

TUGAS AKHIR

ESTIMASI INDEKS WASTE MATERIAL KONSTRUKSI UNTUK PROYEK BANGUNAN DI INDONESIA (STUDI KASUS: PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FRC, UNIVERSITAS GADJAH MADA)

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Teknik Sipil**



AGASTYA FAUZAN SEPTIANUGRAHA

17 511 228

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2020**

TUGAS AKHIR**ESTIMASI INDEKS WASTE MATERIAL
KONSTRUKSI UNTUK PROYEK BANGUNAN DI
INDONESIA
(STUDI KASUS: PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG
FRC, UNIVERSITAS GADJAH MADA)**

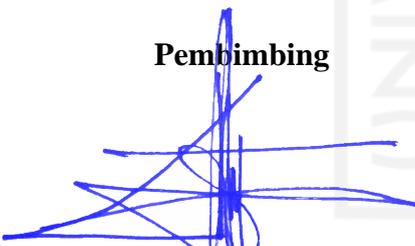
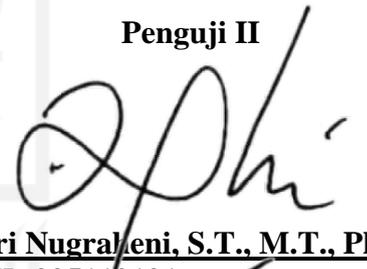
Disusun oleh

**Agastya Fauzan Septianugraha
17511228**Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh serajat Sarjana Teknik SipilDiuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

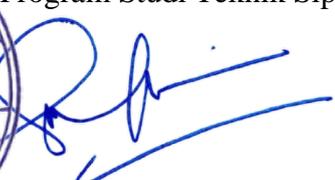
Penguji II


Setya Winarno, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 945110101
Albani Musyafa', S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 955110102
Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 005110101

Mengesahkan,



Ketua Program Studi Teknik Sipil


Dr. I. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh Laporan Tugas Akhir ini bukan karya saya sendiri, atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, September 2021

Yang membuat pernyataan,



Agastya Fauzan Septianugraha
(17511228)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarokaatuh.

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wata'ala atas kehadirat-Nya dan rahmat-Nya yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk dapat melaksanakan dan mengerjakan proses Tugas Akhir saya dengan judul **“Estimasi Indeks Waste Material Konstruksi untuk Bangunan Gedung di Indonesia”**.

Shalawat serta salam kita haturkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat yang telah membawa zaman jahiliyah ke zaman yang terang benderang seperti sekarang.

Laporan Tugas Akhir ini bertujuan untuk melengkapi syarat yang ada dalam program Strata 1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Dalam melaksanakan dan menyusun laporan, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan dorongan semangat dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Sri Amini Yuni Astuti, Dr. Ir. M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Setya Winarno, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberikan saran, serta memberikan tambahan ilmu selama penyusunan Tugas Akhir ini,
3. Bapak Albani Musyafa', S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji I yang telah meluangkan waktunya untuk menguji saya,
4. Ibu Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D. selaku penguji II yang telah meluangkan waktunya untuk menguji saya,
5. Bapak, Ibu, dan Kakak yang selalu memberikan do'a dan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar, laboran, asisten, dan karyawan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan memfasilitasi kegiatan belajar selama masa kuliah.

Akhir kata, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca.

Wassalamu 'alaikum Warrohmatullahi Wabarokaatuh.

Yogyakarta, September 2021

Penulis,

Agastya Fauzan Septianugraha
(17511228)



DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.1.1 Indeks Waste Konstruksi di China	6
2.1.2 Jumlah Material Waste di Brazil	7
2.1.3 Construction Waste di Belanda	7
2.1.4 Estimasi Waste Konstruksi di USA	8
2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan	8

BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 Proyek Konstruksi	16
3.2 Manajemen Proyek Konstruksi	18
3.3 <i>Lean Construction</i>	20
3.3.1 Sejarah <i>Lean Construction</i>	20
3.3.2 Definisi <i>Lean Construction</i>	21
3.3.3 Prinsip <i>Lean Construction</i>	21
3.4 Waste Material	23
3.5 Waste Generation per Floor Area (WGA) dan Gross Floor Area (GFA)	26
3.6 Material Waste Ratio (MWR)	27
3.7 Perhitungan Waste Generation per Groos Floor Area (WGA) dan Material Waste Ratio (MWR)	27
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	29
4.1 Lokasi Penelitian	29
4.2 Studi Literatur	30
4.3 Objek Penelitian	30
4.4 Pengumpulan Data	30
4.4.1 Observasi Material Utama yang Digunakan di Proyek	31
4.4.2 Observasi Data Dokumen Pengadaan dan Waste	31
4.4.3 Menghitung Nilai Rasio Waste Material (MWR) dan Waste Berkuantitas Kecil (Wo)	32
4.5 Menghitung Nilai Total WGA dan Nilai WGA Setiap Tipe Material	33
4.6 Bagan Alir Penelitian	33
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	35
5.1 Studi Kasus	35
5.2 Nilai MWR dan WGA setiap Material	43
5.2.1 Beton <i>Ready Mix</i>	43
5.2.2 Tripleks Bekisting	46
5.2.3 Besi Tulangan (<i>Reinforcement</i>)	49

5.2.4	Bata Ringan/Hebel	51
5.2.5	Semen Mortar	53
5.2.6	Keramik (<i>Tile</i>)	56
5.3	Membandingkan Total MWR dan WGA dengan Data Empiris di China	58
5.4	Membandingkan WGA dan MWR dengan Negara Lain	60
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		64
6.1	Kesimpulan	64
6.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		67



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Sekarang	9
Tabel 4.1	Material Utama dalam Konstruksi Bangunan Bertingkat	31
Tabel 5.1	Data Pengadaan & Sisa Material Besi Beton	39
Tabel 5.2	Data Pengadaan & Sisa Material <i>Ready Mix</i>	40
Tabel 5.3	Data Pengadaan & Sisa Material Tripleks Bekisting	41
Tabel 5.4	Data Pengadaan & Sisa Material Bata Ringan	41
Tabel 5.5	Data Pengadaan & Sisa Material Mortar	42
Tabel 5.6	Data Pengadaan & Sisa Material Keramik	42
Tabel 5.7	MWR dan WGA Material <i>Concrete Ready Mix</i>	43
Tabel 5.8	MWR dan WGA Material Tripleks Bekisting	46
Tabel 5.9	MWR dan WGA Material Besi Beton	49
Tabel 5.10	MWR dan WGA Material Bata Ringan	51
Tabel 5.11	MWR dan WGA Material Mortar	54
Tabel 5.12	MWR dan WGA Material Keramik	56
Tabel 5.13	Hasil Perhitungan WGA dan MWR Studi Ini	58
Tabel 5.14	Hasil WGA dan MWR di China	59
Tabel 5.15	WGA Struktur Bangunan dari Negara Lain	60
Tabel 5.16	MWR Struktur Bangunan dari Negara Lain	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Hubungan <i>Triple Constraint</i>	17
Gambar 3.2	Asal mula konsep <i>lean production</i>	20
Gambar 3.3	Prinsip <i>Lean Construction</i>	22
Gambar 4.1	Denah Lokasi Penelitian	29
Gambar 4.2	Bagan Alir Penelitian	34
Gambar 5.1	Proyek Pembangunan Gedung FRC UGM	35
Gambar 5.2	Data Pengadaan dan <i>Waste Material Ready Mix</i>	36
Gambar 5.3	Data Pengadaan dan <i>Waste Material Besi Beton</i>	37
Gambar 5.4	Data Pengadaan dan <i>Waste Material Tripleks Bekisting</i>	37
Gambar 5.5	Data Pengadaan dan <i>Waste Material Bata Ringan</i>	34
Gambar 5.6	Data Pengadaan dan <i>Waste Material Mortar</i>	38
Gambar 5.7	Data Pengadaan dan <i>Waste Material Keramik</i>	39
Gambar 5.8	Perbandingan WGA dan MWR pada Beton <i>Ready Mix</i>	44
Gambar 5.9	Proses Pengecoran Kolom	45
Gambar 5.10	Uji Slump Beton	46
Gambar 5.11	Perbandingan WGA dan MWR pada Tripleks Bekisting	47
Gambar 5.12	Penyimpanan Tripleks Bekisting	48
Gambar 5.13	Perbandingan WGA dan MWR Besi Tulangan	49
Gambar 5.14	Proses Pembesian Ring Beam	50
Gambar 5.15	Penyimpanan Besi	51
Gambar 5.16	Perbandingan WGA dan MWR Bata Ringan	52
Gambar 5.17	Penyimpanan Bata Ringan	53
Gambar 5.18	Proses Pemasangan Bata Ringan	53
Gambar 5.19	Perbandingan WGA dan MWR Mortar	54
Gambar 5.20	Proses Plester Dinding Selatan	55
Gambar 5.21	Proses Plester Dinding Utara	55
Gambar 5.22	Perbandingan WGA dan MWR Keramik	57
Gambar 5.23	Proses Pemasangan Keramik	58

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar L-1.1 <i>Purchasing Order</i> Material Besi Beton	72
Gambar L-1.2 <i>Purchasing Order</i> Material Besi Beton	73
Gambar L-1.3 <i>Purchasing Order</i> Material Besi Beton	74
Gambar L-1.4 <i>Purchasing Order</i> Material Tripleks Bekisting	75
Gambar L-1.5 <i>Purchasing Order</i> Material <i>Ready Mix</i>	76
Gambar L-1.6 <i>Purchasing Order</i> Material Bata Ringan	77
Gambar L-1.7 <i>Purchasing Order</i> Material Keramik	78
Gambar L-1.8 <i>Purchasing Order</i> Material Mortar	79
Gambar L-1.9 <i>Purchasing Order</i> Material <i>Ready Mix</i>	80

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

WGA = *Waste Generated per Floor Area*

MWR = *Material Waste Rate*

WG = *Waste Generated*

GFA = *Gross Floor Area*

PT = *Perseroan Terbatas*



ABSTRAK

Perkembangan industri konstruksi di Indonesia berkembang cepat dan pesat seiring dengan perkembangan metode pelaksanaan yang semakin inovatif. Namun dalam pelaksanaannya sulit untuk menghindari munculnya *waste material* yang bersifat tidak menambah nilai (*non-value added*). Oleh karena itu diperlukan suatu estimasi indeks *waste material* sebagai alat untuk mengontrol dan meminimalisir terjadinya *waste*. Indeks *waste material* ini dapat dijadikan tolak ukur untuk meningkatkan kinerja industri konstruksi yang berkelanjutan.

Penelitian ini dilakukan di proyek gedung 4 lantai di Yogyakarta dengan material utama yang akan diteliti adalah material besi, *ready mix*, tripleks bekisting, bata ringan, mortar, dan keramik. Selanjutnya data dari dokumen pengadaan digunakan untuk menghitung *waste generation per floor area* (WGA) dan nilai *material waste rate* (MWR). Kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan data *waste* dari *Shenzhen Construction Norm* dan data penelitian dari negara lain.

Didapatkan nilai rata-rata WGA dan MWR material besi tulangan sebesar 0.034 kg/m² dan 0.296%, material *ready mix* sebesar 0.38 kg/m² dan 0.986%, material tripleks bekisting sebesar 0.008 kg/m² dan 1.72%, material bata ringan sebesar 0.01 kg/m² dan 1.12%, material mortar sebesar 0.028 kg/m² dan 2.13%, material keramik sebesar 0.02 kg/m² dan 1.34%. Dari hasil tersebut dibandingkan dengan data *waste* di China dan didapatkan *waste ready mix* dan besi berada diatas rentang normal *waste* di China. Untuk perbandingan dengan negara lain WGA dan MWR pada studi ini lebih rendah dari data penelitian *waste* negara lain.

Kata kunci: *waste material*, estimasi indeks, WGA, MWR.

ABSTRACT

The development of the construction industry in Indonesia is growing rapidly along with the development of increasingly innovative implementation methods. However, in practice it is difficult to avoid the emergence of non-value added material waste. Therefore, it is necessary to estimate the material waste index as a tool to control and minimize the occurrence of waste. This material waste index can be used as a benchmark to improve the performance of a sustainable construction industry.

This research was conducted in a 4-storey building project in Yogyakarta with the main materials to be studied were steel bar, ready mix, formwork plywood, light brick, mortar, and ceramics. Furthermore, the data from the procurement document is used to calculate the waste generation per floor area (WGA) and the value of the material waste rate (MWR). Then these results are compared with waste data from the Shenzhen Construction Norm and research data from other countries.

The average WGA and MWR values for steel bar materials are 0.034 kg/m² and 0.296%, ready mix materials are 0.38 kg/m² and 0.986%, formwork plywood materials are 0.008 kg/m² and 1.72%, light brick materials are 0.01 kg/m². m² and 1.12%, mortar material at 0.028 kg/m² and 2.13%, ceramic material at 0.02 kg/m² and 1.34%. From these results, it is compared with waste data in China and it is found that ready mix waste and steel bar are above the normal waste range in China. For comparison with other countries WGA and MWR in this study are lower than waste research data from other countries.

Keywords: waste material, index estimation, WGA, MWR.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan penduduk terbanyak keempat di dunia dengan jumlah penduduk 267,7 juta dan laju pertumbuhan 1,1% per tahun (BPS, 2018). Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, maka pemerintah melakukan pembangunan di sektor infrastruktur guna melayani kebutuhan masyarakat. Tercatat sebanyak 160.576 perusahaan dengan rincian perusahaan konstruksi berskala kecil sebanyak 130.771 perusahaan, perusahaan berskala menengah sebanyak 28.254 perusahaan, dan perusahaan berskala besar sebanyak 1.551 perusahaan (BPS, 2018).

Perkembangan konstruksi di Indonesia yang semakin pesat, membuat perkembangan metode konstruksi pelaksanaan yang digunakan juga semakin inovatif. Teknologi dan inovasi-inovasi baru di setiap pelaksanaan struktur bangunan selalu bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, baik efisiensi material, biaya, dan waktu. Namun realitanya, pelaksanaan proyek konstruksi sulit untuk menghindari munculnya *waste* material. Istilah *waste* pada proyek konstruksi mirip dengan arti 'sampah' yang berarti limbah atau sisa yang bersifat merugikan pelaksanaan proyek.

Upaya dalam tahapan manajemen konstruksi dalam rangka mendesain suatu sistem produksi yang dapat meminimalisasi pemborosan (*waste*) dari pemakaian sumberdaya (termasuk material) dalam rangka menghasilkan jumlah nilai yang maksimum dikenal dengan istilah *lean construction* atau konstruksi ramping. Konsep ini berfokus untuk menambah nilai (*value*) dari sebuah produk konstruksi dengan meminimalisasi segala jenis pemborosan (*waste*) yang tidak menambah nilai (*non-value added*).

Dalam *lean construction*, limbah konstruksi dan pembongkaran (*waste construction and demolition*) sudah menjadi isu penting karena efek yang

merugikan baik dari segi efisiensi biaya maupun dari segi lingkungan. Sudah banyak negara yang mengembangkan dan menerapkan berbagai peraturan untuk meminimalkan *waste material* dalam upaya melindungi dan meningkatkan industri konstruksi yang berkelanjutan. Di Inggris, setiap bentuk proyek Rumah Berkelanjutan mewajibkan untuk meminimalisasi limbah di lokasi proyek, pemilahan, dan daur ulang (United Kingdom Government – Department for Communities and Local Government, 2006). Di Hong Kong, sejak 2003 pemerintah mewajibkan seluruh proyek konstruksi harus menerapkan *waste management plan* untuk mengontrol dan mengendalikan limbah konstruksi (Tam dan Tam, 2008).

Namun dalam pelaksanaannya, penerapan pengelolaan dan membuat komposisi limbah konstruksi perlu pemahaman yang lebih lanjut (Cochran dan Townsend, 2010). Sebagai contoh dalam penerapan *waste management plan*, kontraktor harus dapat mengestimasi jumlah total limbah konstruksi yang dihasilkan dan memperkirakan komponen material utama yang akan diminimalisir limbahnya, didaur ulang, dan digunakan kembali.

Banyak peneliti yang menyadari akan pentingnya penanganan *waste material* dan berkonsentrasi untuk menghitung *waste material* di berbagai negara (Llatas, 2011). Studi tentang *waste material* dibagi dalam 2 kategori, pertama adalah studi tentang perhitungan seluruh *waste material* dalam suatu wilayah (seperti Bergsdal dkk., 2007; Cochran dkk., 2007; Franklin Associates, 1998; Kofoworola dan Gheewala, 2009; Yost dan Halstead, 1996). Kedua adalah studi perhitungan indeks limbah konstruksi (*waste generation index*) di lokasi proyek (seperti Bossink dan Brouwers, 1996; Formoso dkk., 2002; Poon dkk., 2004; Skoyles, 1976).

Indeks *waste material* merupakan sebuah metode awal yang berguna dalam pengelolaan *waste management*. Metode ini dapat diterapkan untuk memprediksi jumlah *waste material* yang dihasilkan dalam proyek dan untuk membantu *stakeholder* dalam menyiapkan rencana pengelolaan limbah konstruksi. Perbandingan indeks *waste material* dengan proyek lain dapat dipakai untuk membantu dalam pengambilan keputusan kinerja pengelolaan *waste material* yang berkelanjutan. Selain itu, jumlah *waste material* di suatu wilayah atau negara dapat

diperkirakan dengan perbandingan indeks dan area konstruksi (Cochran dkk., 2007).

Namun, keterlibatan pengelolaan *waste* material di Indonesia masih cukup diabaikan. Kurangnya kesadaran dan wawasan pentingnya konstruksi berkelanjutan (*sustainable construction*) menyebabkan minimnya data jumlah limbah konstruksi baik pada tingkat makro maupun mikro. Dalam penelitian Lu (1999) didapatkan nilai indeks *waste* material sebesar 50-60 kg/m². Nilai tersebut hanya berdasarkan estimasi empiris tanpa adanya rincian yang diinterpretasikan. Nilai indeks limbah konstruksi dapat bervariasi tergantung dari jenis bangunan, jenis struktur bangunan, teknologi konstruksi yang digunakan, dan terutama tingkat pengelolaan *waste* material (Li dkk., 2010). Secara khusus, praktik umum industri konstruksi di Indonesia mungkin tidak sepenuhnya mirip dengan kondisi ekonomi di negara lain. Oleh karena itu pengukuran pendekatan indeks limbah konstruksi untuk industri konstruksi di Indonesia harus dikaji lebih lanjut.

Melihat situasi tersebut di atas, hal ini sangat mendesak untuk dikaji lebih detail dalam perhitungan indeks *waste* material konstruksi pada proyek bangunan di Indonesia yang disusun secara praktis dan sederhana. Studi kasus penelitian dilakukan di proyek Gedung FRC, Universitas Gadjah Mada. Jenis struktur bangunan gedung pada proyek ini hampir memiliki tipikal yang sama dengan jenis struktur bangunan gedung yang mayoritas ada di Indonesia yaitu menggunakan jenis struktur beton bertulang. Proyek tersebut dibangun oleh PT Pembangunan Perumahan, salah satu kontraktor yang dalam pelaksanaannya memperhatikan *waste* material dari setiap pengadaannya sehingga ketersediaan data *waste* material pada proyek ini menjadi faktor utama pemilihan lokasi tersebut untuk dikaji dalam penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan di atas rumusan masalahnya adalah sebagai berikut.

