



TESIS - RC185401

**MODEL PENGARUH *GREEN CONSTRUCTION*  
TERHADAP PENGURANGAN LIMBAH KONSTRUKSI  
BERBASIS SISTEM DINAMIK**

**MUHAMMAD ZULFIKAR**  
03111750030021

Dosen Pembimbing  
Ir. I Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D.  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan Dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2020





**TESIS - RC185401**

**MODEL PENGARUH GREEN CONSTRUCTION  
TERHADAP PENGURANGAN LIMBAH  
KONSTRUKSI BERBASIS SISTEM DINAMIK**

**MUHAMMAD ZULFIKAR  
03111750030021**

**Dosen Pembimbing  
Ir. I Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D.  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.**

**Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan Dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2020**





**THESIS - RC185401**

**INFLUENCE MODEL OF GREEN CONSTRUCTION  
TOWARDS CONSTRUCTION WASTE REDUCTION  
BASED ON SYSTEM DYNAMIC**

**MUHAMMAD ZULFIKAR  
03111750030021**

**Supervisor  
Ir. I Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D.  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.**

**Department of Civil Engineering  
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2020**



# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**MUHAMMAD ZULFIKAR**

**NRP: 03111750030021**

Tanggal Ujian: 14 Januari 2020

Periode Wisuda: Maret 2020

Disetujui oleh:

**Pembimbing:**



1. Ir. Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D.  
NIP: 19691125 199903 1 001

.....

2. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP: 19700427 200501 2 001

.....

**Penguji:**

1. Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP: 19740420 200212 1 003

.....

2. Dr. Farida Rachmawati, S.T., M.T.  
NIP: 19811014 200812 2 001

.....

Kepala Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan



**Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.**

NIP: 19721202 199802 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

**Tesis** yang berjudul: “MODEL PENGARUH *GREEN CONSTRUCTION* TERHADAP PENGURANGAN LIMBAH KONSTRUKSI BERBASIS SISTEM DINAMIK” ini adalah karya penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya ilmiah/tulis untuk memperoleh gelar akademik maupun karya ilmiah/tulis yang pernah dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dijadikan kutipan dari bagian karya ilmiah/tulis orang lain dengan menyebutkan sumbernya, baik dalam naskah tesis maupun daftar pustaka.

Apabila ternyata ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur plagiasi di dalam naskah **tesis** ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan akademik ITS dan/atau perundang-undangan yang berlaku.

Surabaya, 24 Januari 2020



**Muhammad Zulfikar**

**NRP. 03111750030021**



# MODEL PENGARUH *GREEN CONSTRUCTION* TERHADAP PENGURANGAN LIMBAH KONSTRUKSI BERBASIS SISTEM DINAMIK

Nama Mahasiswa : Muhammad Zulfikar  
NRP : 03111750030021  
Dosen Pembimbing I : Ir. Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D.  
Dosen Pembimbing II : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

## ABSTRAK

Tantangan yang dihadapi masyarakat secara global saat ini yaitu permasalahan lingkungan yang salah satunya disebabkan oleh limbah konstruksi. Hampir sebagian besar negara di dunia terutama Asia memproduksi limbah konstruksi yang membebani dan memberikan dampak negatif bagi lingkungan. Konsep *green construction* merupakan salah satu solusi permasalahan tersebut yang dimana diharapkan dapat mengembalikan dan menjaga keseimbangan antara lingkungan alami dan buatan. Namun implementasi *green construction* yang masih terbatas dan belum mencapai tingkat sistem merupakan permasalahan yang perlu menjadi perhatian serta yang paling krusial dari *green construction* yaitu efek terhadap lingkungan khususnya limbah konstruksi dapat dikatakan belum jelas. Oleh karena itu, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh penerapan konsep *green construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi.

