57
J5	7	20	2.86	19.50
J6	9	15	1.67	19.69
J7	9	20	2.22	19.74
J8	9	30	3.33	19.80

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa persentase waste material untuk jembatan rata – rata sebesar 17.60 % dengan standar deviasi sebesar 3.55 %. Hal ini cukup jauh dari estimasi waste material pada umumnya yang hanya 5 – 10 %. Kemudian akan diuji korelasi dengan metode Pearson menggunakan SPSS v.19 untuk beberapa faktor seperti bentang jembatan dan lebar jembatan.

4.5 Faktor penyebab waste

4.5.1 Faktor penyebab waste tower

Tinggi tower

Faktor tinggi tower diuji dengan SPSS menggunakan analisa korelasi untuk mengetahui adanya pengaruh tinggi tower terhadap besarnya persentase waste tower. Hasil pengujian korelasi menunjukkan bahwa tinggi tower mempengaruhi waste tower dengan angka korelasi $0.765 > 0.5$.

4.5.2 Faktor penyebab waste gudang

Bentang gudang

Faktor bentang gudang diuji dengan SPSS menggunakan analisa korelasi untuk mengetahui adanya pengaruh bentang gudang terhadap besarnya persentase waste gudang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai korelasi sebesar 0.965 diatas 0.5 sehingga panjang gudang signifikan mempengaruhi waste gudang

Panjang gudang

Faktor panjang gudang diuji dengan SPSS menggunakan analisa korelasi untuk mengetahui adanya pengaruh panjang gudang terhadap besarnya persentase waste gudang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai korelasi sebesar 0.976 sehingga di atas 0.5 menunjukkan bahwa panjang gudang mempengaruhi waste gudang.

Sudut kemiringan gudang

Berdasarkan pengujian korelasi menggunakan SPSS untuk faktor sudut kemiringan terhadap persentase waste diperoleh hasil bahwa sudut kemiringan merupakan faktor penyebab waste pada gudang dengan nilai signifikansi sebesar 0.797.

4.5.3 Faktor penyebab *waste* bandara

Bentang bandara

Faktor bentang bandara diuji dengan SPSS menggunakan analisa korelasi untuk mengetahui adanya pengaruh bentang bandara terhadap besarnya persentase *waste* bandara. Hasil pengujian sebesar 0.843 di atas 0.5 sehingga signifikan dan menunjukkan bahwa bentang bandara merupakan faktor penyebab *waste* dari bandara.

Radius bandara

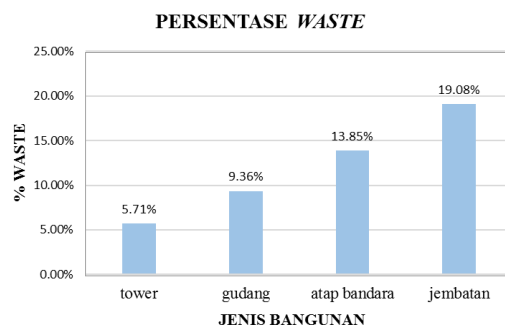
Berdasarkan pengujian korelasi menggunakan SPSS untuk faktor radius terhadap persentase *waste* memperoleh nilai Pearson sebesar 0,828 > 0,5, sehingga diperoleh hasil bahwa radius merupakan faktor penyebab *waste* pada bandara. Bandara merupakan bangunan dengan atap yang melengkung sehingga menggunakan profil pipa yang dapat ditebuk sesuai radius tertentu sehingga hal ini menyebabkan *waste* pipa menjadi lebih besar.

4.5.4 Faktor penyebab *waste* jembatan

Bentang jembatan

Faktor bentang jembatan diuji dengan SPSS menggunakan analisa korelasi untuk mengetahui adanya pengaruh bentang jembatan terhadap besarnya persentase *waste* jembatan. Hasil pengujian menunjukkan nilai Pearson 0,802 lebih besar dari 0,5, sehingga bentang jembatan merupakan faktor penyebab *waste* jembatan.