1. Berapa *waste* per luas lantai (WGA) yang dihasilkan pada proyek pembangunan Gedung FRC Universitas Gadjah Mada?

2. Berapa rasio *waste material* (MWR) pada proyek pembangunan di Indonesia Gedung FRC Universitas Gadjah Mada?
3. Bagaimana perbandingan *waste per luas lantai* (WGA) dan rasio *waste material* pada proyek pembangunan Gedung FRC Universitas Gadjah Mada dengan negara lain?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi *waste per luas lantai* (WGA) yang dihasilkan pada proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada.
2. Mengidentifikasi rasio *waste material* (MWR) pada proyek pembangunan Gedung FRC Universitas Gadjah Mada.
3. Mengetahui perbandingan *waste index* (WGA) dan rasio *waste material* (MWR) proyek pembangunan Gedung FRC Universitas Gadjah Mada dengan negara lain.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian, maka diharapkan penelitian ini dapat memberi manfaat sebagai berikut.

1. Pihak kontraktor dapat menambah wawasan dan pengetahuan terkait perhitungan indeks *waste* dalam suatu proyek konstruksi dalam rangka mengoptimalkan keuntungannya
2. Pihak pemilik proyek dapat menjadikan referensi dalam menentukan MWR suatu proyek untuk meminimalisir *waste*
3. Pihak pemerintah dapat menyusun referensi untuk membentuk suatu peraturan indeks *waste* proyek konstruksi di Indonesia
4. Pihak *stakeholders* pada umumnya dapat menjadikan sebagai alat pengendali dan penentuan kebijakan yang tepat untuk mengendalikan *waste* proyek
5. Pihak peneliti dapat memberikan referensi dan membuka wawasan baru bagi penelitian-penelitian sejenis di masa mendatang

1.5 Batasan Penelitian

Adapun dalam penelitian Tugas Akhir ini dibatasi dengan hal-hal sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan Gedung FRC Universitas Gadjah Mada dengan alamat di Jalan Terbah, Wates, Kecamatan Wates, Kulon Progo, Yogyakarta
2. Penelitian ini dilakukan hanya pada material utama yaitu beton, besi beton, bata ringan, triplek bekisting, mortar, dan keramik
3. Penelitian ini tidak membahas upah kerja, analisis waktu, dan analisis biaya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait analisis limbah konstruksi, termasuk yang dikaitkan dengan penerapan *lean construction* telah dilakukan. Uraian-uraian berikut adalah hasil penelitiannya.

2.1.1 Indeks Waste Konstruksi di China

Li dkk. (2013) melakukan penelitian indeks *waste*, komposisi material, dan penyebab *waste* konstruksi di China. Penelitian ini dilakukan di bangunan tahap konstruksi. Tujuan dari hasil penelitian ini adalah mengetahui nilai indeks *waste* yang dihasilkan dari proyek tersebut. Hasil penelitiannya adalah sebagai berikut

- a. Perhitungan *waste* konstruksi berdasarkan estimasi presentase *waste* oleh manajer proyek dan wawancara dengan kontraktor terkait penanganan limbah konstruksi
- b. Nilai WGA pada proyek tersebut adalah 40,7 kg/m². WGA didefinisikan perbandingan antara berat komponen *waste* konstruksi (W) dengan total luas kotor area lantai (GFA)
- c. Beton, besi, bekisting, mortar, keramik dan batu bata adalah komponen utama penghasil *waste* konstruksi.

2.1.2 Jumlah *Material Waste* di Brazil

Formoso dkk. (2002) melakukan penelitian limbah konstruksi yang dihasilkan dari proyek bangunan gedung di Brazil. Penelitian ini dilakukan di 74 lokasi proyek bangunan di Brazil. Hasil penelitiannya adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian dilakukan dalam rentang 3 bulan dan observasi langsung ke lokasi proyek dengan meninjau material-material seperti *premixed concrete*, besi, semen, tanah urugan dan galian, mortar, keramik, dan material spesifik lainnya
- b. Perhitungan *waste* dirumuskan dari perbandingan material yang dibeli dengan material berdasarkan desain. Dari sini akan didapatkan material aktual yang terpasang dan didapatkan nilai *waste* dari setiap material.
- c. Didapatkan hasil bahwa limbah konstruksi di Brazil masih cukup tinggi dengan penyumbang limbah terbesar adalah potongan besi. Penanganan limbah konstruksi dilakukan dengan tindakan pencegahan yang ekonomis dan perbaikan manajerial.

2.1.3 *Construction Waste* di Belanda

Bossink dan Brouwers (1996) melakukan penelitian mengenai limbah konstruksi yang ada di Belanda. Penelitian ini didasarkan kebijakan pemerintah Belanda dalam menerapkan kebijakan *sustainability building* pada setiap proyek konstruksi. Selanjutnya melakukan observasi langsung dan wawancara dengan pihak proyek terkait *waste* material yang dihasilkan dan penanganan *waste* konstruksi. Hasil penelitiannya adalah sebagai berikut:

- a. Metode penelitian yang digunakan mendata berat *waste* dari setiap material yang didapatkan dengan observasi dengan pihak proyek dan menimbang *waste* secara langsung.
- b. Jumlah *waste* material dibandingkan dengan jumlah berat material yang dibeli (*purchased materials*).
- c. Didapatkan bahwa rasio *waste* (WGR) di Belanda adalah 1-10% dari berat material konstruksi yang dibeli.

2.1.4 Estimasi Waste Konstruksi di USA

Bakchan dan Faust (2019) melakukan penelitian terkait *construction waste* (CW) di USA. Penelitian ini melakukan perhitungan CW berdasarkan 535 tiket pengangkutan material di lokasi proyek. Kemudian dari data tersebut diolah dan dianalisa berdasarkan setiap tahapan pekerjaan dan setiap tipe material. Berikut hasil penelitiannya:

- a. Penelitian dilakukan dengan investigasi tiket pengangkutan material di lokasi proyek dan prosedur praktek manajemennya
- b. Didapatkan *waste* berdasarkan tahapan pekerjaan yaitu 46% pada pekerjaan pondasi dan 88% pada pekerjaan struktur beton
- c. Berdasarkan tipe materialnya yaitu beton/mortar dan kayu menghasilkan *waste* sebesar 33,61 kg/m² dan 28,21 kg/m²

2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan

Pada penelitian sekarang peneliti mengambil lokasi penelitian pada proyek Gedung FRC, UGM. Metode penelitian yang digunakan untuk menganalisis *waste material* adalah menggunakan estimasi *waste index* dengan pendekatan *waste* yang dihasilkan dari setiap luas area lantai (WGA) dan rasio *waste* setiap material (MWR). Dalam menentukan material yang akan dianalisis, peneliti akan mengidentifikasi material utama yang digunakan dalam setiap pekerjaan struktur dan arsitektur. Setelah dilakukan identifikasi material, selanjutnya akan diidentifikasi jumlah setiap pengadaan material dan sisa material. Data yang diambil berasal dari dokumen proyek dan observasi langsung ke lapangan. Selanjutnya data akan dianalisa dan dibandingkan dengan kondisi di Negara China dan negara lain. Untuk melihat perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi	Topik Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
1.	Li dkk (2013)	<i>A Model for Estimating Construction Waste Generation Index for Building Project in China</i>	China	Mengidentifikasi indeks <i>waste material</i> berdasarkan estimasi manajer proyek	<p>1. Melakukan observasi ke lokasi proyek dan wawancara dengan manajer proyek</p> <p>2. Perhitungan <i>waste material</i> dengan rumus: $WGA = \frac{WG}{GFA}$</p> <p>3. Identifikasi penyebab <i>waste material</i> dengan wawancara dan observasi dengan pihak kontraktor.</p>	<p>1. WGA pada proyek tersebut adalah 40,7 kg/m²</p> <p>2. Penyumbang <i>waste material</i> terbesar adalah beton (<i>concrete</i>) sebesar 43,5%.</p> <p>3. Beton, besi, bekisting, mortar, keramik dan batu bata adalah komponen utama penghasil <i>waste</i> konstruksi</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi	Topik Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
2.	Formoso dkk (2002)	<i>Material Waste in Building Industry: Main Cause and Prevention</i>	Brazil	Mengidentifikasi persentase <i>waste</i> dan penyebab <i>waste</i> dari tiap jenis material berdasarkan berat material	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengidentifikasi material konstruksi yang digunakan proyek tersebut. 2. Mengidentifikasi jumlah keperluan material dan jumlah keperluan berdasarkan desain bangunan. 3. Mendata material yang dibeli, material yang sudah datang, dan material yang dipasang dalam rentan waktu tertentu. 4. Mengobservasi proses pengiriman material, <i>unloading</i> material, dan penyimpanan material. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Didapatkan penyumbang <i>waste</i> tertinggi adalah besi. 2. Penyebab umum dari tingginya nilai <i>waste</i> adalah manajerial di lokasi dalam penanganan <i>waste</i> yang masih kurang. 3. Penyebab <i>waste</i> lainnya adalah

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi	Topik Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
					<p>5. Mengobservasi proses pemasangan material</p> <p>6. Menghitung persentase <i>waste</i> tiap dengan rumus:</p> $\%Waste = \frac{[(M_{purchased} - Inv) - M_{designed}]}{M_{designed}}$	<p>dari proses pengiriman material, <i>internal transportation</i>, dan barang inventaris.</p> <p>4. Kurangnya kompetensi dan produktifitas pekerja juga menjadi penyebab timbulnya <i>waste</i>.</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi	Topik Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
3.	Bossink dan Brouwers (1996)	<i>Construction Waste: Quantification and Source Evaluation</i>	Belanda	Mengidentifikasi rasio <i>waste</i> sebuah proyek konstruksi di Belanda	1. Observasi dan menimbang <i>waste material</i> proyek 2. Membandingkan presentase rasio <i>waste</i> dengan jumlah berat material yang dibeli	1. Didapatkan presentase rasio <i>waste</i> adalah 1-10% dari berat material konstruksi yang dibeli

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi	Topik Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
4.	Bakchan dan Faust (2019)	<i>Construction Waste Generation Estimates of Institutional Building Projects: Leveraging Waste Hauling Tickets</i>	USA	Mengidentifikasi <i>construction waste</i> 535 tiket pengangkutan material di lokasi proyek	<ol style="list-style-type: none"> 1. Observasi ke lokasi proyek dan investigasi tiket pengangkutan material di lokasi proyek dan prosedur praktek manajemennya 2. Menganalisa <i>waste</i> berdasarkan tipe material dan setiap tahapan pekerjaan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Didapatkan <i>waste</i> berdasarkan tahapan pekerjaan yaitu 46% pada pekerjaan pondasi dan 88% pada pekerjaan struktur beton. 2. Berdasarkan tipe materialnya yaitu beton/mortar dan kayu menghasilkan <i>waste</i> sebesar 33,61 kg/m² dan 28,21 kg/m²

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian yang Dilakukan

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi	Topik Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
5.	Fauzan 2020	Estimasi Indeks <i>Waste</i> Konstruksi Untuk Proyek Bangunan di Indonesia	Indonesia	Identifikasi WGA dan MWR untuk mengestimasi indeks <i>waste</i> konstruksi bangunan di Indonesia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Observasi ke lokasi proyek. 2. Mengidentifikasi material utama dalam setiap pekerjaan struktur dan arsitektur. 3. Mengidentifikasi jumlah dari setiap pengadaan material (<i>purchasing order</i>) dan sisa material. 4. Menghitung nilai WGA dan MWR dari setiap material. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ditinjau dari WGA, material <i>ready mix</i> sebagai penyumbang <i>waste</i> terbesar dan material tripleks bekisting sebagai penyumbang <i>waste</i> terkecil. 2. Ditinjau dari MWR, material tripleks bekisting memiliki presentase <i>waste</i> terkecil dan material besi merupakan presentase <i>waste</i> terbesar.

Berdasarkan uraian Tabel 2.1, terdapat perbedaan yang kontras antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu. Pada penelitian ini meninjau *waste* material dari setiap data pengadaan material proyek. Kemudian data tersebut diolah berdasarkan rasio *waste* material (MWR) dan indeks *waste* material berdasarkan total luas area kotor proyek (WGA). Sehingga dari hasil olah data tersebut akan dapat mengetahui fluktuasi *waste* dari setiap pengadaan material dan total *waste* dari setiap material yang kemudian akan dibandingkan dengan kondisi di China dan kondisi di negara lain.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Proyek Konstruksi

Soeharto (1995) mengemukakan bahwa proyek konstruksi adalah suatu kegiatan sementara dalam rentang waktu terbatas dan jumlah sumber dana tertentu yang bertujuan untuk melaksanakan target yang telah disusun dengan tegas. Menurut Ervianto (2002) proyek konstruksi merupakan suatu susunan kegiatan dengan satu kali pelaksanaan yang bertujuan menghasilkan bangunan dengan proses pengolahan sumber daya proyek dan dilaksanakan dalam jangka waktu pendek.

Proyek yang dilakukan suatu organisasi bukanlah sebuah aktivitas rutin, melainkan aktivitas tidak rutin dalam jangka waktu tertentu yang memberikan efek pada organisasi yang bersangkutan dalam waktu jangka panjang. Terdapat tiga parameter penting bagi penyelenggara proyek untuk mencapai sasaran proyek yaitu biaya, mutu, dan waktu. Ketiga hal ini sering disebut sebagai kendala dalam suatu proyek (*triple constraint*). Berikut penjelasan dari *triple constraint*:

1. Waktu (*Timeline*)

Proyek dilaksanakan dalam satuan waktu sehingga waktu mulai dan waktu selesai proyek telah ditentukan. Dalam proyek terdapat kontrak proyek yang berisi perjanjian *owner* (pemilik) proyek dengan kontraktor sebagai pelaksana. Di dalam perjanjian tersebut akan terlampir kurun waktu untuk menyelesaikan proyek.

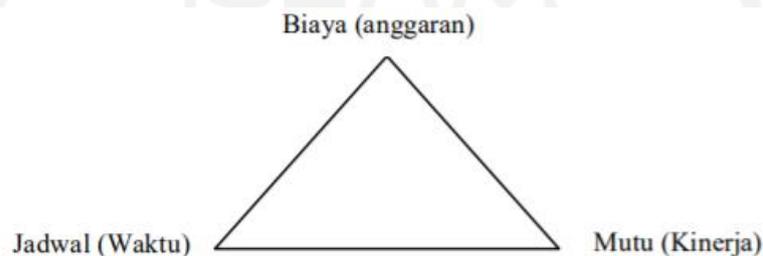
2. Biaya (*Cost*)

Proyek harus diselesaikan dengan biaya yang sudah tercantum dalam kontrak. Proyek dengan nilai yang besar akan memiliki target penyelesaian per periode. Dengan demikian, penyelesaian target pekerjaan harus sesuai dengan anggaran setiap periodenya.

3. Mutu (*Quality*)

Suatu proyek dalam melaksanakan proyek harus memiliki standar mutu dalam setiap komponen pekerjaan. Setiap mutu harus memenuhi sesuai standar perencanaan bangunan.

Ketiga batasan tersebut saling berhubungan. Sebagai contoh, jika ingin mempercepat pekerjaan mutu yang telah disepakati, maka harus meningkatkan biaya proyek begitu juga sebaliknya.



Gambar 3.1 Hubungan *Triple Constraint* (Soeharto 1997)

Jenis-jenis industri konstruksi berdasarkan jenis pekerjaan dan rancangannya dibagi menjadi empat bagian. Berdasarkan Barrie dan Paulson (1995) proyek konstruksi dibagi menjadi empat kategori utama, yaitu:

1. Konstruksi Gedung, meliputi bangunan sekolah dasar hingga bangunan universitas yang lengkap, bangunan rumah sakit, rumah ibadah, bangunan perkantoran komersil mulai dari bertingkat rendah hingga bertingkat tinggi, gedung pemerintah, gedung bioskop, gedung perhotelan, dan gedung pusat rekreasi
2. Konstruksi Infrastruktur, meliputi bangunan jembatan, terowongan, jaringan kereta api, bendungan, bandara, pelabuhan laut, jaringan distribusi air minum, jalur pipa, jaringan listrik, dan jaringan komunikasi.
3. Konstruksi Industri, meliputi bangunan pabrik kilang minyak bumi dan petrokimia, pabrik bahan bakar sintetik, dan pabrik industri berat.
4. Konstruksi Pemukiman, meliputi perumahan keluarga tunggal, perumahan kota, rumah susun, rumah pangsa bertaman, dan rumah pangsa yang diperlakukan sebagai rumah sendiri

3.2 Manajemen Proyek Konstruksi

Manajemen proyek konstruksi adalah merencanakan (*planning*), mengorganisasikan (*organizing*), memantau dan mengontrol (*monitoring and controlling*) segala aspek dalam proyek dengan motivasi untuk mencapai tujuan proyek dengan aman, tepat waktu, dan sesuai mutu serta anggaran biaya (Nijkrek, 2006).

Nurdin (2016) dalam *Project Management Institute* (2004) menjelaskan sembilan bidang dalam manajemen proyek dengan skema 9 *knowledge of management project*. Skema ini terdiri dari:

1. Manajemen integrasi proyek, merupakan tahap awal proyek yang diperlukan untuk mengkoordinasikan unsur perencanaan proyek secara efektif, terintegrasi, dan terpadu.
2. Manajemen ruang lingkup proyek, adalah bagian dari manajemen proyek yang diperlukan untuk memastikan proyek telah mencakup semua keperluan pekerjaan agar dapat menyelesaikan suatu proyek.
3. Manajemen waktu proyek, merupakan manajemen proyek yang menjelaskan proses waktu penyelesaian proyek secara tepat waktu. Manajemen ini terdiri definisi kegiatan, urutan kegiatan, pengendalian jadwal, pengembangan jadwal, dan perkiraan durasi kegiatan.
4. Manajemen biaya proyek, merupakan manajemen proyek yang menjelaskan bahwa anggaran biaya proyek sesuai dengan anggaran yang telah disepakati. Manajemen ini terdiri dari pengendalian biaya, perkiraan biaya, anggaran biaya, dan perencanaan sumber daya.
5. Manajemen mutu proyek, menjelaskan tahapan dan memberikan kepastian bahwa semua proses dilakukan secara efektif guna memenuhi parameter kualitas proyek. Manajemen ini terdiri dari perencanaan kualitas, pengendalian kualitas, dan jaminan kualitas.
6. Manajemen sumber daya manusia proyek, merupakan manajemen yang memastikan bahwa tenaga kerja yang terlibat digunakan secara efektif secara

menyeluruh di lingkungan proyek. Manajemen ini terdiri dari perencanaan organisasi, pengembangan tim, dan akuisisi staff.

7. Manajemen komunikasi proyek, merupakan manajemen yang menghubungkan antara *stakeholder* dan pengembang untuk keberhasilan proyek dan untuk menghindari konflik dalam proyek. Manajemen ini terdiri dari perencanaan komunikasi, distribusi informasi, pelaporan kinerja, dan pelaporan administrasi.
8. Manajemen risiko proyek, merupakan manajemen yang membantu meminimalisir risiko dengan cara mengidentifikasi, menganalisis, dan menanggapi risiko proyek secara aktif. Manajemen risiko terdiri dari risiko perencanaan manajemen, identifikasi risiko, analisis risiko kualitatif dan kuantitatif, dan pemantauan risiko serta pengendalian.
9. Manajemen pengadaan proyek, merupakan manajemen yang menjelaskan cakupan proses-proses yang dibutuhkan untuk perolehan barang dan jasa dalam lingkup proyek. Manajemen ini terdiri dari perencanaan pengadaan, perencanaan permohonan, pemilihan sumber, dan administrasi kontrak.