Metode dalam penelitian ini menggunakan pendekatan melalui pengembangan model sistem dinamik untuk menganalisa hubungan antar variabel *green construction* maupun pengaruh dari penerapannya terhadap pengurangan limbah konstruksi. Pengembangan model sistem dinamik penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan mulai dari penyusunan *causal loop diagram*, *stock flow diagram* dan skenario. Pengumpulan data penelitian dilakukan dengan menyebarkan kuisioner dan melakukan wawancara kepada responden yang terdiri dari *project manager*, *site manager*, konsultan desain dan konsultan pengawas.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan ada empat variabel/faktor utama dan sepuluh indikator yang mempengaruhi tingkat penerapan *green construction* dalam hubungannya dengan pengurangan limbah konstruksi. Keempat variabel utama tersebut adalah perencanaan dan penjadwalan proyek, peralatan dan teknologi konstruksi, sumber dan siklus material, dan manajemen lingkungan proyek konstruksi. Hasil simulasi pada *base* model memperlihatkan bahwa penerapan *green construction* mengurangi jumlah limbah konstruksi sebesar 17,703 %, dimana hal ini membuktikan bahwa jumlah limbah konstruksi berkurang sejalan dengan peningkatan penerapan *green construction*. Pada model skenario struktur yang dikembangkan menunjukkan bahwa metode konstruksi tepat/inovatif memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penerapan *green construction* dalam mengurangi jumlah limbah konstruksi yaitu sebesar 36,453 %.

Kata kunci: *Green construction*, limbah konstruksi, model sistem dinamik.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan...”*

# **INFLUENCE MODEL OF GREEN CONSTRUCTION TOWARDS CONSTRUCTION WASTE REDUCTION BASED ON SYSTEM DYNAMIC**

By : Muhammad Zulfikar  
Student Number : 03111750030021  
Supervisor : Ir. Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D.  
Co-supervisor : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

## **ABSTRACT**

The challenges facing society globally today are environmental problems, one of which is caused by construction waste. Most of the countries in the world, especially Asia, produce construction waste which is a burden and has a negative impact on the environment. The concept of green construction is one of the solutions to these problems which are expected to restore and maintain a balance between the natural and artificial environment. However, the implementation of green construction which is still limited and has not yet reached the system level is an issue that needs attention and the most crucial part of green construction is that the effect on the environment, especially construction waste, is unclear. Therefore, the main purpose of this research is to find out how the influence of the application of the concept of green construction to the reduction of construction waste.

The method used in this study was an approach through developing a dynamic system model to analyze the relationship between green construction variables and the effect of their application on reducing construction waste. The development of a dynamic system model of this research was divided into several stages starting from the preparation of causal loop diagrams, stock flow diagrams and scenarios. Research data collection was carried out by distributing questionnaires and conducting interviews with respondents consisting of project managers, site managers, design consultants and supervisor consultants.

The results of this study indicated that there were four main variables and ten indicators that influence the level of green construction implementation in relation to the reduction of construction waste. The four main variables were project planning and scheduling, construction equipment and technology, material sources and cycles, and environmental management of construction projects. The simulation results on the base model showed that the application of green construction reduced the amount of construction waste by 17.703%, which proved that the amount of construction waste decreased in line with the increased application of green construction. The structural scenario model developed showed that the appropriate / innovative construction method has a significant influence on the application of green construction in reducing the amount of construction waste that was equal to 36.453%.

Keywords: Green construction, construction waste, dynamic systems model.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan...”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini untuk memenuhi satu syarat kelulusan kuliah Program Magister Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Sholawat dan Salam kepada baginda Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita ke alam yang penuh ilmu pengetahuan. Penulis ingin menyampaikan bahwa penyusunan tesis ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Apresiasi sebesar-besarnya kepada mereka yang telah memberi dukungan dari awal persiapan tesis ini, pertama kepada kedua orang tua penulis, Ayahanda saya Bapak Muniru dan Ibunda saya Ibu Ajaemi yang telah memotivasi, mendukung dan mendoakan penulis dalam keadaan apapun. Begitupun saya ucapkan rasa terima kasih yang dalam dan besar kepada Ayah dan Ibu Mertua saya, Bapak Azizu dan Ibu Nurbaya. Hanya doa dan bakti yang dapat penulis balas atas kebaikan dan ketulusan mereka. Istri saya tercinta Novesty Noor Azizu dan putri tersayang Falisha Alya Ramadhani yang telah menjadi inspirasi, motivasi dan penyemangat selama menjalani studi ini.