4.6 Rekapitulasi perhitungan *waste* tiap jenis bangunan



Gambar 5. Persentase *waste* jenis bangunan

Berdasarkan hasil analisa data perhitungan *waste* untuk 4 jenis konstruksi baja yang dapat dilihat pada Gambar 5, hasil yang diperoleh adalah *waste* untuk gudang yang menggunakan profil WF adalah 9.36 %, *waste* untuk tower transmisi yang menggunakan profil siku adalah 5.71 %, *waste* untuk atap bandara yang menggunakan profil pipa adalah 13.85 %, sedangkan yang paling tinggi adalah *waste* untuk jembatan yang menggunakan profil plat yang telah di las menjadi *welded beam* adalah sebesar 19.08%.

5. KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian untuk 4 jenis konstruksi baja, *waste* untuk gudang yang menggunakan profil WF adalah 9.36 %, *waste* untuk tower transmisi yang menggunakan profil siku adalah 5.71 %, *waste* untuk atap bandara yang menggunakan profil pipa adalah 13.85 %, sedangkan yang paling tinggi adalah *waste* untuk jembatan yang menggunakan profil plat yang telah di las menjadi *welded beam* adalah sebesar 19.08%.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Telah didapati bahwa estimasi persentase *waste* untuk masing-masing jenis struktur baja tidak sama.
2. Jenis struktur baja yang persentase *waste* nya masih di bawah 10 % adalah tower dan gudang. Sedangkan untuk bangunan atap bandara dan jembatan lebih dari 10%
3. Perbedaan besarnya *waste* dalam penelitian ini dipengaruhi oleh dimensi bangunan antara lain tinggi bangunan, panjang bangunan, dan bentang bangunan. Hal ini ditunjukkan melalui nilai Pearson > 0,5.

Tower : Tinggi Tower (0,765 > 0,5)

Gudang : Bentang gudang (0,965 > 0,5)

Panjang gudang (0,976 > 0,5)

Sudut kemiringan gudang (0,797 > 0,5)

Bandara : Bentang bandara (0,843 > 0,5)

Radius kelengkungan (0,828 > 0,5)

Jembatan : Bentang jembatan (0,802 > 0,5)

5.2 Saran

Dalam pemanfaatan penelitian ini, perlu diperhatikan bahwa :

1. Persentase *waste* diperoleh dengan menggunakan perhitungan program tiga dimensi BIM
2. Faktor penyebab yang timbul hanya dalam proses desain dan untuk estimasi tahap penawaran saja, tidak termasuk faktor kesalahan pelaksanaan di lapangan.
3. Pengamatan hanya pada perusahaan EPC yang berarti sifatnya *design & built*.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, dapat dilakukan beberapa pengembangan sebagai berikut :

1. Memperluas ruang lingkup pada faktor penyebab menjadi tidak terbatas pada faktor desain.

2. Memperluas data penelitian pada proses perhitungan *waste* dan pemotongan material secara manual.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, M. A., 2012, *Analisa dan evaluasi sisa material konstruksi pada pembangunan gedung bertingkat rendah di Makassar*, Prosiding hasil penelitian fakultas teknik, Vol. 6, pp. 1-4.
- Formoso, C. T., Asatto, E. I. and Hirota, 1999, *Method for waste control in the building industry*, Proceedings IGLC-7, pp. 325-334.
- Gavilan, R. M., dan Bernold, L. E., 1994, *Source evaluation of solid waste in building construction*.
- Gunadhi, Margriet., 2003, *Sistem Perencanaan dan Pengendalian Kualitas Fabrikasi Komponen Struktur Baja*. Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Poon, C. S., Yu, A. T. W, Wong, S.W., Cheung, Esther, 2004, *Management of construction waste in public housing projects in Hongkong* Environmental Protection Agency.
- Schfly, Thomas., 1998, *Fabrication and Steel Structure*. AISC.