Menurut Ervianto (2004), manajemen proyek konstruksi adalah suatu bentuk kegiatan perencanaan, pelaksanaan, pengendalian, dan koordinasi suatu proyek dari awal (*ide*) hingga selesainya proyek untuk menjamin terlaksananya proyek secara tepat waktu, tepat biaya, dan tepat mutu. Manajemen proyek sangat diperlukan untuk mengelola proyek dari awal hingga selesainya proyek demi tercapainya tujuan proyek. Pada umumnya suatu proyek dikerjakan dalam batas waktu yang telah disepakati. Dalam hal ini, maka indikator keberhasilan suatu proyek adalah pengerjaan proyek yang selesai tepat waktu, tepat biaya, dan efisiensi kerja.

Efisiensi kerja yang dimaksud adalah dalam penggunaan sumber daya proyek (*man, machine, materials, method, money*) dilakukan secara produktif dan tidak menghasilkan *waste construction*. *Waste construction* muncul dari efek ketidakproduktifan dari penggunaan sumber daya proyek (*man, machine, materials, method, money*) yang dapat menyebabkan keterlambatan penyelesaian proyek dan kerugian biaya proyek. Dalam penerapannya, *waste construction* memang tidak dapat dihindari sehingga untuk meminimalisir *waste construction*

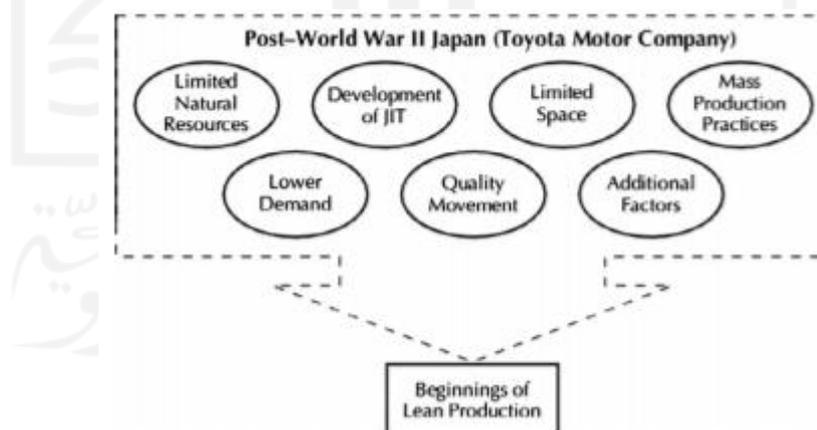
diperlukan penerapan prinsip *lean construction management* dalam setiap proyek konstruksi.

3.3 Lean Construction

3.3.1 Sejarah Lean Construction

Pada dasarnya, *lean construction* merupakan adaptasi dari prinsip-prinsip perusahaan manufaktur di Jepang dan diterapkan pada proyek konstruksi (Bertelsen, 2004) dalam Marhani (2013). Menurut Cullen dkk. (2005) dalam Marhani (2013), bahwa prinsip *lean construction* yang diadaptasi dari konsep *lean production* telah dikembangkan oleh *Toyota Motor Company* di Jepang sekitar awal tahun 1960 dibawah pimpinan Taiichi Ohno.

Satu prinsip utama dari prinsip "lean" dalam "*Toyota Production System*" yaitu menggolongkan kegiatan ke dalam 2 kategori yaitu kegiatan yang menambah nilai tambah (*value adding activities*) dan kegiatan yang tidak menambah nilai tambah (*non-value adding activities*). Menurut Murman dkk. (2002) dalam Marhani (2013), *lean production* memiliki prinsip-prinsip yaitu meminimalisasi limbah, tanggap terhadap perubahan, tepat waktu (*just in time*), hubungan yang efektif, pengendalian kualitas, dan peningkatan kualitas.



Gambar 3.2 Asal Mula Konsep *Lean Production* (Marhani, 2013)

3.3.2 Definisi *Lean Construction*

Berkembangnya *lean construction* memunculkan banyak evolusi metodologi *lean* serta keragamannya. Berikut definisi *lean construction* menurut beberapa ahli:

1. Menurut Koskela (1992) dalam Marhani (2012), *lean construction* merupakan sebuah keunggulan dalam filosofi produksi dalam meningkatkan produktifitas, kualitas, dan indikator baru.
2. Menurut Howel (1999) dalam Marhani (2012), *lean construction* merupakan kebutuhan pelanggan saat ini dengan menggunakan sumber daya yang lebih sedikit.
3. Menurut Lukowski (2010) dalam Marhani (2012), *lean construction* adalah penerapan praktis dari prinsip-prinsip *lean manufacturing* dan *lean thinking* dalam lingkup konstruksi.
4. Menurut Yahya dan Mohammad (2011) dalam Marhani (2012), *lean construction* adalah tentang bagaimana mengelola dan meningkatkan proses konstruksi untuk menghasilkan keuntungan, memberikan kebutuhan yang diinginkan konsumen, dan menghilangkan limbah konstruksi dengan menggunakan prinsip, sumber daya, dan tolak ukur yang tepat.

Dari keempat definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa *lean construction* merupakan suatu metode yang berkonsep dari *lean manufacturing* yang bertujuan untuk meminimalisir *waste*, waktu, dan aliran material dalam usaha mencapai kesempurnaan pelaksanaan proyek.

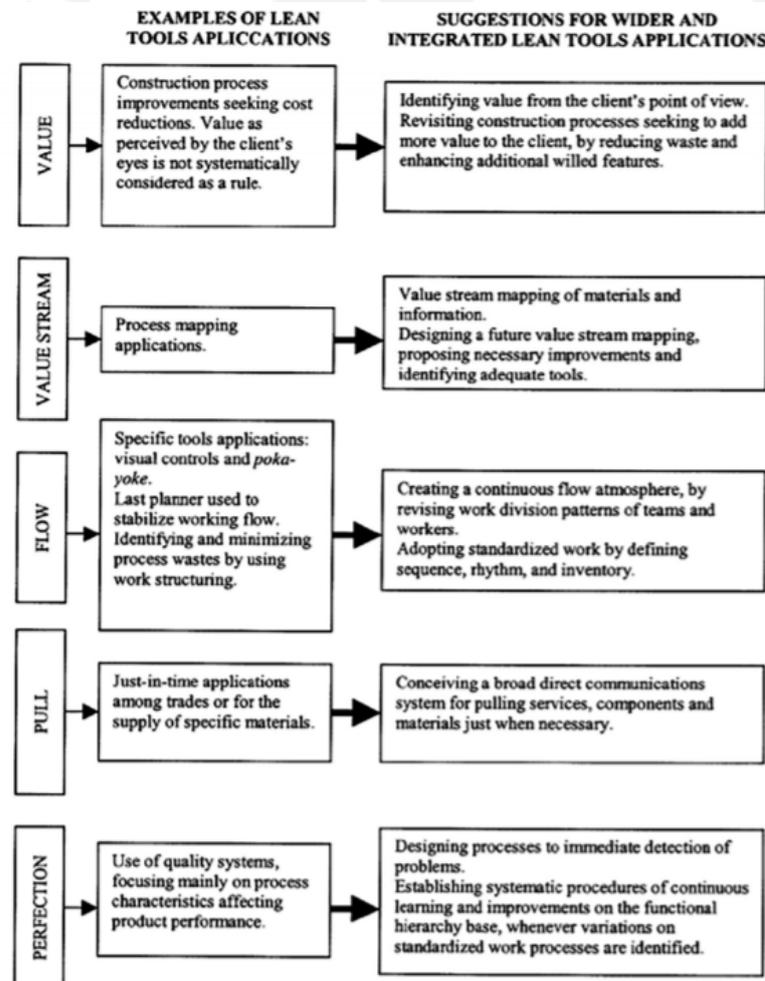
3.3.3 Prinsip *Lean Construction*

Menurut Womack dan Jones (1992) dalam Aziz (2013) terdapat 5 prinsip *lean construction* yaitu:

1. *Specify value*, merupakan identifikasi kebutuhan konsumen dan aktivitas yang akan menghasilkan nilai produk.
2. *Identify the value stream*, merupakan identifikasi dan menghilangkan alur kegiatan yang tidak menghasilkan nilai. Menghindari *miss production* dan *overproduction*, penyimpanan material yang tidak perlu, pengangkutan material

yang tidak efektif, pergerakan tenaga kerja yang efektif, dan produksi material yang tidak memenuhi mutu.

3. *Flow*, memastikan bahwa aliran *supply chain* tidak ada hambatan. Dalam hal ini berarti harus berfokus pada proses produksi, bukan pada hasil akhir produk.
4. *Pull*, berarti menghasilkan produk secara tepat sesuai dengan keinginan konsumen dan selalu siap menghadapi perubahan yang dilakukan oleh konsumen.
5. *Perfection*, berarti memberikan produk yang sesuai harapan konsumen dalam waktu sesuai kontrak dan dalam kondisi yang sempurna tanpa cacat.



Gambar 3.3 Prinsip *Lean Construction* (Aziz, 2013)

3.4 Waste Material

Menurut Yahya dan Boussabaine (2004), limbah material (*waste material*) merupakan bahan-bahan konstruksi yang harus dibuang karena sudah tidak dapat digunakan lagi. Limbah material dapat didefinisikan sebagai sisa bahan konstruksi dalam jumlah besar yang berdampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Limbah material ini dapat berupa sisa berupa beton, besi, kayu, aluminium, instalasi listrik, dan bahan lainnya. Menurut Kofoworola dan Gheewala (2008), *waste* konstruksi dihasilkan dari proses pembangunan, pembongkaran, dan renovasi bangunan.

Menurut Skoyles (1987), *waste* material konstruksi dikategorikan dalam 3 macam yaitu:

1. *Natural Waste*

Natural waste merupakan *waste* yang dihasilkan dari pelaksanaan konstruksi secara tidak sengaja atau tidak disadari secara langsung. Contoh dari limbah alami adalah sisa kayu gergajian, cat yang tercecer pada saat pengecatan, dan kegiatan lainnya. Limbah-limbah tersebut tidak dapat dihindari

2. *Direct Waste*

Direct waste merupakan *waste* yang dihasilkan dari material konstruksi yang cacat, rusak, ataupun hilang selama proses pelaksanaan konstruksi. Berikut penyebab *waste* langsung pada proyek konstruksi:

a. Pekerjaan Perbaikan (*Rework*)

Pekerjaan yang tidak sesuai spesifikasi menimbulkan perbaikan konstruksi. Hal ini akan memicu *waste* dan sisa material dari pembongkaran dan perbaikan. Kurangnya efisiensi penggunaan material juga dapat menyebabkan *waste* secara langsung

b. Pengangkutan Material (*Transport*)

Proses pengangkutan dan pengiriman material yang tidak tepat dapat menyebabkan *waste* konstruksi secara langsung. Pada saat proses mobilisasi seperti penurunan bahan material dan penempatan lokasi penyimpanan, dapat menyebabkan perubahan fisik dan kerusakan material.

c. Metode Penyimpanan (*Storage*)

Penempatan dan penyimpanan material yang salah dapat menyebabkan kerusakan fisik material. Kerusakan ini dapat bersifat permanen sehingga diperlukan penggantian material yang rusak. Sebagai contoh yaitu penempatan penyimpanan besi tulangan yang dibiarkan terbuka yang dapat menurunkan kualitas besi tulangan.

d. Konversi Material (*Conversion*)

Proses konversi dimensi material dapat menimbulkan limbah secara langsung. Konversi dimensi merupakan proses penyesuaian dimensi material yang ada di pasaran ke bentuk yang diinginkan. Sebagai contoh yaitu konversi multipleks dari ukuran yang ada di pasaran yaitu 120 cm x 240 cm ke ukuran dimensi balok ukuran 80 cm x 80 cm untuk keperluan bekisting.

3. *Indirect Waste*

Indirect waste ini dihasilkan dari proses pemborosan akibat dari penggunaan sumber daya yang tidak tepat sesuai estimasi, desain, dan rencana. *Waste* ini dihasilkan secara tak kasat mata seperti kesalahan dalam pelaksanaan teknis lapangan maupun non-teknis. Berikut kategori limbah tidak langsung:

a. *Waste due to negligence*

Waste ini dihasilkan akibat dari kesalahan atau kelalaian teknis atau non-teknis sehingga melebihi dari batas yang diestimasi.

b. *Waste replacement*

Waste ini disebabkan dari hal seperti kerusakan bangunan yang membutuhkan tenaga lebih banyak. Hal ini masuk dalam pemborosan yang masuk dalam limbah penggantian.

c. *Waste of production*

Waste ini disebabkan dari *overproduction* yang menyebabkan kontraktor merugi secara keuangan (*moneter loss*). Kerugian ini harus ditanggung oleh kontraktor dan tidak tertuang di dalam kontrak pelaksanaan pekerjaan.

Menurut Womack dan Jones (1996), *waste material* konstruksi terdiri dari hal berikut:

1. *Defects and Rework*

Defects and rework merupakan jenis *waste* yang disebabkan oleh kesalahan metode, perubahan desain, atau kesalahan spesifikasi material sehingga membutuhkan tambahan waktu, sumber daya, atau biaya untuk memperbaiki hal tersebut.

2. *Fault Order and Waiting*

Fault order and waiting dalam proses pekerjaan akan menghambat proses pengerjaan. Kesalahan pemesanan dari material maupun kesalahan pengiriman dari *supplier* akan menyebabkan *waste material*, dan tambahan waktu serta biaya.

3. *Overproduction and Overprocessing*

Waste ini berkaitan dengan kurangnya sistem *waste management* dalam mengontrol pengadaan material. Kurangnya perencanaan pengadaan yang kurang baik untuk beberapa pekerjaan dan kurangnya pengawasan di lapangan.

4. *Motion*

Motion waste dapat terjadi setiap waktu saat proses pengerjaan. Metode yang kurang tepat dan kesalahan pengerjaan akan menyebabkan material terbuang sia-sia.

5. *Transportation*

Transportation waste terjadi pada saat proses pengangkutan material. Kesalahan metode pengangkutan material, dan kurangnya proteksi terhadap material menjadi penyebab adanya kecacatan material saat material sampai di lokasi proyek.

6. *Inventory*

Ketidaksesuaian metode penyimpanan material dapat menyebabkan material cepat rusak. Tidak cukupnya lahan untuk penyimpanan dan jauhnya lokasi material dari lokasi kerja dapat menyebabkan *motion waste* apabila tidak diperhatikan dengan cermat.

3.5 Waste Generation per Floor Area (WGA) dan Gross Floor Area (GFA)

WGA telah digunakan sebagai salah satu metode yang paling akurat dalam menghitung dan memprediksi jumlah *waste* material suatu proyek (Lu dkk., 2011). Hal ini dikarenakan WGA dapat digunakan untuk memprediksi kuantitas empiris *waste* material dalam pelaksanaan konstruksi dan *demolition construction* (Yuan dan Shen., 2011). WGA merupakan perbandingan antara *waste* yang dihasilkan dari suatu material (WG) dengan luas lantai kotor pekerjaan (GFA). Terdapat dua metode dalam memperoleh WG yaitu dengan survey wawancara dengan pihak proyek untuk mengetahui nilai WG berdasarkan selisih dari pengadaan material dan pelaksanaan atau realisasi desain yang terpasang yang kemudian divalidasi dengan pihak manajer proyek, atau pengawas proyek (Tam dkk., 2007; Formoso dkk, 2002; Wu dkk., 2016; Li dkk, 2013), dan dengan *hard method* yaitu melakukan penyortiran dan penimbangan *waste* material langsung di lokasi dari awal proyek hingga proyek selesai (Bossink dan Brouwers., 1996). WGA yang diperoleh akan sangat bervariasi di berbagai daerah atau dengan metode yang berbeda, hal ini dipengaruhi banyak faktor mulai dari teknologi konstruksi yang digunakan, metode pelaksanaan konstruksi, dan keahlian dari pekerja di lapangan (Cochran dkk., 2007; Shi dkk., 2007). Menurut Wu dkk (2016) mengukur nilai WGA yang dihasilkan dari bahan utama bangunan, tidak termasuk dari limbah domestik, dan limbah furniture akan lebih akurat dan representatif.

GFA adalah indikator penting lainnya untuk menghitung dan memperkirakan *waste* material yang dihasilkan dari suatu proyek konstruksi ditinjau dari per luas lantai kotor (Yu dkk., 2019). GFA merupakan total luas lantai kotor suatu lantai bangunan yang dihitung dari titik atau dimensi terluar bangunan termasuk struktur bangunan, koridor, sekat, dan tangga. GFA Di China wajib diperhitungkan dan sudah termuat dalam *Urban Planning, Land & Resources Commision* Kota Shenzhen untuk memprediksi *waste* material (Wu dkk., 2016; Ding dan Xiao., 2014). *Waste* material dari setiap daerah akan sangat bervariasi mengingat nilai GFA akan mengikuti dari jenis struktur bangunan dan fungsi bangunan (Wu dkk., 2016).

3.6 Material Waste Ratio (MWR)

MWR adalah presentase perbandingan antara jumlah *waste* material dengan jumlah pembelian material (Bossink dan Brouwers, 1996; Enshassi, 1996; Poon dkk, 2004; Skoyles, 1976; Tam dkk, 2007; Formoso dkk, 2002). MWR digunakan untuk menghitung jumlah *waste* material yang dihasilkan dalam setiap pembeliannya (*order*) dan untuk mempersiapkan langkah yang tepat untuk melakukan evaluasi metode pelaksanaan dan perencanaan manajemen *waste* material. MWR yang didapat juga digunakan untuk *me-review* dalam manajemen pengadaan material dan mempersiapkan *waste management plan* yang lebih baik untuk pengadaan selanjutnya (Lu dkk, 2010).