Apresiasi setinggi-tingginya dari penulis kepada Bapak I Putu Artama Wiguna yang telah membimbing dengan sepenuh hati memberikan dukungan dan dorongan tiada henti, terutama dalam masa-masa sulit yang dihadapi penulis. Beliau selalu teliti dalam mengajarkan bagaimana seorang peneliti melewati setiap tahapannya. Tentu saja ini juga tidak terlepas dari peran Ibu Erma Suryani yang juga selalu memberikan arahan dan meyakinkan penulis tentang banyak hal terutama dalam penyusunan tesis ini. Banyak pengalaman dan pelajaran yang dapat dipetik dari mereka sebagai bekal penulis dimasa mendatang. Merupakan suatu kehormatan yang besar bagi penulis dapat dibimbing oleh mereka, maka dari itu atas jasa mereka hanya doa yang dapat penulis panjatkan untuk segala kebaikan mereka.

Penulis juga sangat berterima kasih kepada Bapak Tri Joko Wahyu Adi dan Ibu Farida Rachmawati yang telah memberikan banyak komentar dan arahan yang sangat positif dalam membantu penelitian ini menjadi lebih baik. Tidak hanya sebatas dosen penguji, selama ini banyak ilmu yang diajarkan beliau sehingga penulis yakin ilmu tersebut akan menjadi bekal berharga bagi penulis dimasa depan. Terima kasih juga kepada rekan-rekan belajar yang telah menjadi mitra diskusi selama perjalanan studi penulis yaitu Rezky, Putra, Iput, Oryza, Avisha, Panji, Andry, Wanda, Ricky, Triesony, Mas Sony, Niko, Diah, Oriz, Yano, Heppy, Wiwid, Arif, Naufal, Ali, Domi, Novia, Laras, Ayik, Pak Aditya dan seluruh rekan angkatan Pasca Civil yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis.

Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara selaku pemberi beasiswa studi dan seluruh jajaran khususnya Kepala Dinas Pendidikan Prov. Sultra, Inspektur Prov. Sultra, Kepala Bappeda Prov. Sultra, Kepala BPKAD Prov. Sultra, Irban II Bapak Junarlin dan Ibu Intan Nurcahya selaku pimpinan langsung saya di Inspektorat Prov. Sultra yang telah memberikan bantuan dan dukungan penuh baik berupa materil, non materil dan kebutuhan studi lainnya selama penulis melaksanakan studi Magister Pascasarjana Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Terima kasih juga diucapkan kepada seluruh jajaran staf Jurusan Prodi Megister Teknik Sipil ITS dan kepada seluruh responden wawancara dan survei kuesioner yang telah berpartisipasi memberikan respon berharga dan penting untuk penelitian ini.

Terakhir yang tidak kalah pentingnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar, adik dan kakak (Lela, Gilda, Aris, Lia, Ilu, Alfa, Tegar, Ayu, Kanda Ichal, Enty, Mama Tiara, Tiara, Dela, Edha, Kanda Enny, Kanda Yadi, Kanda Rasman, Nining, Ampo, Are, Kanda Marwan, Ryan, Rani, Kiky, Kanda Ela, Kanda Intan, Kasim, Firman dan Kanda Maudy) serta para sahabat (Ichan Lateli, Tilfan, Rofiq, Adhyn, Adit, Wata, Randi, Ardi, Yudi, Zul fitra, Ramli, Kifly, Alfin, Ade, Fian, Oma Tini dan Rizal). Tidak mudah melalui semua proses tahapan pembelajaran ini tanpa dukungan dan doa dari mereka. Penulis patut bersyukur memiliki mereka yang selalu ada dan mendukung dalam keadaan apapun. Doa akan selalu dipanjatkan penulis kepada mereka agar selalu diberikan keberkahan dan kesuksesan dalam kehidupan mereka. Penulis menyadari bahwa semuanya tidak ada yang sempurna terutama dalam proses penyusunan tesis ini. Maka dari itu penulis dengan segala kerendahan hati memohon maaf atas segala kekurangan, dengan harapan sekecil apapun usaha yang dilakukan penulis dapat menginspirasi dan pembelajaran ini dapat bermanfaat bagi orang lain.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	7
2.1 Konsep <i>Green Construction</i> .....	7
2.1.1 Definisi <i>Green Construction</i> .....	7
2.1.2 Faktor – Faktor <i>Green Construction</i> .....	8
2.1.3 Manfaat Penerapan <i>Green Construction</i> .....	12
2.2 Konsep Limbah Konstruksi .....	12
2.2.1 Definisi Limbah Konstruksi.....	12
2.2.2 Faktor – Faktor Timbulan Limbah Konstruksi .....	13
2.2.3 Pengukuran Limbah Konstruksi.....	15
2.3 Konsep Sistem Dinamik.....	15
2.3.1 Model Sistem Dinamik .....	16
2.3.2 Pengembangan Model Sistem Dinamik.....	16
2.3.3 Diagram Model Sistem Dinamik .....	18

2.4 Regresi Linier Terdahulu.....	19
2.5 Penelitian Terdahulu.....	19
2.6 Posisi Penelitian.....	25
<b>BAB 3 METODOLOGI .....</b>	<b>29</b>
3.1 Desain Penelitian .....	29
3.2 Data Penelitian.....	29
3.2.1 Jenis dan Sumber Data .....	29
3.2.2 Metode Pengumpulan Data .....	30
3.3 Populasi dan Sampel Penelitian.....	31
3.4 Variabel Penelitian .....	31
3.5 Pengolahan Data dan Analisa Sistem Dinamik .....	33
3.5.1 Pengolahan Data Awal .....	33
3.5.2 Pembentukan Model .....	34
3.5.3 Analisa Data .....	37
3.6 Skenario Pemodelan .....	41
3.7 Batasan Model Sistem .....	42
3.7.1 Sub Sistem Perencanaan dan Penjadwalan.....	42
3.7.2 Sub Sistem Peralatan dan Teknologi Konstruksi .....	42
3.7.3 Sub Sistem Sumber dan Siklus Material .....	43
3.7.4 Sub Sistem Manajemen Lingkungan Proyek.....	44
3.7.5 Sub Sistem <i>Green Construction</i> .....	45
3.8 Alur Penelitian.....	46
<b>BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 Pemahaman Sistem.....	49
4.2 Karakteristik Responden.....	50
4.3 Pengembangan Model Konseptual CLD .....	52
4.3.1 Uji Normalitas Data.....	55
4.4 Pengembangan Model <i>Stock Flow Diagram</i> .....	55
4.4.2 Simulasi Model SFD .....	57
4.4.1.1 Sub Sistem Perencanaan dan Penjadwalan.....	58
4.4.1.2 Sub Sistem Peralatan dan Teknologi Konstruksi .....	61
4.4.1.3 Sub Sistem Sumber dan Siklus Material .....	64



4.4.1.4 Sub Sistem Manajemen Lingkungan Proyek .....	66
4.5 Analisa Model Penerapan <i>Green Construction</i> .....	68
4.6 Validasi dan Verifikasi Model .....	71
4.6.1.1 <i>Boundary-adequacy Test</i> dan <i>Structure Assessment Test</i> .....	71
4.6.1.2 <i>Dimension Consistency Test</i> .....	73
4.6.1.3 <i>Sensitivity Test</i> .....	73
4.6.1.4 <i>Yaman Barlas Test</i> .....	76
4.7 Skenario Penelitian.....	78
4.8 Pembahasan.....	81
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
5.1 Kesimpulan .....	85
5.2 Saran .....	86
Daftar Pustaka .....	87