3.7 Perhitungan Waste Generation per Groos Floor Area (WGA) dan Material Waste Ratio (MWR)

Menurut Li dkk (2013) terdapat tiga persamaan untuk menghitung nilai WGA dan MWR di lokasi proyek, sebagai mana diuraikan dalam Persamaan 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.4.

$$WG_i = \sum_{i=0}^n M_i \times MWR_i + W_0 \quad (3.1)$$

$$MWR_i = \frac{WG_i}{M_i} \quad (3.2)$$

$$WGA_i = \frac{WG_i}{GFA} \quad (3.3)$$

$$WGA_i = \frac{(M_i \times r_i)}{GFA} \quad (3.4)$$

dengan:

WG_i = Jumlah *waste* yang dihasilkan dari setiap material atau setiap pengadaannya (kg)

M_i = Jumlah berat yang dibeli dari setiap material atau setiap pengadaannya (kg)

MWR_i = Rasio *waste* material dari setiap material atau setiap pengadaannya (%)

W_0 = Sisa *waste* yang berasal dari kuantitas kecil (plastik, *packaging*, kawat, dll) (kg)

WGA_i = *Waste* yang dihasilkan dalam tiap luas area lantai untuk setiap material atau setiap pengadaannya (kg/m²)

GFA = Luas lantai kotor (m²)



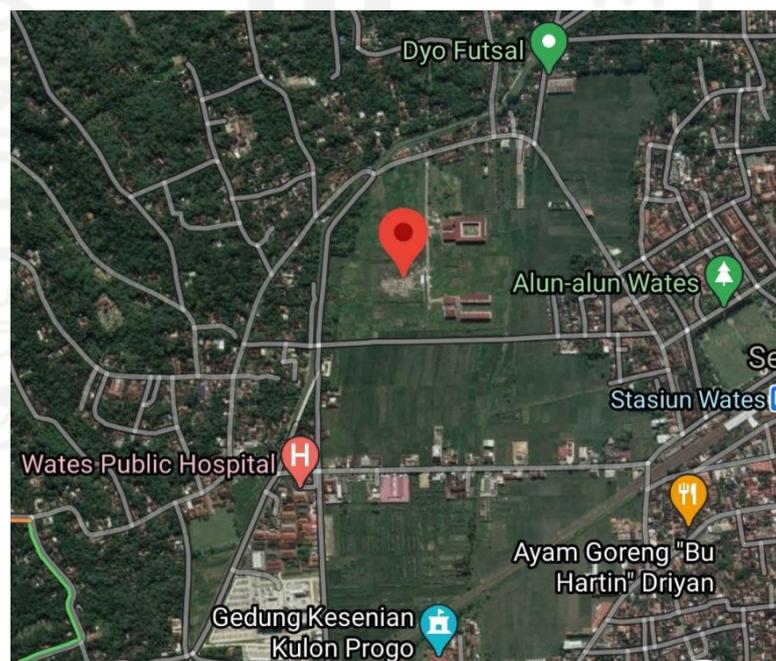
BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini mengambil studi kasus pada Proyek Pembangunan Gedung *Field Research Centre* (FRC), Universitas Gadjah Mada di Jalan Terbah, Wates, Kecamatan Wates, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Penelitian ini dilakukan dalam 4 tahap. Tahap pertama adalah studi literatur tinjauan pustaka tentang perhitungan limbah konstruksi. Tahap kedua adalah menjelaskan pendekatan untuk mengukur indeks limbah konstruksi (*waste generation index*). Tahap ketiga adalah mengilustrasikan dengan studi kasus proyek pembangunan yang baru dibangun di Yogyakarta, Indonesia. Tahap akhir adalah membahas data secara rinci dan diambil kesimpulannya.



Gambar 4.1 Denah Lokasi Penelitian
(Sumber: maps.google.com)

4.2 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur atas dasar landasan teori, metode analisis data, dan perbandingan hasil-hasil penelitian terdahulu yang memiliki kaitan dan mendukung penelitian ini. Tujuan dari studi literatur adalah memperoleh dasar-dasar ilmu dan tahapan-tahapan untuk merancang, mengambil, dan mengolah data penelitian.

4.3 Objek Penelitian

Pada penelitian ini, objek yang diamati adalah pada Proyek Pembangunan Gedung FRC Universitas Gadjah Mada. Data-data yang tersedia adalah *shop drawing*, Rencana Anggaran Biaya, laporan kemajuan mingguan proyek, *time schedule*, dan data dokumen pengadaan dan *waste material*. Data-data tersebut didapatkan langsung dari pihak kontraktor.

4.4 Pengumpulan Data

Hal utama dalam studi penelitian ini adalah mengukur WGA berdasarkan berat material meskipun dalam studi yang sudah disebutkan secara umum mengukur WGA berdasarkan volume berat (Llatas, 2011; Poon dkk, 2004; SolísGuzmán dkk, 2009). Dalam penelitian Poon dkk (2004) pengumpulan data dilakukan secara langsung dengan inspeksi visual di lokasi proyek dan menghitung kuantitas *waste* berdasarkan volume material. Menurut Llatas (2011) volume merupakan data berharga yang digunakan untuk estimasi ukuran dan jumlah truk yang didatangkan. Namun, kepadatan limbah campuran memiliki komposisi yang bervariasi dan menyulitkan untuk membandingkan tingkat timbunan limbah antar material atau antar proyek. Selain itu, pengukuran limbah di Indonesia didasarkan atas berat atau densitas material. Pada penelitian ini WGA diperhitungkan berdasarkan berat *waste material* (WG) per luasan area kotor (GFA) dan MWR diperhitungkan dari perbandingan kuantitas berat sisa material (WG) dan kuantitas pengadaan material (M). Berikut data-data yang digunakan untuk proses pengolahan data untuk mencapai tujuan penelitian ini, sebagai berikut.

4.4.1 Observasi Material Utama yang Digunakan di Proyek

Meskipun bangunan konstruksi di dunia bervariasi baik struktur dan metodologi bangunan, tetapi jenis *waste construction* secara umum adalah limbah beton, batu bata, besi, kayu, mortar, keramik, bahan kemasan plastic, karton, dll (Bossink dan Brouwers, 1996; Formoso dkk, 2002; Poon dkk, 2004; Tam dkk, 2012). Namun, proporsi tiap material memiliki variasi yang berbeda untuk tiap lokasi maupun negara. Sebagian besar bangunan baru di Indonesia adalah bangunan bertingkat dengan menggunakan struktur beton bertulang. Umumnya, *waste* material dari bangunan bertingkat struktur beton dihasilkan dari pekerjaan beton, pekerjaan pasangan bata, pekerjaan bekisting, dan pekerjaan finishing seperti plesteran dan acian (Poon dkk, 2004). Pada umumnya *waste* dalam jumlah kecil dihasilkan dari pekerjaan pipa-kawat, bahan kemasan, dan bahan kecil lainnya. Dengan demikian, hal ini dapat terlihat jelas bahwa jenis bahan utama konstruksi seperti beton, bekisting, besi, pasangan bata, mortar, dan keramik merupakan sumber utama *waste* konstruksi (Li dkk, 2010).

Tabel 4.1 Material Utama dalam Konstruksi Bangunan Bertingkat

No	Material	Keterangan
1	Beton	Material utama pekerjaan beton bertulang
2	Besi Beton	Material utama pekerjaan beton bertulang
3	Bata Ringan/Hebel	Material utama pekerjaan dinding
4	Tripleks Bekisting	Material utama pekerjaan beton bertulang
5	Mortar	Material utama pekerjaan <i>finishing</i>
6	Keramik	Material utama pekerjaan <i>finishing</i>

4.4.2 Observasi Data Dokumen Pengadaan dan *Waste*

Jumlah pengadaan dan *waste* setiap material didapatkan dari dokumen pengadaan atau dokumen stok material. Jumlah biaya dalam dokumen pekerjaan pada umumnya sudah termasuk biaya kerugian material selama konstruksi berjalan sehingga dokumen tersebut mendekati jumlah pembelian yang sebenarnya.

4.4.3 Menghitung Nilai Rasio Waste Material (MWR) dan Waste Berkuantitas Kecil (Wo)

MWR diukur dari presentase perbandingan antara jumlah *waste* material dengan jumlah pembelian material (Bossink dan Brouwers, 1996; Enshassi, 1996; Skoyles, 1976) atau dengan jumlah material yang terpasang (realisasi desain) (Formoso dkk, 2002; Tam dkk, 2007; Poon dkk, 2004). Untuk memudahkan pemahaman intuitif *stakeholder*, nilai MWR dinyatakan dengan persentase rasio *waste* dari jumlah pembelian material (Li dkk, 2013)

Berdasarkan penelitian terdahulu terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mengukur nilai MWR, yaitu dengan cara monitoring di lapangan (Bossink dan Brouwers, 1996; Enshassi, 1996; Poon dkk, 2004; Skoyles, 1976) dan perbandingan jumlah *waste* material dengan jumlah pengadaan material atau jumlah material yang terpasang sesuai desain (Wu dkk., 2016; Tam dkk, 2007; Formoso dkk, 2002; Li dkk, 2013). Dalam studi ini MWR didapatkan dari data pengadaan setiap material oleh pihak *quantity surveyor* yang disetujui dan divalidasi oleh manajer proyek. Priyantono (2021) menyatakan bahwa pengukuran *waste* material dihitung dengan mencatat volume pendatangan material serta mencatat volume pelaksanaan yang terpasang atau realisasi di lapangan yang kemudian didapat selisih nilainya. Priyantono (2021) menambahkan bahwa pencatatan tersebut perlu dilakukan untuk mengevaluasi setiap pengadaan dari material proyek. Di Indonesia, manajer proyek merupakan orang inti yang bertanggung jawab terhadap pengendalian biaya, waktu, dan kualitas proyek konstruksi sedangkan *quality control* merupakan orang yang mendata kebutuhan material proyek. Dengan demikian, data yang didapat dari *quality control* adalah valid dan dapat dipertanggung jawabkan. Sebagai tambahan, terdapat keuntungan dengan menggunakan data MWR dari pihak proyek yaitu:

1. Dapat meminimalisir waktu dan biaya observasi. Monitoring di lapangan akan lebih sulit dan diperlukan waktu, biaya, serta tenaga untuk memonitoring *waste* secara berkala di lokasi proyek terlebih untuk bangunan bertingkat. Sebaliknya, data yang telah diverifikasi manajer proyek merupakan alternatif yang valid

(Poon dkk, 2004; Tam dkk, 2007; Formoso dkk, 2002) dan dapat digunakan untuk mengumpulkan data dalam jangka waktu yang singkat.

2. Dapat mengetahui fluktuasi *waste* yang dihasilkan dari setiap pengadaan material sehingga *waste* yang dihasilkan proyek lebih rinci dan detail.

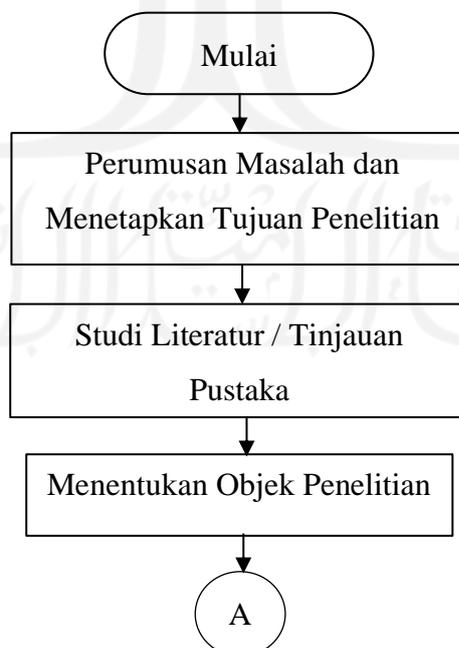
Nilai W_0 merupakan nilai *waste* yang tidak dicatat sebagai aliran *waste* atau merupakan *waste* dengan kuantitas yang kecil seperti kemasan semen, tumpukan plastik, potongan-potongan kecil, dan lain-lain. *Waste* tersebut mencakup banyak kategori dan memiliki berat yang sangat kecil dari total *waste* proyek. Pada proyek ini nilai W_0 sama dengan nol dikarenakan *waste* seperti bungkus semen, plastik, potongan-potongan kecil dikumpulkan kemudian dijual atau didaur ulang kembali di tempat penampungan.

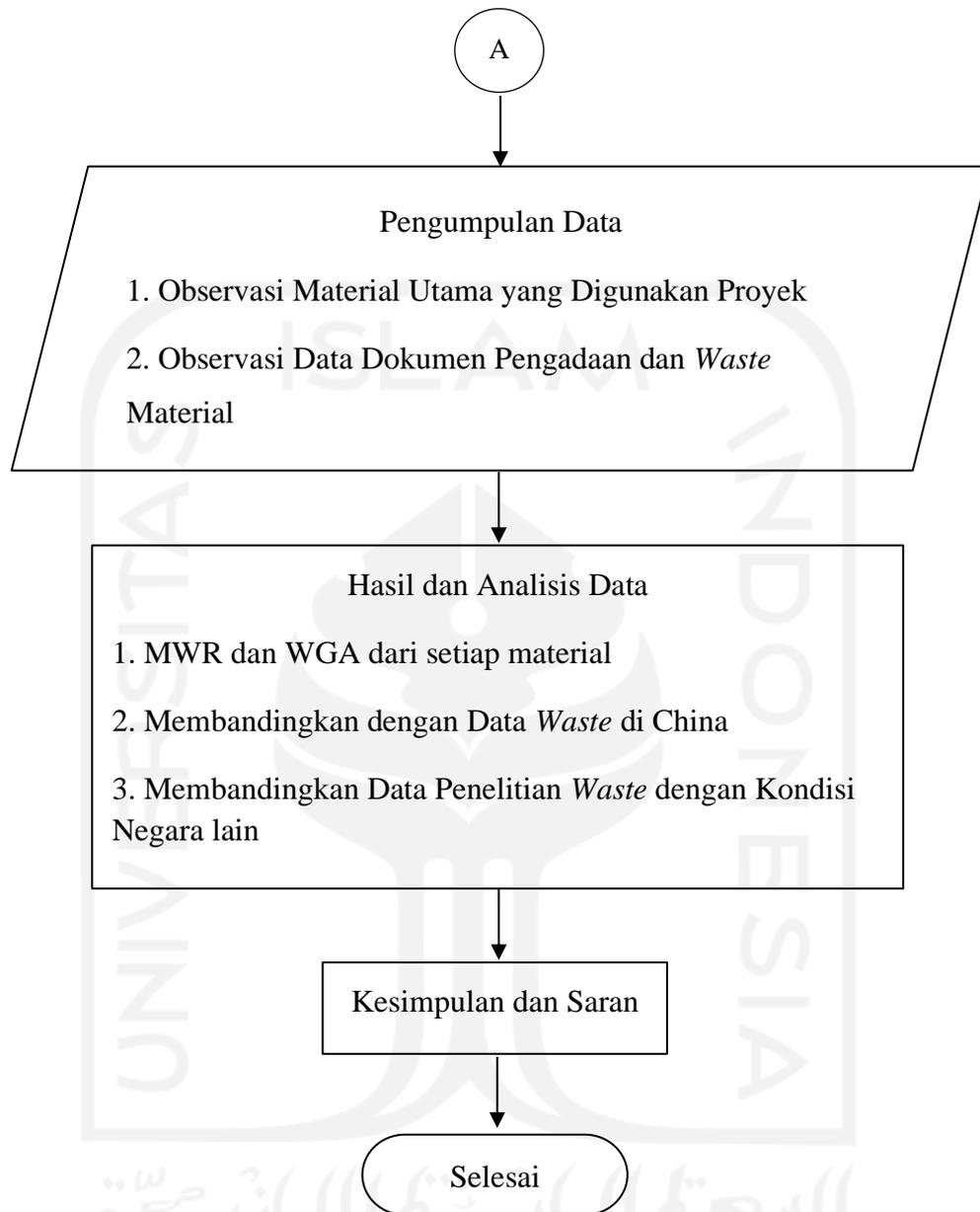
4.5 Menghitung Nilai Total WGA dan Nilai WGA Setiap Tipe Material

Nilai WGA total pada proyek konstruksi dan nilai WGA untuk setiap tipe material utama dapat dihitung dengan Persamaan 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.4.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Untuk mempermudah pemahaman tahapan penelitian, Gambar 4.1





Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Studi Kasus

Metode yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya diterapkan pada proyek konstruksi bangunan bertingkat yang berlokasi di daerah Wates, Yogyakarta, Indonesia. Jenis bangunan tersebut adalah bangunan gedung kampus bertingkat dengan struktur beton bertulang. Gambar 5.1 menyajikan foto proyek yang dijadikan studi kasus.



Gambar 5.1 Proyek Pembangunan Gedung FRC UGM

Untuk memperoleh data, observasi dilakukan sebanyak dua kali selama bulan November 2020. Observasi pertama dilakukan *interview* singkat dengan manajer proyek, *site manager*, dan *quantity surveyor*. Tujuan dari *interview* ini adalah untuk menjelaskan maksud dan tujuan penelitian serta data yang diperlukan untuk penelitian. Selama *interview* juga dijelaskan terkait implikasi data dan

didiskusikan terkait ketersediaan data tersebut dengan pihak manajer proyek. Seminggu kemudian didapatkan data-data yang langsung diberikan dari manajer proyek. Manajer proyek mengkonfirmasi bahwa material utama yang digunakan dalam proyek tersebut sama seperti material yang tercantum pada Tabel 4.1. Pihak *quantity surveyor* dan *quality control* memberikan data terkait jumlah material utama yang dibeli dari catatan pengadaan material dan sisa material dalam setiap minggunya. Untuk nilai W_0 pada proyek ini yaitu sama dengan nol dikarenakan *waste* seperti bungkus semen, plastik, potongan-potongan kecil dikumpulkan kemudian dijual atau didaur ulang kembali di tempat penampungan.

Perlu diketahui bahwa terdapat perbedaan satuan yang tercantum pada jumlah berat material yang dibeli. Sebagai contoh beton diukur berdasarkan satuan meter kubik (m^3), bekisting berdasarkan satuan meter persegi (m^2), mortar berdasarkan satuan zak. Satuan tersebut merupakan data asli yang didapat dari data pengadaan material oleh *quantity surveyor*. Dengan demikian untuk perhitungan WGA dan MWR, berat WG material dikonversi ke dalam satuan kilogram. Untuk nilai GFA (*Gross Floor Area*) pada proyek ini seluas $4765.92 m^2$ yang didapat dari gambar rencana.