*“Halaman ini sengaja dikosongkan...”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengembangan Model Sistem Dinamik .....	17
Gambar 2.2	Proses Konversi Metode Konstruksi Konvensional Menuju <i>Green Construction</i> .....	20
Gambar 2.3	Skema Model Operasional <i>Green Construction</i> .....	22
Gambar 2.4	<i>Causal-loop Diagram Subsystem</i> Penilaian Manfaat Lingkungan.....	24
Gambar 3.1	Model Diagram Kausatik Awal.....	36
Gambar 3.2	Contoh Model <i>Stock Flow Diagram</i> Awal.....	37
Gambar 3.3	Contoh Pembobotan Nilai Sub Variabel.....	38
Gambar 3.4	Sub Sistem Perencanaan dan Penjadwalan Proyek Konstruksi.	42
Gambar 3.5	Sub Sistem Peralatan/Teknologi Konstruksi .....	43
Gambar 3.6	Sub Sistem Tepat Guna Lahan .....	40
Gambar 3.7	Sub Sistem Sumber dan Siklus Material .....	44
Gambar 3.8	Sub Sistem Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi .....	44
Gambar 3.9	Alur Penelitian.....	46
Gambar 4.1	Grafik Karakteristik Pendidikan Responden.....	50
Gambar 4.2	Grafik Karakteristik Pengalaman Kerja Responden.....	51
Gambar 4.3	Grafik Karakteristik Usia Responden.....	51
Gambar 4.4	Causal Loop Diagram Penelitian.....	54
Gambar 4.5	Stock Flow Diagram Penelitian.....	56
Gambar 4.6	Keterangan Simbol Stock Flow Diagram.....	57
Gambar 4.7	Model Sub Sistem Perencanaan dan Penjadwalan.....	59
Gambar 4.8	Simulasi Model Sub Sistem Perencanaan dan Penjadwalan.....	60
Gambar 4.9	Tingkat Kinerja Perencanaan dan Penjadwalan.....	60
Gambar 4.10	Model Sub Sistem Peralatan dan Teknologi Konstruksi.....	62
Gambar 4.11	Simulasi Sub Sistem Peralatan Dan Teknologi Konstruksi.....	63
Gambar 4.12	Tingkat Kinerja Peralatan Dan Teknologi Konstruksi.....	63
Gambar 4.13	Model Sub Sistem Sumber dan Siklus Material.....	64
Gambar 4.14	Simulasi Model Sub Sistem Sumber dan Siklus Material.....	65

Gambar 4.15	Tingkat Kinerja Variabel Sumber dan Siklus Material.....	65
Gambar 4.16	Model Sub Sistem Manajemen Lingkungan Proyek.....	66
Gambar 4.17	Simulasi Model Sub Sistem Manajemen Lingkungan Proyek...	67
Gambar 4.18	Tingkat Kinerja Variabel Manajemen Lingkungan Proyek.....	67
Gambar 4.19	Tingkat Penerapan Green Construction.....	69
Gambar 4.20	Simulasi Model Penerapan Green Construction.....	70
Gambar 4.21	Hasil <i>Dimesion Consistency Test</i> .....	74
Gambar 4.22	Sensitivity Test Variabel Perencanaan dan Penjadwalan.....	74
Gambar 4.23	Sensitivity Test Variabel Peralatan dan Teknologi Konstruksi..	75
Gambar 4.24	Sensitivity Test Variabel Sumber dan Siklus Material.....	75
Gambar 4.25	Sensitivity Test Variabel Manajemen Lingkungan Proyek.....	76
Gambar 4.26	SFD Model Baru (Skenario Struktur).....	79
Gambar 4.27	Hasil Simulasi Skenario Struktur.....	79
Gambar 4.28	Tingkat Penerapan Green Construction Skenario Struktur.....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Posisi Penelitian .....	25
Tabel 3.1	Variabel dalam Pemodelan Awal .....	31
Tabel 3.2	Skenario Penelitian.....	41
Tabel 3.3	Rekapitulasi Variabel Internal dan Eksternal Sub Sistem.....	45
Tabel 3.4	Jadwal Penelitian.....	45
Tabel 4.1	Hasil Validasi Indikator Variabel.....	52
Tabel 4.2	Hasil Validasi Hubungan Indikator Variabel.....	53
Tabel 4.3	Uji Normalitas Indikator Variabel.....	55
Tabel 4.4	Nilai Parameter Variabel.....	58
Tabel 4.5	Nilai Parameter Indikator Variabel.....	58
Tabel 4.6	Validasi Indikator Variabel Penelitian.....	71
Tabel 4.7	Validasi Struktur Model.....	72
Tabel 4.8	Validasi Data Limbah Konstruksi.....	77

*“Halaman ini sengaja dikosongkan...”*

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Formulir Kuisisioner Pendahuluan.....	95
Lampiran 2	Formulir Kuesioner Utama.....	101
Lampiran 3	Stock Flow Diagram Penelitian.....	107
Lampiran 4	Data Hasil Pengamatan Limbah Konstruksi .....	109
Lampiran 5	Data Hasil Kuisisioner Pendahuluan .....	111
Lampiran 6	Data Hasil Kuesioner Utama.....	113
Lampiran 7	Data Regresi Model Penelitian.....	119
Lampiran 8	Data Hasil Simulasi <i>Base Model</i> .....	123
Lampiran 9	Data Hasil Simulasi Skenario Struktur.....	127
Lampiran 10	Biodata Penulis.....	131

*“Halaman ini sengaja dikosongkan...”*



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Tantangan yang dihadapi masyarakat secara global abad ini yaitu permasalahan lingkungan yang salah satunya disebabkan oleh limbah khususnya limbah pekerjaan konstruksi. Pada tahun 2002, Inggris Raya (Inggris) menghasilkan 200 juta ton total limbah dan 50% dari jumlah ini dihasilkan oleh konstruksi, pembongkaran, renovasi dan pekerjaan perbaikan sedangkan EPA, yang berlokasi di Amerika Serikat (AS), menyatakan bahwa “sekitar 136 juta ton limbah konstruksi dihasilkan pada tahun 1998 dan meningkat menjadi 170 juta ton pada tahun 2003 (Khaleel and Al-Zubaidy, 2018), 2018). Menurut F. Hendriks, (2000), diperkirakan dari total seluruh limbah yang ada di dunia lebih dari 25% limbah yang dibuang di Landfill merupakan limbah konstruksi. Menurut perkiraan Komiyama dan Kraines, (2009) pada tahun 2050 penggunaan seperti besi dan beton yang merupakan bahan utama bangunan akan mencapai 3 - 5 kali pemakaian dibandingkan dengan pemakaian saat ini, dan limbah tersebut tidak berkurang secara signifikan karena tidak sepenuhnya dapat di daur ulang. Sektor konstruksi Eropa menghasilkan 820 juta ton (megagram, Mg, atau 1000 kg) limbah konstruksi dan pembongkaran (CDW) setiap tahun, yaitu sekitar 46% dari jumlah total limbah yang dihasilkan (Eurostat, 2017). India sebagai salah satu negara yang menghadapi kemungkinan terkubur di bawah limbah konstruksinya sendiri dengan menghasilkan 50 juta ton puing pada 2013, dalam delapan tahun terakhir ini 287 juta ton puing konstruksi telah dibuang ke sungai-sungai di seluruh negeri, menyebabkan kerusakan yang tak terhingga pada ekosistem sungai (Herrmann and Bucksch, 2014).

Berdasarkan Konferensi Tingkat Tinggi ke-13 tentang Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) yang diselenggarakan di Bali pada bulan Desember 2007, Indonesia seharusnya tidak terfokus hanya untuk menurunkan konsentrasi CO<sub>2</sub> saja, namun limbah konstruksi juga harus menjadi perhatian yang serius sedangkan disisi lain Indonesia tetap harus melanjutkan aktivitas

pembangunan terutama konstruksinya dengan cara-cara yang memperhatikan lingkungan guna menyediakan ruang untuk hidup layak bagi generasi mendatang, oleh karena itu masalah limbah konstruksi menjadi masalah lingkungan yang harus ditangani (Erviyanto, 2014).