KARTU STOK MINGGUAN					
PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (Persero) Tbk.					
PROYEK : FRC UGM		NAMA BARANG : BETON K-300 (FC 29-30)			
DIVISI : GEDUNG 1		ASAL BARANG : PT. VARIA BETON USAMA			
		SATUAN : M3 (2325 KG/M3)			
TGR.	PENERIMAAN (VOLUME)	AKUMULATIF (VOLUME)	PENGELUARAN (VOLUME)	AKUMULATIF (VOLUME)	SALDO (VOLUME)
24-02-2020	25.00	25.00	24.84	24.84	0.16
03-03-2020	133.06	158.06	132.70	157.54	0.36
04-03-2020	30.55	188.61	30.55	188.08	0.40
16-03-2020	244.81	433.79	242.48	430.57	2.36
23-03-2020	62.20	495.99	61.63	492.20	0.57
22-06-2020	144.87	640.86	143.10	635.30	1.69
29-06-2020	218.77	859.63	216.99	852.36	1.79
06-07-2020	221.77	1,081.40	219.84	1,072.21	1.93
20-07-2020	4.16	1,085.56	4.06	1,076.20	0.08
27-07-2020	58.07	1,143.63	54.87	1,131.18	0.20
03-08-2020	88.02	1,231.65	87.61	1,218.86	0.51
10-08-2020	100.37	1,332.02	99.67	1,318.33	0.70
17-08-2020	103.24	1,435.26	103.12	1,421.45	0.12
24-08-2020	223.50	1,658.76	222.18	1,643.62	1.33
31-08-2020	117.45	1,776.21	116.58	1,760.01	0.77
07-09-2020	142.90	1,919.11	141.86	1,901.67	1.24
14-09-2020	180.90	2,099.73	178.32	2,079.98	2.61
21-09-2020	36.96	2,136.72	36.07	2,116.38	0.72
28-09-2020	1.51	2,138.23	1.49	2,117.75	0.02
05-10-2020	3.26	2,141.49	3.23	2,120.98	0.03
12-10-2020	40.66	2,182.15	40.79	2,166.78	0.31
19-10-2020	18.64	2,200.79	18.35	2,185.11	0.29
26-10-2020	18.64	2,219.43	18.22	2,203.34	0.42
02-11-2020	18.64	2,238.07	18.48	2,221.81	0.16
		2,246.90		2,221.81	18.69



Sumber: Proyek PT PP (PERSERO)

Gambar 5.2 Data Pengadaan dan Waste Material Ready Mix

Tabel 5.2 Data Pengadaan & Sisa Material *Ready Mix*

Minggu ke-	Pengadaan (m ³)	Pengadaan (kg)	Sisa (m ³)	Sisa (kg)
16	25.00	58,125.00	0.16	369.675
17	133.00	309,225.00	0.30	706.800
18	30.95	71,958.75	0.40	936.975
19	244.84	569,253.00	2.36	5,480.025
20	62.20	144,615.00	0.57	1,315.950
33	144.87	336,822.75	1.69	3,938.550
34	218.77	508,644.90	1.79	4,150.125
35	221.77	515,615.25	1.93	4,484.925
37	4.16	9,667.35	0.08	181.350
38	55.07	128,047.05	0.20	474.300
39	88.02	204,637.20	0.51	1,188.075
40	100.37	233,360.25	0.70	1,627.500
41	103.24	240,033.00	0.12	285.975
42	223.50	519,646.80	1.33	3,087.600
43	117.15	272,371.43	0.77	1,778.625
44	142.99	332,235.53	1.24	2,876.03
45	180.92	420,645.98	2.61	6,063.60
46	36.99	85,999.43	0.72	1,662.38
47	1.51	3,510.75	0.02	48.83
48	3.26	7,579.50	0.03	69.75
49	46.09	107,166.23	0.31	713.78
50	18.64	43,335.68	0.29	664.95
51	18.64	43,335.68	0.42	969.53
52	18.64	43,335.68	0.16	381.30

Tabel 5.3 Data Pengadaan & Sisa Material Tripleks Bekisting

Minggu ke-	Pengadaan (m ²)	Pengadaan (kg)	Sisa (m ²)	Sisa (kg)
37	445.50	2,895.75	7.33	47.652
38	450.34	2,927.21	4.99	32.422
39	358.20	2,328.30	9.79	63.635
40	698.16	4,538.04	7.58	49.244
41	225.78	1,467.57	5.64	36.634
42	379.39	2,466.04	6.54	42.497
43	329.05	2,138.83	4.77	31.025
45	225.68	1,466.92	5.31	34.522
47	110.56	718.640	1.02	6.630

Tabel 5.4 Data Pengadaan & Sisa Material Bata Ringan/Hebel

Minggu ke-	Pengadaan (m ³)	Pengadaan (kg)	Sisa (m ³)	Sisa (kg)
45	18.61	10,237.70	0.213	117.15
47	4.57	2,512.95	0.101	55.55
48	23.18	12,751.20	0.137	75.35
49	11.46	6,301.90	0.097	53.35
50	7.80	4,291.65	0.083	45.65
51	8.56	4,705.25	0.084	46.20
52	3.92	2,154.90	0.053	29.15
53	4.96	2,728.00	0.052	28.60
55	9.48	5,211.25	0.081	44.55

Tabel 5.5 Data Pengadaan & Sisa Material Mortar

Minggu ke-	Pengadaan (zak)	Pengadaan (kg)	Sisa (zak)	Sisa (kg)
45	260.00	10,400.00	7.00	280.00
46	11.00	440.00	1.00	40.00
47	111.00	4,440.00	4.00	160.00
48	346.00	13,840.00	5.00	200.00
49	889.00	35,560.00	7.00	280.00
50	316.00	12,640.00	5.00	200.00
51	180.00	7,200.00	2.00	80.00
52	157.00	6,280.00	2.00	80.00
53	170.00	6,800.00	1.00	40.00
54	22.00	880.00	0.00	0.00
55	236.00	9,440.00	3.00	120.00

Tabel 5.6 Data Pengadaan & Sisa Material Keramik

Minggu ke-	Pengadaan (box)	Pengadaan (kg)	Sisa (box)	Sisa (kg)
46	236.00	7,080.00	3.00	90.00
47	109.00	3,270.00	1.00	30.00
48	225.00	6,750.00	3.00	90.00
49	236.00	7,080.00	4.00	120.00
50	170.00	5,100.00	2.00	60.00
51	97.00	2,910.00	1.00	30.00
52	157.00	4,710.00	3.00	90.00
53	140.00	4,200.00	2.00	60.00
54	336.00	10,080.00	3.00	90.00
55	112.00	3,360.00	2.00	60.00

Nilai konversi ke dalam satuan kilogram juga didapat dari data *quantity surveyor*. Untuk berat *ready mix* per meter kubik adalah 2325 kg/m³, berat poly

resin multiplex per meter persegi adalah 6,5 kg/m², berat mortar per zak adalah 40 kg/zak. Untuk bata ringan/hebel ukuran per buah adalah 0,012 meter kubik (m³) dengan berat per buah adalah 6,6 kg per buah bata ringan. Untuk keramik homogenus tile memiliki luasan total 1,44 meter persegi (m²) per box dengan berat per box yaitu 30 kilogram.

5.2 Nilai MWR dan WGA setiap Material

5.2.1 Beton *Ready Mix*

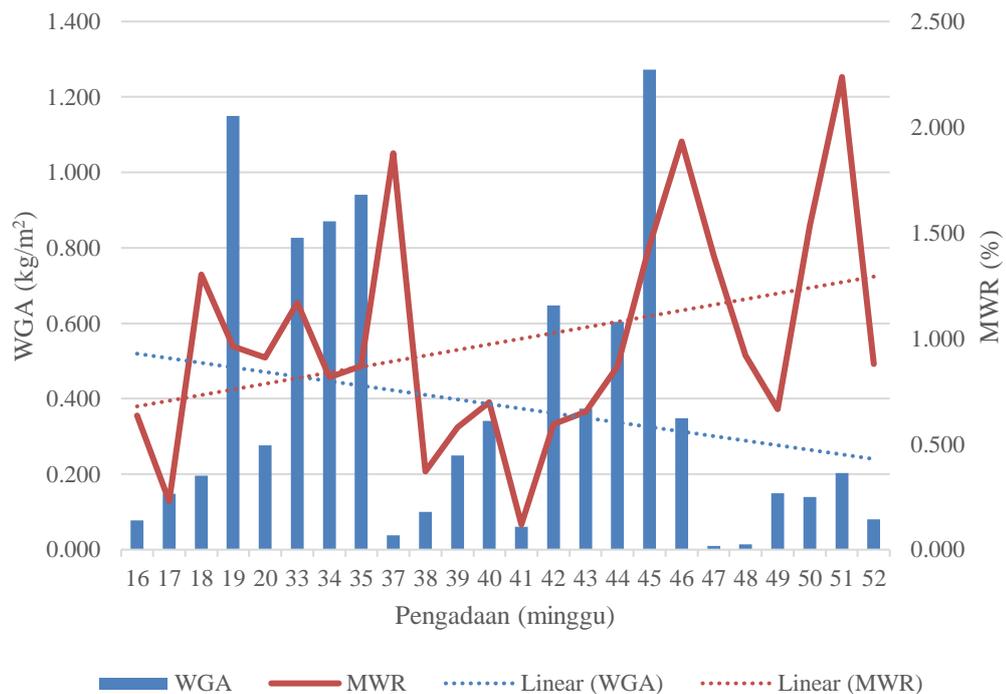
Pekerjaan pengecoran beton merupakan pekerjaan utama dalam konstruksi bangunan gedung. Di Indonesia, penggunaan *concrete ready mix* hampir selalu digunakan dalam pekerjaan struktur bangunan gedung, bangunan transportasi, maupun bangunan air. Pada proyek ini hampir 90% berat material yang dipesan adalah *concrete ready mix*. Tabel 5.7 menyajikan rasio *waste* (MWR) dan WGA dari material *concrete ready mix*. Pada Tabel 5.7 menguraikan perhitungan rasio *waste* (MWR) dan WGA dari material beton *ready mix* dan Gambar 5.8 menguraikan perbandingan WGA dan MWR pada material beton *ready mix*.

Tabel 5.7 MWR dan WGA Material *Concrete Ready Mix*

Minggu ke-	Pengadaan, M (kg)	Sisa, WG (kg)	Rasio, MWR (%)	WGA (kg/m ²)
16	58,125.00	369.68	0.64	0.078
17	309,225.00	706.80	0.23	0.148
18	71,958.75	936.98	1.30	0.197
19	569,253.00	5,480.03	0.96	1.150
20	144,615.00	1,315.95	0.91	0.276
33	336,822.75	3,938.55	1.17	0.826
34	508,644.90	4,150.13	0.82	0.871
35	515,615.25	4,484.93	0.87	0.941
37	9,667.35	181.35	1.88	0.038
38	128,047.05	474.30	0.37	0.100
39	204,637.20	1,188.08	0.58	0.249

Lanjutan Tabel 5.7 MWR dan WGA Material *Ready Mix*

Minggu ke-	Pengadaan, M (kg)	Sisa, WG (kg)	Rasio, MWR (%)	WGA (kg/m ²)
40	233,360.25	1,627.50	0.70	0.341
41	240,033.00	285.98	0.12	0.060
42	519,646.80	3,087.60	0.59	0.648
43	272,371.43	1,778.63	0.65	0.373
44	332,235.53	2,876.03	0.87	0.603
45	420,645.98	6,063.60	1.44	1.272
46	85,999.43	1,662.38	1.93	0.349
47	3,510.75	48.83	1.39	0.010
48	7,579.50	69.75	0.92	0.015
49	107,166.23	713.78	0.67	0.150
50	43,335.68	664.95	1.53	0.140
51	43,335.68	969.53	2.24	0.203
52	43,335.68	381.30	0.88	0.080

Gambar 5.8 Perbandingan WGA dan WMR pada Beton *Ready Mix*

Rata-rata MWR *concrete ready mix* pada proyek ini adalah 0.986%. Nilai tersebut didapatkan dari persentase perbandingan antara total jumlah MWR dengan total jumlah pembelian dari material beton. Untuk nilai rata-rata WGA adalah 0.38 kg/m². Nilai tersebut didapatkan dari perbandingan antara total jumlah WGA dengan total jumlah pembelian dari material beton. Fluktuasi MWR maksimum terjadi pada minggu ke-51 yaitu 2.24% dan MWR minimum pada minggu ke-41 yaitu 0.12%. Untuk nilai WGA minimum dan maksimum yaitu 0.01 kg/m² - 1.27 kg/m². Sesuai dengan Gambar 5.2, trendline MWR cenderung meningkat dan trendline WGA cenderung menurun. Ini dapat diartikan bahwa *waste concrete ready mix* cenderung meningkat dan masih kurangnya penanganan untuk meminimalisir *waste concrete ready mix* dalam setiap pengadaannya. Hasil wawancara dari pihak *project manager* dan *quantity surveyor*, terungkap fakta bahwa banyak faktor yang menyebabkan *waste ready mix*. Perencanaan dan perhitungan kebutuhan yang kurang baik menjadi faktor utama *waste material* ini. Hal ini menyebabkan pemesanan yang berlebihan (*overordering*). Selain itu, bekisting yang cacat atau rusak, dan metode pengerjaan yang tidak tepat juga menjadi penyebab timbulnya *overfilling*. Dalam setiap pengadaan *ready mix* volume yang didatangkan tidak sama persis dengan volume yang akan dilaksanakan di lapangan sehingga unsur *safety factor* diperlukan dalam setiap pengadaan *ready mix* untuk mengevaluasi setiap pengadaan dan pelaksanaannya.



Gambar 5.9 Proses Pengecoran Kolom



Gambar 5.10 Uji Slump Beton

5.2.2 Tripleks Bekisting

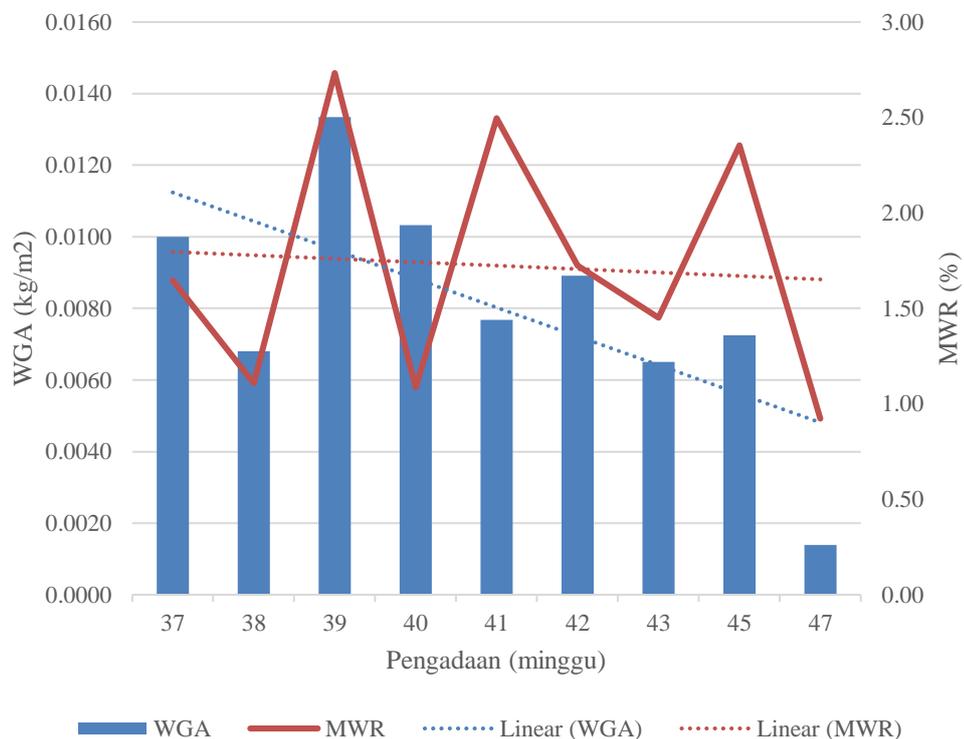
Penggunaan tripleks bekisting masih populer digunakan di Indonesia untuk pekerjaan pengecoran karena murah, ringan, dan mudah dipotong. Tripleks bekisting merupakan jenis material yang dapat digunakan beberapa kali dalam suatu proyek dan tidak dimasukkan ke dalam bangunan selama proses konstruksi. Pada umumnya, material ini akan dibuang sebagai *waste* setelah digunakan lima hingga tujuh kali. Menurut *project manager* tripleks bekisting pada proyek ini digunakan sebanyak 3 kali. Pada Tabel 5.8 menguraikan perhitungan rasio *waste* (MWR) dan WGA dari material tripleks untuk bekisting dan Gambar 5.11 menguraikan perbandingan WGA dan MWR pada material tripleks untuk bekisting.

Tabel 5.8 MWR dan WGA Material Tripleks untuk Bekisting

Minggu ke-	Pengadaan, M (kg)	Sisa, WG (kg)	Rasio, MWR (%)	WGA (kg/m ²)
37	2,895.75	47.65	1.65	0.0100
38	2,927.21	32.42	1.11	0.0068
39	2,328.30	63.64	2.73	0.0134

Lanjutan Tabel 5.8 MWR dan WGA Material Tripleks untuk Bekisting

Minggu ke-	Pengadaan, M (kg)	Sisa, WG (kg)	Rasio, MWR (%)	WGA (kg/m ²)
40	4,538.04	49.24	1.09	0.0103
41	1,467.57	36.63	2.50	0.0077
42	2,466.04	42.50	1.72	0.0089
43	2,138.83	31.02	1.45	0.0065
45	1,466.92	34.52	2.35	0.0072
47	718.64	6.63	0.92	0.0014

**Gambar 5.11 Perbandingan WGA dan WMR Tripleks untuk Bekisting**

Berdasarkan Tabel 5.8 dan Gambar 5.11 didapatkan nilai rata-rata MWR sebesar 1.72% dalam rentang 0.92% – 2.73%. Nilai tersebut didapatkan dari persentase perbandingan antara total jumlah MWR dengan total jumlah pembelian dari material tripleks untuk bekisting. Untuk nilai rata-rata WGA adalah 0.008 kg/m² dengan rentang nilai 0.0014 kg/m² – 0.0134 kg/m². Nilai tersebut didapatkan

dari perbandingan antara total jumlah WGA dengan total jumlah pembelian dari material tripleks untuk bekisting. Untuk Nilai MWR dan WGA secara total adalah 1.64% dan 0.072 kg/m². Berdasarkan grafik, nilai MWR pada material ini cenderung menurun yang tidak begitu signifikan. *Quality control* mengemukakan bahwa tripleks untuk bekisting yang digunakan hanya mampu digunakan hingga lima kali penggunaan. Menurut *project manager*, *waste* yang dihasilkan pada proyek ini dihasilkan dari pemotongan tripleks bekisting yang tidak sesuai desain, kerusakan bekisting pada saat pemasangan, dan kondisi tripleks yang buruk atau cacat selama penyimpanan dan saat pemindahan material. Tetapi hal tersebut berhasil ditekan dengan mengambil tindakan yang tepat saat menyimpan dan mencegah kerusakan tripleks bekisting yang sudah digunakan. Pihak *quantity surveyor* memperhitungkan bahwa penggunaan tripleks bekisting untuk lantai 2 menggunakan 75% – 80% tripleks bekisting dari lantai 1. Sedangkan untuk lantai 3 menggunakan menggunakan 60% – 70% tripleks bekisting dari lantai 2. Untuk lantai atap hampir 80% menggunakan tripleks bekisting yang baru. *Project manager* mengemukakan bahwa optimasi penggunaan tripleks bekisting pada proyek ini harus dimaksimalkan karena melihat struktur bangunan yang cenderung simetris dan tidak begitu rumit. Menurut Li dkk (2013) jumlah WGA pada tripleks bekisting sangat dipengaruhi jumlah penggunaan kembali untuk proses pengecoran.



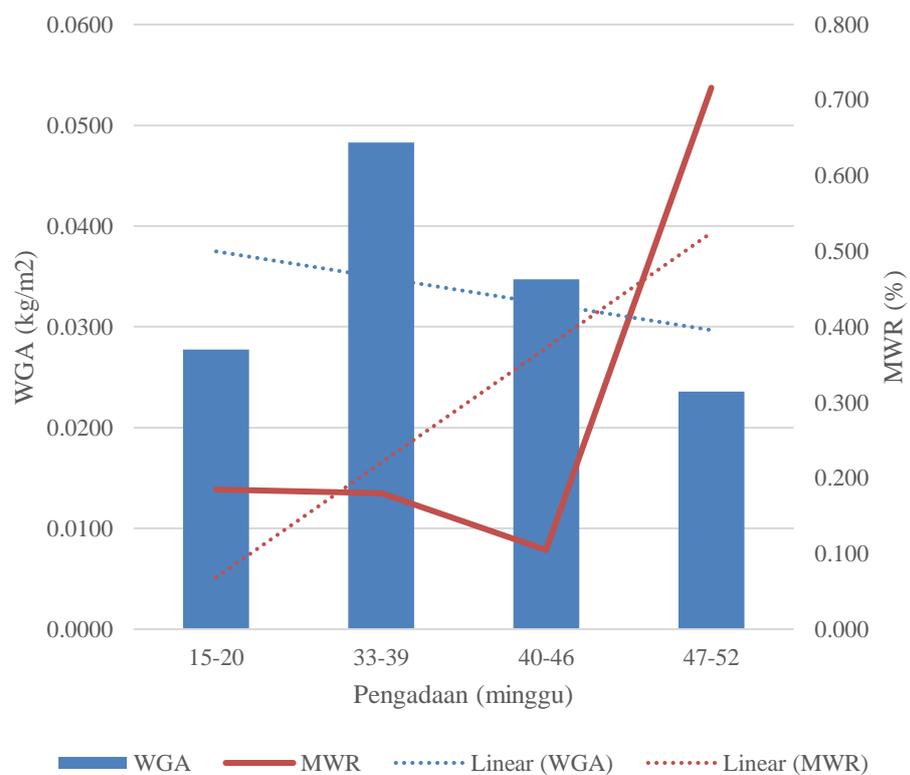
Gambar 5.12 Penyimpanan Tripleks Bekisting

5.2.3 Besi Tulangan (*Reinforcement*)

Tulangan besi masih menjadi material utama sebagai bahan pengisi dari struktur beton bertulang konstruksi bangunan. Tabel 5.9 menguraikan tentang rasio *waste* (MWR) dan WGA dari material tulangan besi dan Gambar 5.13 menjelaskan tentang WGA dan MWR pada material besi tulangan.