Indonesia sebagai negara berkembang dan sedang membangun, telah memiliki cetak biru bagi sektor konstruksi sebagai grand design dan grand strategy yang disebut dengan Konstruksi Indonesia 2030. Salah satu agenda yang diusulkan adalah melakukan promosi *sustainable construction* untuk penghematan bahan dan pengurangan limbah serta kemudahan pemeliharaan bangunan pasca konstruksi (Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi Nasional, 2007).

Salah satu bagian dari *sustainable construction* adalah *green construction* yang merupakan proses holistik yang bertujuan untuk mengembalikan dan menjaga keseimbangan antara lingkungan alami dan buatan (Du Plessis, 2001). Yu, dkk. (2014) menyatakan *green construction* adalah ide konstruksi baru yang ditawarkan dengan didasari pada "pembangunan berkelanjutan", "ekonomi daur ulang" dan "ekonomi rendah karbon" dari seluruh masyarakat. Dalam keseluruhan proses desain, konstruksi dan renovasi diperlukan efisiensi pemanfaatan dan kontrol pembuangan limbah konstruksi yang harus dilakukan dengan baik di semua kegiatan dalam *green construction*.

*Green construction* menurut Glavinich (2008) adalah suatu perencanaan dan pengaturan proyek konstruksi sesuai dengan dokumen kontrak untuk meminimalkan pengaruh proses konstruksi terhadap lingkungan. Selanjutnya *green construction* disempurnakan lagi menjadi suatu perencanaan dan pengelolaan proyek konstruksi untuk meminimalkan pengaruh proses konstruksi terhadap lingkungan agar terjadi keseimbangan antara kemampuan lingkungan dan kebutuhan hidup manusia untuk generasi sekarang dan mendatang. Dari pengertian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa *green construction* ini adalah sebuah usaha atau cara yang digunakan dalam proses konstruksi untuk menggunakan sumber daya alam secara efisien dan meminimalkan limbah yang dihasilkan akibat proses konstruksi untuk menghindari terjadinya pencemaran lingkungan. Hal ini yang hendaknya menjadi salah satu tujuan manajemen proyek konstruksi, yaitu ramah lingkungan.

Sebuah proses konstruksi dapat dipandang sebagai sebuah sistem, dimana selalu ada komponen input-proses komponen output. Komponen input dalam sebuah proses konstruksi berupa sumberdaya alam (terbarukan dan tak terbarukan) sedangkan komponen output berupa fisik bangunan dan sejumlah limbah. Kedua hal tersebut merupakan prinsip dalam *green construction*, yaitu menggunakan sumberdaya alam sesuai dengan kebutuhan dan menghasilkan limbah sesedikit mungkin (Ervianto, 2015). Namun implementasi *green construction* di berbagai negara masih terbatas dan belum mencapai tingkat sistem serta yang paling krusial efek terhadap lingkungan dari *green construction* dapat dikatakan tidak jelas (Hwang and Ng, 2013).