Tabel 5.9 MWR dan WGA Material Besi

Minggu ke-	Pengadaan, M (kg)	Sisa, WG (kg)	Rasio, MWR (%)	WGA (kg/m ²)
15	71,675.06	132.23	0.184	0.028
33	127,793.06	230.12	0.180	0.048
40	157,955.05	165.52	0.105	0.035
47	15,690.10	112.40	0.716	0.024



Gambar 5.13 Perbandingan WGA dan WMR Besi Tulangan

Berdasarkan Tabel 5.9 dan Gambar 5.13 didapatkan data rata-rata MWR sebesar 0.296% dengan rentang nilai MWR berada diangka 0.105% – 0.716%. Nilai tersebut didapatkan dari persentase perbandingan antara total jumlah MWR dengan total jumlah pembelian dari material besi tulangan. Untuk nilai rata-rata WGA adalah 0.034 kg/m² dengan rentang nilai WGA berada diangka 0.024 kg/m² – 0.048 kg/m². Nilai tersebut didapatkan dari perbandingan antara total jumlah WGA dengan total jumlah pembelian dari material beton. Secara grafik terdapat peningkatan fluktuatif pada minggu ke-47 dengan nilai MWR 0.716% yang mengarahkan arah trend MWR menjadi naik. Sebelumnya pada minggu ke 15, 33, dan 40 nilai MWR cenderung menurun. *Quality control* mengemukakan bahwa *waste* pada besi banyak disebabkan oleh perubahan desain. Penyebab lainnya adalah kerusakan batang besi saat penyimpanan dan kurangnya optimasi saat pemotongan batang besi yang disebabkan besi tidak digunakan utuh 12 meter. Menurut *project manager* pengadaan pada besi memang dilakukan seminim mungkin untuk mengantisipasi kenaikan harga besi pada setiap pengadaannya. Lanjutnya, hal tersebut bisa menjadi salah satu penyebab kurangnya optimasi kontrol kuantitas dan kualitas yang menyebabkan lonjakan signifikan pada *waste* besi di pengadaan terakhir.



Gambar 5.14 Proses Pembesian Ring Beam



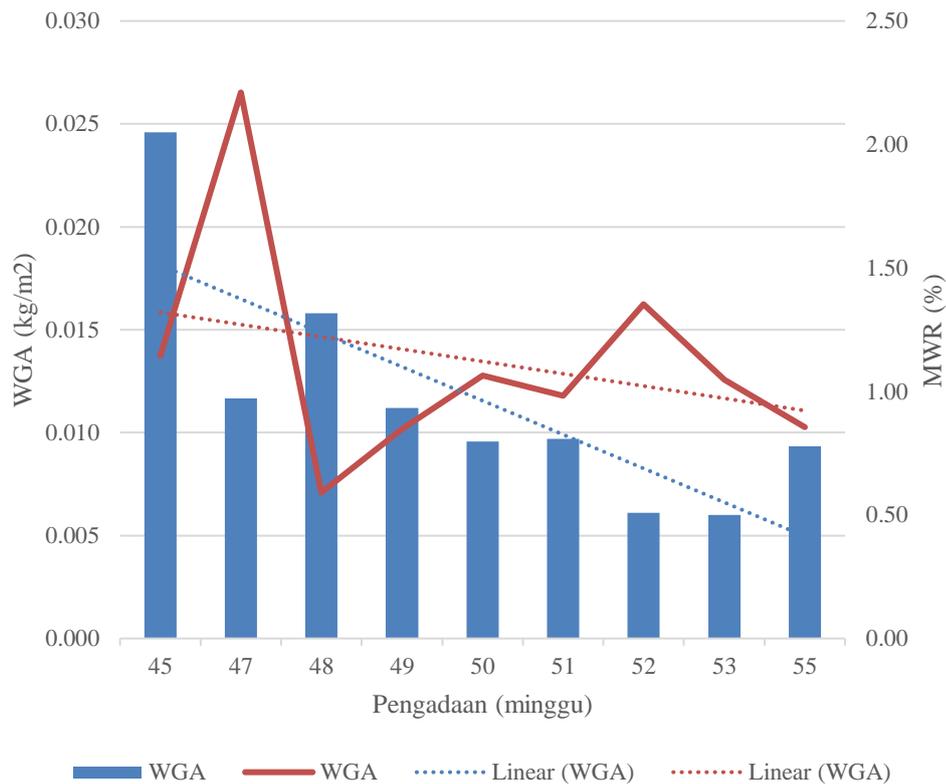
Gambar 5.15 Penyimpanan Besi

5.2.4 Bata Ringan/Hebel

Pada proyek ini bata ringan merupakan material utama yang digunakan pada pekerjaan dinding. Bata ringan yang digunakan pada proyek ini berukuran 10x20x60. Tabel 5.10 menguraikan tentang rasio *waste* (MWR) dan WGA dari material bata ringan dan Gambar 5.16 menjelaskan tentang WGA dan MWR pada bata ringan.

Tabel 5.10 MWR dan WGA Material Bata Ringan

Minggu ke-	Pengadaan, M (kg)	Sisa, WG (kg)	Rasio, MWR (%)	WGA (kg/m ²)
45	10,237.70	117.15	1.14	0.025
47	2,512.95	55.55	2.21	0.012
48	12,751.20	75.35	0.59	0.016
49	6,301.90	53.35	0.85	0.011
50	4,291.65	45.65	1.06	0.010
51	4,705.25	46.20	0.98	0.010
52	2,154.90	29.15	1.35	0.006
53	2,728.00	28.60	1.05	0.006
55	5,211.25	44.55	0.85	0.009



Gambar 5.16 Perbandingan WGA dan WMR Bata Ringan

Berdasarkan Tabel 5.10 dan Gambar 5.16 didapatkan rata-rata MWR sebesar 1.12% dengan rentang MWR berada pada nilai 2.21% - 0.59%. Nilai tersebut didapatkan dari perbandingan antara total jumlah MWR dengan total jumlah pembelian dari material bata ringan. Untuk rata-rata WGA sebesar 0.01 kg/m² dengan rentang nilai WGA adalah 0.02 kg/m² – 0.006 kg/m². Nilai tersebut didapatkan dari perbandingan antara total jumlah WGA dengan total jumlah pembelian dari material bata ringan. Secara trend grafik MWR cenderung menurun. Menurut *quality control* dan *project manager*, penyebab *waste* pada material ini paling sering diakibatkan saat proses pemotongan hebel, kerusakan saat proses *loading* dan *unloading* material, dan kerusakan material akibat penyimpanan material yang kurang bagus akibat kondisi cuaca. Dalam meminimalisir *waste* di lapangan *quality control* dan *quantity surveyor* lebih memperhatikan dalam proses pengiriman material. Di proyek ini pengiriman material hebel dibantu dengan menggunakan palet untuk meminimalisir kerusakan saat pengiriman dan *loading-*

unloading material. Dalam penelitian Formoso dkk (2002) penggunaan palet dalam proses pengiriman material bata merupakan strategi yang bagus untuk mengurangi *waste* yang terjadi akibat pengiriman material.



Gambar 5.17 Penyimpanan Bata Ringan



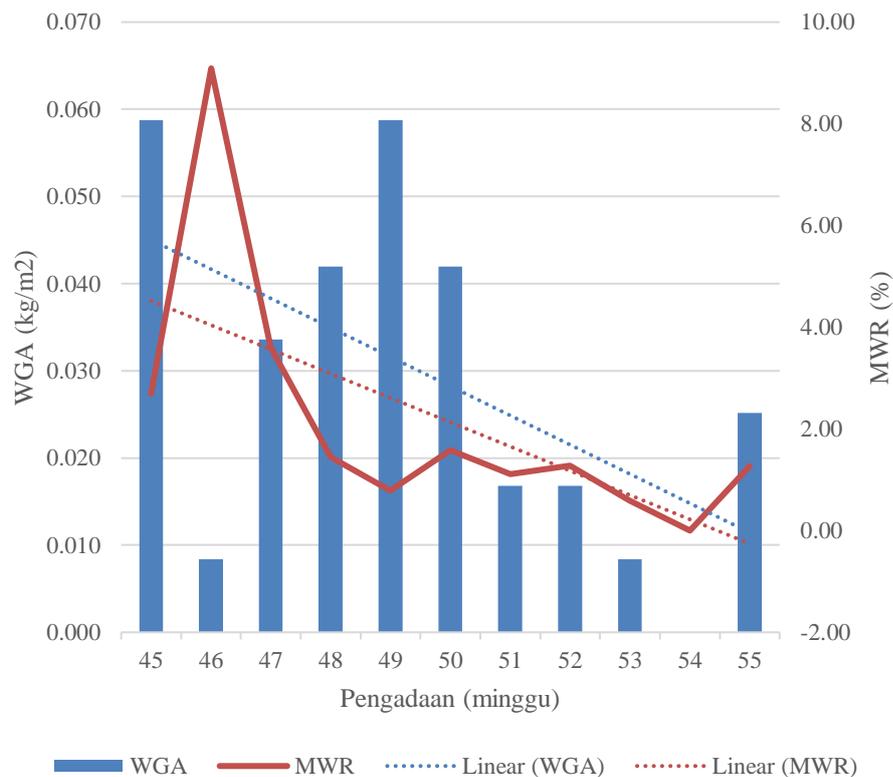
Gambar 5.18 Proses Pemasangan Bata Ringan

5.2.5 Semen Mortar

Material mortar di lapangan digunakan dalam beberapa jenis pekerjaan seperti pekerjaan pemasangan bata, plesteran, dan *rendering*. Berikut Tabel 5.11 menguraikan tentang rasio *waste* (MWR) dan WGA dari material semen mortar dan Gambar 5.19 menjelaskan tentang WGA dan MWR pada material semen mortar

Tabel 5.11 MWR dan WGA Material Mortar

Minggu ke-	Pengadaan, M (kg)	Sisa, WG (kg)	Rasio, MWR (%)	WGA (kg/m ²)
45	10,400.00	280.00	2.69	0.059
46	440.00	40.00	9.09	0.008
47	4,440.00	160.00	3.60	0.034
48	13,840.00	200.00	1.45	0.042
49	35,560.00	280.00	0.79	0.059
50	12,640.00	200.00	1.58	0.042
51	7,200.00	80.00	1.11	0.017
52	6,280.00	80.00	1.27	0.017
53	6,800.00	40.00	0.59	0.008
54	880.00	0.00	0.00	0.000
55	9,440.00	120.00	1.27	0.025

**Gambar 5.19 Perbandingan WGA dan WMR Mortar**

Berdasarkan data Tabel 5.11 dan Gambar 5.19 didapatkan nilai rata-rata MWR sebesar 2.13% dengan rentang MWR berada dinilai 9.09% – 0%. Nilai tersebut didapatkan dari persentase perbandingan antara total jumlah MWR dengan total jumlah pembelian dari material semen mortar. Untuk nilai rata-rata WGA sebesar 0.028 kg/m² dengan rentang nilai WGA berada dinilai 0.06 kg/m² – 0 kg/m². Nilai tersebut didapatkan dari persentase perbandingan antara total jumlah MWR dengan total jumlah pembelian dari material beton. Secara grafik MWR cenderung menurun tetapi *quantity surveyor* dan *quality control* mengemukakan bahwa sulit untuk memperkirakan secara akurat jumlah kebutuhan mortar setiap tim kerja sehingga kelebihan mortar ini akan menjadi *waste*. Hal lain yang menjadi penyebab *waste* adalah kurangnya presisi pemasangan hebel mengakibatkan plesteran dan acian menjadi boros, penyimpanan yang kurang baik. Kontroling setiap tim kerja dan optimasi penggunaan mortar merupakan langkah dalam meminimalisir *waste*.



Gambar 5.20 Proses Plester Dinding Selatan



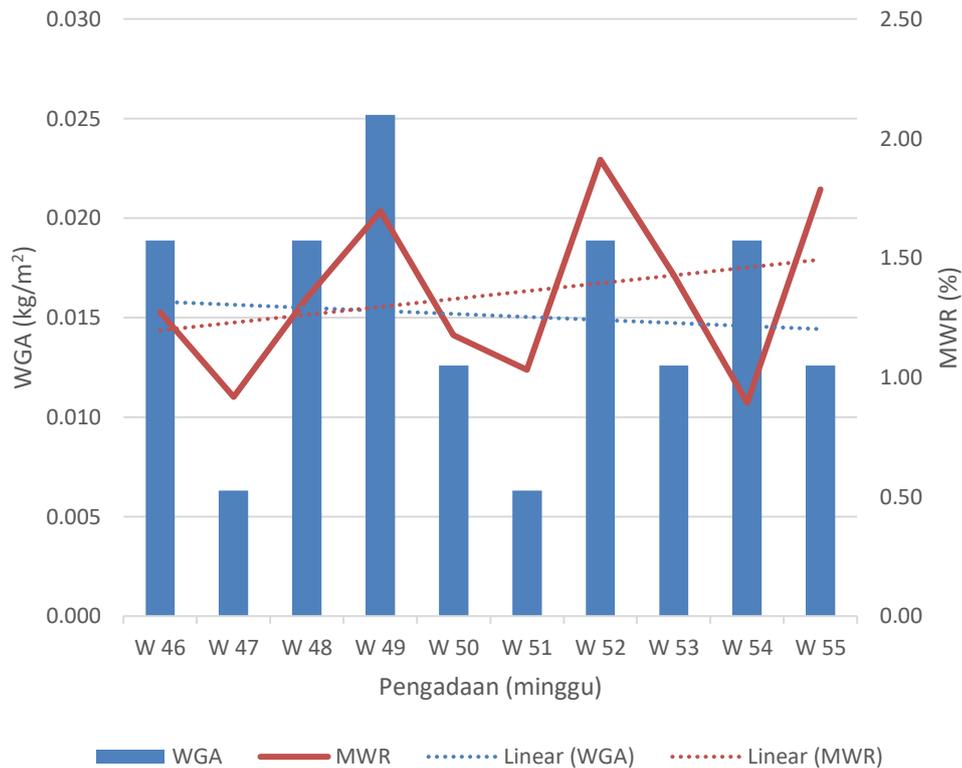
Gambar 5.21 Proses Plester Dinding Utara

5.2.6 Keramik (*Tile*)

Di Indonesia, bangunan gedung mengaplikasikan keramik pada bagian lantai dan beberapa bagian dinding bangunan. Pada proyek ini keramik menggunakan ukuran 60 cm x 60 cm. Berikut Tabel 5.12 menguraikan tentang rasio *waste* (MWR) dan WGA dari material keramik dan Gambar 5.22 menjelaskan tentang WGA dan MWR pada material keramik.

Tabel 5.12 MWR dan WGA Material Keramik

Minggu ke-	Pengadaan, M (kg)	Sisa, WG (kg)	Rasio, MWR (%)	WGA (kg/m ²)
46	7,080.00	90.00	1.27	0.019
47	3,270.00	30.00	0.92	0.006
48	6,750.00	90.00	1.33	0.019
49	7,080.00	120.00	1.69	0.025
50	5,100.00	60.00	1.18	0.013
51	2,910.00	30.00	1.03	0.006
52	4,710.00	90.00	1.91	0.019
53	4,200.00	60.00	1.43	0.013
54	10,080.00	90.00	0.89	0.019
55	3,360.00	60.00	1.79	0.013



Gambar 5.22 Perbandingan WGA dan WMR Keramik

Berdasarkan Tabel 5.12 dan Gambar 5.22 didapatkan nilai rata-rata MWR sebesar 1.34% dengan rentang nilai berada pada rentang 1.91% - 0.89%. Nilai tersebut didapatkan dari persentase perbandingan antara total jumlah MWR dengan total jumlah pembelian dari material keramik. Untuk nilai rata-rata WGA didapatkan sebesar 0.02 kg/m² dengan rentang nilai berada pada rentang 0.025 kg/m² - 0.006 kg/m². Nilai tersebut didapatkan dari perbandingan antara total jumlah WGA dengan total jumlah pembelian dari material keramik. Secara grafik nilai MWR bergerak cenderung meningkat. *Quality control* dan *quantity surveyor* mengemukakan bahwa mengukur *waste* keramik relative sulit karena *waste* dari keramik umumnya dihasilkan dari sisa potongan keramik yang dipengaruhi oleh desain atau ukuran ruangan. Proses penyimpanan dan *loading-unloading* juga menjadi penyebab timbulnya *waste* sehingga pada proyek ini kontrol *waste* lebih pada jumlah pengadaan dan desain kebutuhan yang dikerjakan, serta optimasi proses pengerjaan mengingat desain bangunan yang tidak begitu kompleks.



Gambar 5.23 Proses Pemasangan Keramik

5.3 Membandingkan Total MWR dan WGA dengan Data Empiris di China

Nilai MWR suatu proyek tidak hanya sekedar menunjukkan *waste* bahan konstruksi tetapi juga mencerminkan kinerja suatu proyek konstruksi dalam hal keterampilan pekerja dan kegiatan manajemen di lokasi konstruksi (Lu dkk 2011; Zheng dkk 2017). Membandingkan dengan data empiris di China merupakan salah satu hal yang dapat dijadikan tolak ukur karena di China sudah terdapat peraturan rasio batasan *waste* yaitu di dalam *Shenzhen Construction Norm* dan *Building Construction Book*. Tabel 5.13 menyajikan data hasil pada penelitian ini dan tabel data MWR dan WGA dari penelitian Lu dkk (2011).

Tabel 5.13 Hasil Perhitungan WGA dan MWR Studi Ini

Material	Rasio, MWR (%)	WGA (kg/m ²)
Besi Beton	0.172	0.134
Beton	0.834	9.118
Triplex Bekisting	1.643	0.072
Bata Ringan	0.974	0.104
Mortar	1.371	0.311
Keramik	1.320	0.151

Tabel 5.14 Hasil WGA dan MWR di China

Material	Rasio, MWR (%)	WGA (kg/m ²)
Besi Beton	2.88	0.014 – 0.073
Beton	1.33	0.357 – 2.387
Triplex Bekisting	5.0	1.678 – 1.905
Pasangan Bata	7.0	0.037 – 0.821
Mortar	3.95	0.368
Keramik	2.5	0.3

Menurut Lu (2011), nilai empiris WGA total yang sering dihasilkan pada proyek di China berkisar antara 3.275 – 8.791 kg/m² sedangkan pada studi ini sebesar 9.89 kg/m² dimana nilai ini didapat dari total *waste* material dibagi nilai GFA. Metode yang diterapkan Lu (2011) dalam mengukur nilai WGA menggunakan perbandingan *waste* yang dihasilkan dalam suatu area tertentu. Dia menjelaskan bahwa rentang nilai tersebut mendekati nilai normal WGA. Ditinjau dari perbandingan nilai MWR, studi ini lebih rendah dari MWR yang ada di China untuk seluruh jenis materialnya. Ditinjau dari nilai WGA, material besi masih berada diatas lebih tinggi dari rentang WGA yang ada di China yaitu 0.014 kg/m² – 0.073 kg/m². Untuk WGA material beton berada diangka yang cukup tinggi dari rentang WGA yang ada di China. Hal ini menjadi perhatian khusus bagi pihak kontraktor untuk dapat lebih mengoptimasi dalam meminimalisir *waste* beton *ready mix*. Nilai WGA material tripleks bekisting berada dibawah nilai rentang WGA di China. Optimasi penggunaan *reuse* tripleks bekisting bisa menjadi salah satu alasan rendahnya WGA tripleks bekisting pada studi ini. Pada material bata ringan nilai WGA berada dalam rentang nilai WGA di China. Untuk WGA material mortar dan keramik berada di bawah nilai WGA di China. Perbedaan nilai WGA dan MWR di studi ini dan China dipengaruhi beberapa faktor seperti perbedaan teknologi konstruksi, ketrampilan tenaga kerja, metode penyimpanan material, jenis struktur bangunan, dan fungsi bangunan. Menurut KBBI indeks adalah daftar nilai sekarang dibandingkan dengan nilai sebelumnya berdasarkan satuan tertentu untuk mengetahui naik turunnya suatu nilai barang. Indeks *waste* dari setiap pelaksanaan

harus lebih kecil dari indeks *waste* yang direncanakan atau indeks yang sudah menjadi acuan. Hal ini bertujuan agar mengontrol dan mengevaluasi jumlah *waste* yang dihasilkan dari setiap pelaksanaannya.

5.4 Membandingkan WGA dan MWR dengan Negara Lain

Membandingkan data WGA antar negara dapat membantu sebagai tolak ukur dan identifikasi praktek manajemen *waste* yang baik (Lu dkk, 2011). Namun, akan sulit menyamakan data WGA dengan negara lain karena hal ini juga dipengaruhi oleh perbedaan teknologi konstruksi, metode pelaksanaan pekerjaan, dan pendekatan pengukuran *waste* (Formoso dkk, 2002). Terlepas dari permasalahan tersebut, perbandingan WGA dengan beberapa kemiripan masih dapat memberikan solusi.

Pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.14 beberapa WGA dan MWR dengan kondisi ekonomi negara yang berbeda telah dipilih dengan *me-review* terlebih dahulu studi yang terdahulu. Nilai WGA pada ketiga negara tersebut merupakan bangunan dengan struktur beton bertulang dan diukur dengan satuan berat yang sama. Berikut Tabel 5.15 menyajikan data WGA struktur bangunan dari negara-negara lain dan Tabel 5.16 menyajikan data MWR struktur bangunan dari negara-negara lain.

Tabel 5.15 WGA Struktur Bangunan dari Negara Lain

Negara	Total WGA (kg/m ²)	WGA (kg/m ²)					
		Beton	Besi	Tripleks bekisting	Pasangan Bata	Mortar	Keramik
Amerika ^a	43.7	22.9	0.9	6.4	-	-	-
Norway ^b	30.7	19.11	0.48	2.75	-	-	-
Korea ^c	47.8	15.87	5.17	3.84	4.53	0.35	0.33
Thailand ^d	18.99	-	-	-	-	-	-

^a Sumber Data: Cochran dkk (2007) dalam Li dkk (2013)

^b Sumber Data: Bergsdal dkk (2007) dalam Li dkk (2013), termasuk gedung perkantoran dan gedung apartment

^c Sumber Data: Seo dan Hwang (1999) dalam Li dkk (2013), termasuk gedung struktur beton bertulang

^d Sumber Data: Kofoworola dan Gheewala (2008)

Tabel 5.16 MWR Struktur Bangunan dari Negara Lain

Negara	MWR (%)					
	Beton	Besi	Tripleks Bekisting	Pasangan Bata	Mortar	Keramik
Hongkong ^a	4.06	3.81	3.33	4.96	-	4.21
Amerika ^b	40 – 50	1 – 5	20 – 30	-	1 – 5	-
Norway ^c	45.8	1.32	13.67	-	-	-
Spanyol ^d	29.3	8.80	5.40	-	-	-
Malaysia ^e	65.8	1	5	-	1.6	-

^a Sumber Data: Tam (2008), termasuk gedung komposit

^b Sumber Data: Sandler dkk (2003) dalam Bakchan dan Faust (2019), termasuk gedung residential dan non-residential

^c Sumber Data: Bergsdal (2007) dalam Bakchan dan Faust (2019), termasuk gedung residential dan non-residential

^d Sumber Data: Martinez Lage dkk (2010) dalam Bakchan dan Faust (2019), termasuk gedung residential dan non-residential

^e Sumber Data: Begum dkk (2006) dalam Bakchan dan Faust (2019), termasuk gedung residential dan non-residential

Nilai WGA di negara Amerika, Norway, dan Thailand merupakan nilai yang didapat dari survey empirik terkait *waste*. Nilai WGA di negara Korea dihitung oleh Seo dan Hwang (1999) dengan metode dan pendekatan yang mirip dengan penelitian ini. Pada point ini akan dibandingkan nilai WGA pada keempat negara tersebut dengan nilai WGA dari hasil studi ini dan metode penelitian yang digunakan.

Pada studi ini, didapat total WGA yang lebih rendah dari keempat negara tersebut. Beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan ini adalah struktur bangunan, fungsi bangunan, metode pelaksanaan pekerjaan, dan level manajemen konstruksinya. Dapat dilihat bahwa nilai WGA material beton pada studi ini masih sangat rendah dibanding Amerika, Norway, Thailand dan Korea. Hal ini dipengaruhi juga oleh beberapa faktor seperti jenis bangunan dan kondisi ekonomi yang akan mempengaruhi harga dan metode pelaksanaan pada material beton atau *ready mix* (Li dkk, 2013). Selanjutnya diikuti nilai WGA pada material mortar dan

keramik yang lebih rendah dari Korea. Seperti dengan halnya beton, perbedaan ini dipengaruhi fungsi bangunan dan harga material pada tiap negara. Nilai untuk material besi masih cukup rendah dibanding Amerika, Norway, dan Korea. Untuk material tripleks bekisting dan bata masih dibawah Amerika, Norway, dan Korea. Seperti yang sudah dijelaskan di awal tripleks bekisting di Indonesia masih cukup populer dan penggunaan tripleks bekisting juga dikurangi dengan menggunakan kembali tripleks bekisting ke bagian struktur lainnya. Hal tersebut menjadi salah satu alasan bahwa penanganan *waste* tripleks bekisting di proyek kasus ini sudah cukup baik. Secara keseluruhan dari perbandingan WGA material dan total WGA pada studi ini sudah cukup baik yang rata-rata sudah dibawah dari nilai WGA keempat negara tersebut. Menurut Li dkk (2013) perlu diketahui bahwa perbandingan tersebut tidak mutlak sebagai acuan yang pasti hal ini dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai WGA dari setiap negara mulai dari jenis struktur bangunan, jenis metode dan teknologi pelaksanaan, dan harga material di setiap negara

Selanjutnya data di Tabel 5.16 merupakan perbandingan nilai MWR pada studi ini dengan MWR negara lain. Pada studi ini tripleks bekisting menjadi material dengan nilai MWR tertinggi dibanding dengan material lainnya. Terlihat pada tabel 5.13 MWR tripleks bekisting pada studi ini masih dibawah MWR di negara lain. Begitu juga untuk material beton, besi, bata, dan keramik masih berada dibawah MWR pada negara lainnya. Untuk MWR mortar studi ini masuk dalam rentang MWR di negara Amerika. WGA dan MWR yang aktual. Pada saat yang sama membandingkan data studi ini dengan negara lain juga dapat memberikan gambaran perbandingan MWR dan WGA aktual untuk meningkatkan optimasi pengendalian *waste* di suatu proyek. Upaya dalam meminimalisi *waste* harus diterapkan mulai dari perencanaan desain hingga dalam pelaksanaannya. Meminimalisi *waste* material dapat dilakukan dengan evaluasi metode pelaksanaan pekerjaan di lapangan agar tidak ada pekerjaan yang *fail*, evaluasi metode penyimpanan material, optimasi penggunaan material, kontrol dan evaluasi pengangkutan dan pengadaan setiap material, meningkatkan ketrampilan pekerja,

dan optimasi penggunaan teknologi BIM dalam perencanaan maupun pelaksanaannya untuk memaksimalkan *value* dan meminimalkam *waste*.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat perhitungan WGA dan MWR untuk bangunan konstruksi di Indonesia. Jumlah pengadaan material dan nilai sisa aktual setiap material digunakan untuk mengestimasi WGA dan MWR baik secara total keseluruhan maupun setiap komponen material. Bangunan konstruksi sekolah yang baru dibangun di Yogyakarta menjadi objek studi untuk penelitian. Diperoleh nilai WGA total pada studi kasus ini adalah 9.89 kg/m^2 . Rincian pada jumlah tersebut adalah 9.12 kg/m^2 merupakan material beton, 0.134 kg/m^2 material besi, 0.072 kg/m^2 material tripleks bekisting, 0.104 kg/m^2 material bata ringan, 0.311 kg/m^2 material mortar, dan 0.151 kg/m^2 material keramik.

Untuk nilai MWR dianalisa dari perbandingan secara total pengadaan dan per-pengadaan dari setiap material. Untuk MWR besi secara total pengadaan adalah 0.172% dan MWR per-pengadaan berada di rentang $0.1\% - 0.72\%$. MWR beton secara total adalah 0.834% dan MWR per-pengadaan berada di rentang $0.119\% - 2.237\%$. MWR tripleks bekisting secara total adalah 1.643% dan MWR per-pengadaan berada di rentang $0.923\% - 2.73\%$. MWR bata ringan secara total adalah 0.974% dan MWR per-pengadaan berada di rentang $0.591\% - 2.21\%$. MWR mortar secara total adalah 1.371% dan MWR per-pengadaan berada di rentang $0\% - 9.09\%$. MWR keramik secara total adalah 1.32% dan MWR per-pengadaan berada di rentang $0.893\% - 1.91\%$.

Data tersebut dibandingkan dengan data empiris di China dengan nilai normalnya berdasarkan *Shenzhen Construction Norm*, dan data ekonomi di negara lain. Ditinjau dari nilai MWR setiap material, studi ini masih berada di bawah nilai MWR yang ada di China dan kondisi negara lain. Selanjutnya apabila ditinjau dari nilai WGA setiap material, material *ready mix* dan besi berada di atas nilai WGA yang ada di China. Apabila dibandingkan dengan kondisi negara lain, MWR

material mortar masuk dalam rentang data Amerika dan untuk MWR material lainnya masih dibawah kondisi negara lain. Kemudian apabila ditinjau dari nilai WGA secara total, pada studi ini masih berada dibawah nilai WGA di negara lain. Menurut manajer proyek dari hasil data dan analisis tersebut akan bermanfaat untuk dijadikan bahan evaluasi metode kerja dan pengadaan-pengadaan setiap materialnya. Manajer proyek akan menjadikan hasil analisa tersebut sebagai referensi acuan dalam mengontrol *waste* pada proyek-proyek yang akan datang. Sebagai contoh pada material *ready mix* merupakan material penyumbang *waste* terbesar sehingga manajer proyek mengemukakan bahwa akan melakukan evaluasi lagi pada saat menghitung kuantitas kebutuhan *ready mix* secara langsung di lapangan sebelum proses pengecoran. Perhitungan akan dilakukan evaluasi dengan pelaksana lapangan, *quantity surveyor*, dan dari pihak vendor *ready mix*.

Perbandingan data ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan valid dan praktis untuk memperkirakan WGA dan MWR aktual. Metode yang dijelaskan sangat cocok diterapkan untuk melakukan investigasi statistik konstruksi dalam skala besar karena data yang dibutuhkan sederhana. Dengan melakukan investigasi statistik dalam skala regional maupun nasional, dapat diperoleh informasi yang melimpah terkait besaran dan komposisi *waste* konstruksi dan dapat digunakan untuk menyusun suatu kebijakan atau peraturan terkait pengelolaan *waste* konstruksi yang tepat. Berdasarkan hasil penelitian, tolak ukur WGA dan MWR dapat dijadikan acuan atau referensi untuk industri konstruksi dalam menangani permasalahan efektifitas pengurangan *waste*. Hal itulah yang menjadi tujuan penelitian ini di masa mendatang.

6.2 Saran

Batasan penelitian metode yang digunakan dalam menghitung WGA sangat tergantung dengan akurasi nilai MWR yang digunakan manajer proyek. Pihak manajer proyek juga diwajibkan menjelaskan data secara rinci terkait data yang diberikan mulai dari sebab penggunaan angka tersebut dan solusi yang tepat dalam menghadapi penyimpangan hasil data. Selain itu, metode tersebut hanya untuk

memberikan perkiraan ‘kasar’ dari komposisi dan jumlah timbulan *waste* konstruksi. Apabila ingin meningkatkan akurasi dalam estimasi maka setiap elemen bangunan dan karakteristik bangunan harus diperinci lagi. Tentu saja dengan persyaratan tersebut akan meningkatkan estimasi *waste* yang lebih kompleks.



DAFTAR PUSTAKA

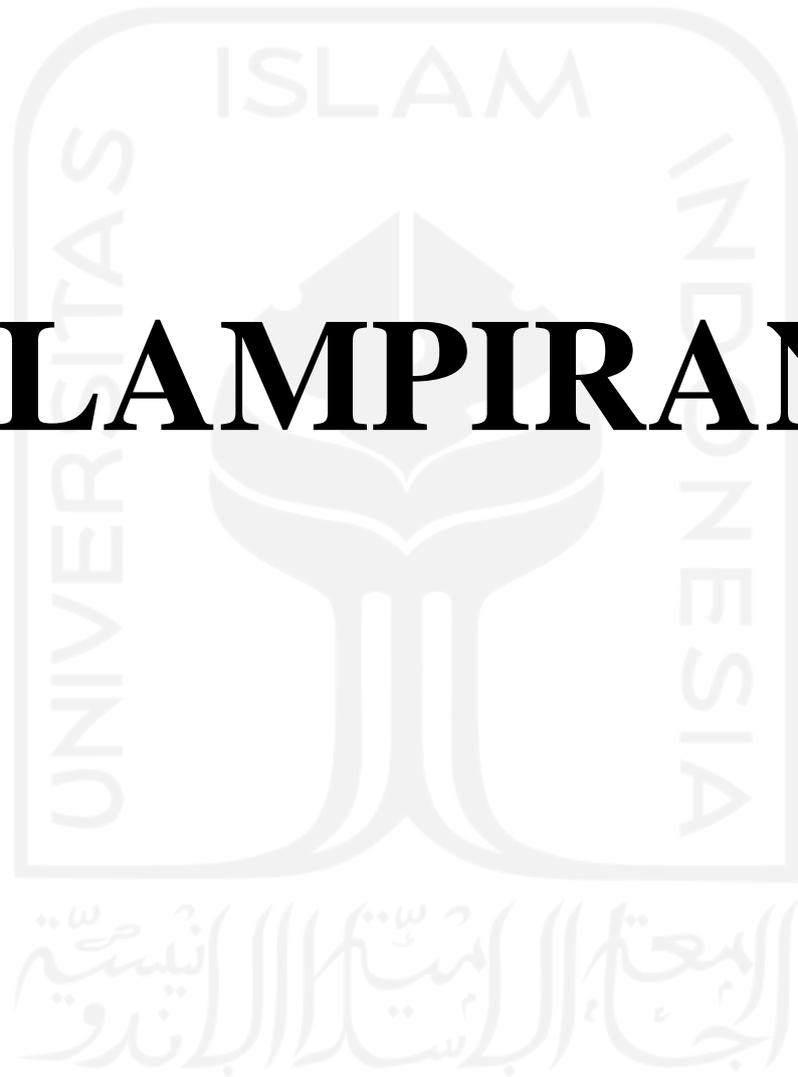
- Abduh, M. 2007. *Konstruksi Ramping: Memaksimalkan Value Dan Meminimalkan Waste. Fakultas Teknik Sipil Dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.*
- Ameh O.J., Daniel E.I. 2013. Professionals Views of Material Wastage on Construction Sites and Cost Overruns. *Org Technol Manag Constr: International Journal*. No.5: 747–57.
- Aureliano, F., Costa., Junior, I.F., Rodrigues, R.A. 2019. Application of Lean Manufacturing in Construction Management. *Procedia Manufacturing*. No. 38: 241-247.
- Aziz, R.RF., Hafez, S.M. 2013. Applying Lean Thinking in Construction and Performance Improvement. *Alexandria Engineering Journal*. No. 52: 679-695.
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Konstruksi 2018. Badan Pusat Statistik Indonesia. (In Press).* Indonesia
- Branz. 2002. *Easy Guide to Reducing Construction Waste. A Practical Guide to Reducing Waste from Building Sites.*
- Bergsdal, H., Bohne, R.A., Brattebo, H. 2007. Projection of Construction And Demolition Waste in Norway. *Journal of Industrial Ecology*. No.11:27–39.
- Bossink, B.A.G., Brouwers, H.J.H. 1996. Construction waste: quantification and source evaluation. *Constr. Eng. Manage Vol: 122*. Page: 55–60.
- Cochran, K.M., Townsend, T.G. 2010. Estimating construction and demolition debris generation using a materials flow analysis approach. *Waste Management*. No.30: 2247–54.
- Craven, D.J., Okraglik, H.M., Eilenberg, I.M. 1994. Construction Waste and a New Design Methodology. *In: Proceeding of 1st Conference of CIB TG 16, Sustainable Construction Tampa. USA.*
- Ding, T., Xiao, J., 2014. Estimation of building-related construction and demolition waste in Shanghai. *Waste Management, Vol: 34*. Page: 2327–2334.
- Formoso, C.T., Soibelman, L., Cesare, C.D., Isatto, E.L. 2002. Material Waste in Building Inventory: Main Causes and Prevention. *Journal Construction Engineering Management*. No.128: 316-325.

- Franklin Associates. 1998. Characterization of Building Related Construction and Demolition Debris in the United States. *USA: US Environmental Protection Agency*. EPA-530-R-98-010
- Gavilan, R.M., Bemold, L.E. 1994. Source Evaluation of Solid Waste in Building Construction. *Journal Construction Engineering Management*. No. 120 (Vol. 3): 536–555.
- Hoang, N.H., Ishigaki, T., Kubota, R., Tong, K.T., Nguyen, T.T., Nguyen, H.G., Yamada, M., Kawamoto, K., 2020. Waste Generation, Composition, and Handling in Building-related Construction and Demolition in Hanoi, Vietnam. *Waste Management*. No. 117: 32-41.
- Illingworth, J.R. 1998. Waste in The Construction Process. *Construction Methods and Planning*, 2nd ed. London.
- Jaillon, L., Poon, C.S., Chiang, Y.H. 2009. Quantifying the Waste Reduction Potential of Using Prefabrication in Building Construction in Hong Kong. *Waste Managemet*. No. 29: 309–320.
- Kofoworola, O.F., Gheewala, S.H. 2008. Estimation of Construction Waste Generation and Management in Thailand. *Journal of Waste Management Vol. 29*. Page: 731– 738.
- Li, J., Ding Z., Mi, Xuminang., Wang, J. 2013. Investigation and analysis on generation rate of construction waste. *Construction Economics*. No. 1: 6-83.
- Li, J., Ding Z., Mi, Xuminang., Wang, J. 2010. A Model for Estimating Construction Waste Generation Index for Building Project in China. *Resources, Conservation, and Recycling*. No. 74: 20-26.
- Llatas, C. 2011. A model for Quantifying Construction Waste In Projects According To The European Waste List. *Waste Management*. No.31: 1261–76.
- Lu, W., Yuan, H., Li, J., Hao, J.J.L., Mi, X., Ding, Z. 2011. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. *Waste Management, Vol: 31*. Page: 680–687
- Lu KA. 1999. Status Quo and Comprehensive Utilization of Refuse Produced from Construction and Removal of Building in China. *Construction Technology*. No.28: 44–5.

- Luo, T., Wu, C., Duan, L. 2018. Fishbone Diagram and Risk Matrix Analysis Method and Its Application in Safety Assessment of Natural Gas Spherical Tank. *Journal of Cleaner Production*. No. 174: 296-304.
- Marhani, M.A., Jaapar, A., Bari, N.A.A. 2012. Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. No. 68: 87-98.
- Nurdin, A.A. 2016. Kajian Implementasi Integrated Construction Management Software (ICMS) Untuk Perhitungan Rencana Anggaran Biaya Dan Penjadwalan Proyek Konstruksi. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Poon, C.S., Yu, A.T.W & Ng, L.H. 2004. Management of Construction Waste in Public Housing Projects Hong Kong. *Construction, Management and Economics*. No. 22: 675-689.
- Seo S, Hwang Y. 1999. An estimation of construction and demolition debris in Seoul, Korea: waste amount, type, and estimating model. *Journal of the Air and Waste Management Association*. No.49(8):980-5
- Septiawan, D.B., Beki, R. 2016. Analysis of Project Construction Delay Using Fishbone Diagram at P.T Rekayasa Industri. *Journal of Business and Management, Vol. 5*. No.5: 634-650.
- Shi, J., Xu, Y., Shi, J., Xu, Y., 2007. Estimation and forecasting of concrete debris amount in China. *Resource Conservation Recycle, Vol: 49*. Page: 147-158.
- Skoyles, E.R., Skoyles, J.R. 1987. Waste Prevention on Site. *Mitchell Publishing*. London.
- Soeharto, I. 1997. Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional. Erlangga. Jakarta
- Tam, VWY., Tam, CM. 2008. Waste reduction through incentives: a case study. *Building Research and Information*. No.36: 37-43.
- Tam, V.W.Y., Tam, C.M., Zeng, S.X., Ng, W.C.Y., 2007. Towards Adoption of Prefabrication in Construction. *Building Environment, Vol: 42*. Page: 3642-3654.
- United Kingdom Government – Department for Communities and Local Government. 2006. Code for Sustainable Homes. *London, United Kingdom: The Department for Communities and Local Government*. London

- Womack and Jones. 1996. *Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Michigan: Simon & Schuster.
- Wu, H., Duan, H., Zheng, L., Wang, J., Niu, Y., Zhang, G. 2016. Demolition waste generation and recycling potentials in a rapidly developing flagship megacity of South China: prospective scenarios and implications. *Construction Building Material, Vol: 113*. Page: 1007–1016.
- Wulfram, E. 2002. *Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi*. Andi. Yogyakarta.
- Yahya, K. and Boussabaine, A.H. 2004. Eco-costs of Sustainable Construction Waste Management. *Proceedings of the 4th International Postgraduate Research Conference*. Salford. Page:142-50.
- Yost, P., Halstead, J. 1996. A Methodology for Quantifying The Volume of Construction Waste. *Waste Management and Research*. No.14: 453–61.
- Yuan, H., Shen, L., 2011. Trend of the Research on Construction and Demolition Waste Management. *Waste Management, Vol: 31*. Page: 670–679.
- Yu, Bo., Wang, J., Li, J., Zhang, J., Lai, Y., Xu, X. 2019. Prediction of large-scale demolition waste generation during urban renewal: A hybrid trilogy method. *Waste Management, Vol: 89*. Page: 1-9.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Data *Purchasing Order* Material Proyek

 PT PP (Persero) Tbk DIVISI GEDUNG 1 Proyek : Universitas Gadjah Mada, Gedung FRC - Yogyakarta Alamat : Jl. Tunjungan, Area Sewah, Kulon Progo, Yogyakarta					
PURCHASE ORDER – MATERIAL					
3. Kepada / To :		PT. KRAKATAU WAJATAMA OSAKA STEEL		1. No. : 425/PO1/2020	
4. Alamat / Address :		Gedung Krakatau Steel, Jl. Jend. Gatot Soebroto KAV 54 Jakarta		2. Tanggal / Date : 15 Januari 2020	
5. Dikirim ke / Deliver To :		Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada Jl. Tunjungan, Area Sewah, Kulon Progo, Yogyakarta			
6. Berdasarkan Terminals Pembelian / Basis of Purchase Requirement :		425/PO1/2020			
7. No.	8. Banyak / Quantity	9. Uraian / Description	10. Standar & Spesifikasi / Standard & Specification	11. Harga Satuan / Price (Rp.)	12. Jumlah / Amount (Rp.)
1	199,468.0 kg	Besi Beton	S-11S-2004	7,500.00	1,496,010,000.00
				Jumlah PPN 10 %	149,801,000.00
				Total	1,645,811,000.00
TERBILANG : Satu milyar enam ratus empat puluh lima juta enam ratus sebelas ribu rupiah					
13. Lain-lain / Miscellaneous: a. Koleksi harga : Sudah memo Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada b. Waktu penyerahan barang : Sesuai permintaan lapangan c. Cara pembayaran : Reguler 90 hari d. Bank & No. Rekening : e. NPWP PT. PP (Persero) Tbk : 01.001.6137-093-000 PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK Jl. TB Simulupang No. 57 Pasar Rebo, Jakarta Timur - 13710					
Yang menerima order PT. KRAKATAU WAJATAMA OSAKA STEEL		Menyetujui  Privatono PM		Yang memberi order PT PP (Persero) Tbk  Agus Dwianto SEM	

*Pilih salah satu

Sumber: Proyek PT PP (PERSERO)

Gambar L-1.1 *Purchasing Order* Material Besi Beton

7. No	8. Banyak Quantity	9. Uraian Description	10. Standar & Spesifikasi Standard & Specification	11. Harga Satuan Unit Price (Rp)	12. Jumlah Amount (Rp)
1	199,466.0 kg	Besi Beton	BJTS-420B	7,500.00	1,496,010,000.00
				Jumlah PPN 10 %	1,496,010,000.00 149,601,000.00
				Total	1,645,611,000.00

TERBILANG : Satu milyar enam ratus empat puluh lima juta enam ratus sebelas ribu rupiah

13. Lain - lain / Miscellaneous

a. Keterangan harga : Sudah nego Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada

b. Waktu penyerahan barang : Sesuai permintaan lapangan

c. Cara pembayaran : Regular 90 hari

d. Bank & No. Rek :

e. NPWP PT. PP (Persero) Tbk : 01.001.513F-093.000
PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK
Jl. TB Simelupang No. 57
Pasar Rebo, Jakarta Timur - 13710

Yang menerima order
PT. KRAKATAU WAJATAMA OSAKA STEEL

Menyetujui

Privatono
PM

Yang memberi order
PT PP (Persero) Tbk

Agus Dwianto
SEM

*Pilih salah satu.

Sumber: Proyek PT PP (PERSERO)

Gambar L-1.2 Purchasing Order Material Besi Beton

7. No.		8. Banyak Quantity	9. Uraian Description	10. Standar & Spesifikasi Standard & Specification	11. Harga Sat Unit Price (Rp.)	12. Jumlah Amount (Rp.)
1		173,645.0 kg	Besi Beton	BITS 4206	7,500.00	1,302,337,500.00
					Jumlah	1,302,337,500.00
					PPN 10 %	130,233,750.00
					Total	1,432,571,250.00

TERBILANG : Satu milyar empat ratus tiga puluh dua juta lima ratus tujuh puluh satu ribu dua ratus lima puluh rupiah

13. Lain-lain / Miscellaneous

a. Keterangan harga : Sudah nego Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada
b. Waktu penyerahan barang : Sesuai permintaan lapangan
c. Cara pembayaran : Reguler 90 hari
d. Bank & No. Rekening :
e. NPWP PT. PP (Persero) Tbk : 01.001.5137-053.000
PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK
Jl. T.S. Simulung No. 57
Pasar Rebo, Jakarta Timur - 13710

Yang menerima order
PT. KRAKATAU WAJATAMA OSAKA STEEL

Menyetujui

Yang memberi order
PT PP (Persero) Tbk


Priyantono
PM


Agus Dwianto
SEM

*Pilih salah satu

Sumber: Proyek PT PP (PERSERO)

Gambar L-1.3 Purchasing Order Material Besi Beton

7. No	8. Banyak Quantity	9. Uraian Description	10. Standar & Spesifikasi Standard & Specification	11. Harga Satuan Unit Price (Rp)	12. Jumlah Amount (Rp)
1	3,223.00 m ²	Tripleks Bekisting 12 mm	Poly Resin Multiplex (1,22 x 2,44)	365,000.00	1,176,395,000.00
				Jumlah PPN 10 %	1,176,395,000.00 117,639,500.00
				Total	1,294,034,500.00

TERBILANG : Satu milyar dua ratus sembilan puluh empat juta tiga puluh empat ribu lima ratus rupiah

13. Lain - lain / Miscellaneous

a. Keterangan harga : Sudah nego Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada

b. Waktu penyelesaian barang : Sesuai permintaan lapangan

c. Cara pembayaran : Regular 90 hari

d. Bank & No. Rek :

e. NPWP PT. PP (Persero) Tbk : 01.001.513F-093.000
PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK
Jl. TB Smetulung No. 57
Pasar Rebo, Jakarta Timur - 13710

Yang menerima order
PT. BETON PERKASA WIJAKSANA

Yang memberi order
PT PP (Persero) Tbk

Privantono
PM

Agus Dwianto
SEM

*Pilih salah satu.

Sumber: Proyek PT PP (PERSERO)

Gambar L-1.4 Purchasing Order Material Tripleks Bekisting

7. No	8. Banyak Quantity	9. Urutan Description	10. Standar & Spesifikasi Standard & Specification	11. Harga Sat Unit Price (Rp)	12. Jumlah Amount (Rp)
1	1,015.00 m ³	Beton Ready Mix	K350 (fc-29-30 B) SL 12x2 MFA	693,000.00	703,395,000.00
				Jumlah	703,395,000.00
				PPN 10 %	70,339,500.00
				Total	773,734,500.00

TERBILANG : *Tujuh ratus tujuh puluh tiga juta tujuh ratus tiga puluh empat ribu lima ratus rupiah*

13. Lain - lain / Miscellaneous

a. Keterangan harga : Sudah nego Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada

b. Waktu penyelesaian barang : Sesuai permintaan lapangan

c. Cara pembayaran : Reguler 90 hari

d. Bank & No. Rek :

e. NPWP PT. PP (Persero) Tbk : 01.001.513F-693.000
PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK
Jl. TB Smetulung No. 57
Pasar Rebo, Jakarta Timur - 13710

Yang menerima order
PT. VARIA BETON USAHA

Menyetujui

Privatono
PM

Yang memberi order
PT PP (Persero) Tbk

Agus Dwianto
SEM

*Pilih salah satu.

Sumber: Proyek PT PP (PERSERO)

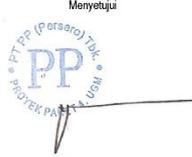
Gambar L-1.5 Purchasing Order Material Ready Mix

 CONSTRUCTION & INVESTMENT		PT PP (Persero) Tbk DIVISI GEDUNG 1			
Proyek : Universitas Gadjah Mada, Gedung FRC - Yogyakarta Alamat : Jl. Raya Ponokawan 6B, Desa Ponokawan, Sidoarjo Jawa Timur		1. No : 443/PO/VIII/2020 2. Tanggal / Date : 01 Agustus 2020			
PURCHASE ORDER – MATERIAL					
3. Kepada / To : PT. SURYA INDOGREEN KENCANA		1. No : 443/PO/VIII/2020			
4. Alamat / Address : Jl. Raya Ponokawan 6B, Desa Ponokawan, Sidoarjo Jawa Timur		2. Tanggal / Date : 01 Agustus 2020			
5. Dikirim ke / Deliver To : Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada Jl. Tanjungan, Area Sawah, Kulon Progo, Yogyakarta					
6. Berdasarkan Permintaan Pembelian : 443/PO/VIII/2020 <i>Basic of Purchase Requisition</i>					
No	8. Banyak Quantity	9. Uraian Description	10. Standar & Spesifikasi Standard & Specification	11. Harga Sat Unit Price (Rp.)	12. Jumlah Amount (Rp.)
1	93 00 m ³	Bata Ringan Hebel	Hebel Elephair AAC 10x20x60	650,000.00	60,450,000.00
				Jumlah	60,450,000.00
				PPN 10 %	6,045,000.00
				Total	66,495,000.00
TERBILANG : Enam puluh enam juta empat ratus sembilan puluh lima ribu rupiah					
13. Lain - lain / Miscellaneous a. Keterangan harga : Sudah nego Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada b. Waktu penyelesaian barang : Sesuai permintaan lapangan c. Cara pembayaran : Reguler 90 hari d. Bank & No. Rek : e. NPWP PT. PP (Persero) Tbk : 01.001.9137.092.000 PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK Jl. TB Smeruagung No. 57 Pasar Rebo, Jakarta Timur - 13710					
Yang menerima order PT. SURYA INDOGREEN KENCANA		Menyetujui  Priyantono PM		Yang memberi order PT PP (Persero) Tbk  Aque Dwianbro SEM	

*Pilih salah satu

Sumber: Proyek PT PP (PERSERO)

Gambar L-1.6 Data Purchasing Order Material Bata Ringan

 CONSTRUCTION & INVESTMENT		PT PP (Persero) Tbk DIVISI GEDUNG 1		Proyek : Universitas Gadjah Mada, Gedung FRC - Yogyakarta Alamat : Jl. Tunjungan, Area Sawah, Kulon Progo, Yogyakarta	
PURCHASE ORDER – MATERIAL					
3. Kepada / To	: PT. NIRO CERAMIC NASIONAL INDONESIA	1. No	: 444/PO/III/2020		
4. Alamat / Address	: Jl. Dr. Idr Anak Agung Gde E4/2, Kuningan Jakarta	2. Tanggal / Date	: 02 Agustus 2020		
5. Dikirim ke / Deliver To	: Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada Jl. Tunjungan, Area Sawah, Kulon Progo, Yogyakarta				
6. Berdasarkan Permintaan Pembelian / Basis of Purchase Requisition	: 444/PO/III/2020				
7. No.	8. Banyak / Quantity	9. Uraian / Description	10. Standar & Spesifikasi / Standard & Specification	11. Harga Satuan / Price (Rp.)	12. Jumlah / Amount (Rp.)
1	1,818.00 box	Keramik Homogenous Tile	NIRO CED00 Estlio (60 x 60)	171,960.00	312,677,820.00
				Jumlah PPN 10 %	31,267,782.00
				Total	343,945,602.00
TERBILANG : <i>Tiga ratus empat puluh tiga juta sembilan ratus empat puluh lima ribu enam ratus dua rupiah</i>					
13. Lain - lain / Miscellaneous a. Keterangan harga : Sudah nego Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada b. Waktu penyerahan barang : Sesuai permintaan lapangan c. Cara pembayaran : Reguler 90 hari d. Bank & No. Rek : e. NPWP PT. PP (Persero) Tbk : 01.001.8137.092.000 PT. PEMBAKULANAN PERLUAHAN (PERSERO) TBK Jl. TB Smeruagung No. 57 Pasar Rebo, Jakarta Timur - 13710					
Yang menerima order PT. NIRO CERAMIC NASIONAL INDONESIA		Menyetujui  Priyantono PM		Yang memberi order PT PP (Persero) Tbk  Agus Dwanbro SEM	

*Pilih salah satu

Sumber: Proyek PT PP (PERSERO)

Gambar L-1.7 Data Purchasing Order Material Keramik

 CONSTRUCTION & INVESTMENT		PT PP (Persero) Tbk DIVISI GEDUNG 1			
Proyek : Universitas Gadjah Mada, Gedung FRC - Yogyakarta Alamat : Jl. Soekarno Hatta No. 10D, Semarang Jawa Tengah		1. No : 447/PO/III/2020 2. Tanggal / Date : 05 Agustus 2020			
PURCHASE ORDER – MATERIAL					
3. Kepada / To : PT. CIPTA MORTAR UTAMA		1. No : 447/PO/III/2020			
4. Alamat / Address : Jl. Soekarno Hatta No. 10D, Semarang Jawa Tengah		2. Tanggal / Date : 05 Agustus 2020			
5. Dikirim ke / Deliver To : Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada Jl. Tanjungan, Area Sawah, Kulon Progo, Yogyakarta					
6. Berdasarkan Permisian Pembelian : 447/PO/III/2020 <i>Basic of Purchase Requisition</i>					
7. No.	8. Banyak Quantity	9. Uraian Description	10. Standar & Spesifikasi Standard & Specification	11. Harga Sat Unit Price (Rp.)	12. Jumlah Amount (Rp.)
1	2,023.00 zak	- Pleselan 40kg	MU-202	65,200.00	131,899,600.00
2	676.00 zak	- Adan 40kg	MU-250	60,700.00	34,222,500.00
				Jumlah	166,122,100.00
				PPN 10 %	16,612,210.00
				Total	182,734,310.00
TERBILANG : Seratus delapan puluh dua juta tujuh ratus tiga puluh empat ribu tiga ratus sepuluh rupiah					
13. Lain - lain / Miscellaneous a. Keterangan harga : Sudah nego Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada b. Waktu penyerahan barang : Sesuai permintaan lapangan c. Cara pembayaran : Reguler 90 hari d. Bank & No. Rek : e. NPWP PT. PP (Persero) Tbk : 01.001.8137.092.000 PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK Jl. TB Smeruagung No. 57 Pasar Rebo, Jakarta Timur - 13710					
Yang menerima order PT. CIPTA MORTAR UTAMA		Menyetujui  Priyantono PM		Yang memberi order PT PP (Persero) Tbk  Agus Dwianbro SEM	

*Pilih salah satu

Sumber: Proyek PT PP (PERSERO)

Gambar L-1.8 Data Purchasing Order Mortar

7. No	8. Banyak Quantity	9. Uraian Description	10. Standar & Spesifikasi Standard & Specification	11. Harga Satuan Unit Price (Rp)	12. Jumlah Amount (Rp)
1	145,00 m ³	Beton Ready Mix	<350 (fc-29-30,3) SL 12x2 NFA	693,000.00	100,485,000.00
				Jumlah PPN 10 %	100,485,000.00 10,048,500.00
				Total	110,533,500.00

TERBILANG : Seratus sepuluh juta lima ratus tiga puluh tiga ribu lima ratus rupiah

13. Lain - lain / Miscellaneous

a. Keterangan harga : Satuan nego Lokasi Proyek Gedung FRC Universitas Gadjah Mada

b. Waktu penyelesaian barang : Sesuai permintaan lapangan

c. Cara pembayaran : Regular 90 hari

d. Bank & No. Rek :

e. NPWP PT. PP (Persero) Tbk : 01.001.513F-693.000
PT. PEMBANGUNAN PERUMAHAN (PERSERO) TBK
Jl. TB Simelupang No. 57
Pasar Rebo, Jakarta Timur - 13710

Yang menerima order
PT. VARIA BETON USAHA

Yang memberi order
PT PP (Persero) Tbk

Privantono
PM

Agus Dwianto
SEM

*Pilih salah satu.

Sumber: Proyek PT PP (PERSERO)

Gambar L-1.9 Data Purchasing Order Material Ready Mix