Dalam proyek konstruksi, pengelolaan limbah konstruksi melalui manajemen yang tepat adalah proses yang kompleks dan dinamis serta membutuhkan pemikiran dan analisis yang sistematis (Ding et al., 2016). Maka pendekatan sistem dinamik digunakan karena merupakan salah satu metode yang paling cocok untuk mensimulasikan sistem yang memiliki dinamika dan kompleksitas yang dimana merupakan karakteristik utama dari model sistem dinamik (Suryani et al., 2012). Beberapa studi yang mendeskripsikan penggunaan sistem dinamik dalam menganalisis pengaruh faktor manajemen konstruksi terhadap pengurangan limbah yaitu Yuan et al., (2012) yang mengembangkan model sistem dinamik untuk mengevaluasi efektivitas strategi manajemen pengurangan limbah konstruksi. Selain itu Ding et al., (2018) juga membangun model sistem dinamik yang mengintegrasikan faktor manajemen desain dan konstruksi yang mempengaruhi pengurangan limbah dan menilai manfaat lingkungan pengurangan limbah. Metodologi sistem dinamik pada dasarnya menggunakan hubungan-hubungan sebab-akibat (causal) dalam menyusun model suatu sistem yang kompleks, sebagai dasar dalam mengenali dan memahami tingkah laku dinamis sistem tersebut (Forrester, 1994). Suryani, dkk. (2012) juga menyatakan bahwa sistem dinamik dapat menggambarkan korelasi tiap variabel-variabel pembentuk dan memodelkan sistem dengan mempertimbangkan seluruh faktor-faktor yang mempengaruhi.

Berdasarkan tinjauan permasalahan sebelumnya maka perlunya penelitian yang lebih fokus melihat fakta empiris dari pengaruh pelaksanaan *green*

*construction* terhadap limbah konstruksi. Selain itu juga studi – studi di atas menunjukkan bahwa pendekatan berbasis sistem dinamik sesuai dengan penelitian ini guna dapat menganalisis pengaruh pelaksanaan *green construction* terhadap dampak lingkungan khususnya pengurangan limbah konstruksi. Kemudian dirumuskan tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi faktor – faktor mempengaruhi *green construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi di Indonesia dan mengembangkan model sistem dinamik yang dapat menganalisis pengaruh *green construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menunjukkan seberapa besar pengaruh penerapan *green construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi.

## **1.2. Perumusan Masalah**

1. Apa saja faktor – faktor yang mempengaruhi *Green Construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi ?
2. Bagaimana pengaruh *Green Construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi ?

## **1.3. Tujuan**

1. Mengidentifikasi faktor – faktor yang mempengaruhi *Green Construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi.
2. Mengembangkan dan menganalisis model pengaruh *Green Construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi.

## **1.4. Manfaat Penelitian**

1. Dapat digunakan praktisi di bidang konstruksi untuk penerapan *Green Construction* yang lebih efektif dan efisien, khususnya mengurangi dampak negatif lingkungan akibat limbah konstruksi.
2. Pengembangan ilmu bidang manajemen konstruksi khususnya mengenai *Green Construction* di Indonesia dan dapat menjadi rujukan penelitian – penelitian mengenai hal terkait di masa yang akan datang.

### **1.5. Batasan Masalah**

1. Ruang lingkup penelitian adalah proyek gedung di Surabaya dan sekitarnya.
2. Proyek yang diamati dibatasi adalah proyek gedung yang menerapkan konsep *green construstion*.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dari penyusunan buku tesis ini akan diuraikan sebagai berikut :

#### **Bab I Pendahuluan :**

Bab ini merupakan uraian tentang latar belakang masalah yang mendasari pentingnya diadakan penelitian, identifikasi, pembatasan dan perumusan masalah penelitian, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian yang diharapkan dan sistematika penulisan.

#### **Bab II Kajian Pustaka dan Dasar Teori**

Bab ini berisi tinjauan teori yang mendeskripsikan pengertian, jenis-jenis dan prinsip dasar teori yang terkait dengan penelitian seperti konsep *green construction*, konsep limbah konstruksi, konsep sistem dinamik, dan faktor – faktor yang mempengaruhi penerapan *green construction*. Bab ini juga menjelaskan tentang penelitian terdahulu dan posisi penelitian ini.

#### **Bab III Metodologi**

Bab ini berisi uraian tentang desain penelitian, populasi dan sampel penelitian, teknik pengumpulan dan analisa data yang digunakan dalam penelitian.

#### **Bab IV Analisa dan Pembahasan**

Bab ini menguraikan tentang hasil dari penelitian yang meliputi hasil kuisisioner utama dan pendahuluan serta analisa data penelitian yang dilakukan.

#### **Bab V Kesimpulan dan Saran**

Berisi uraian tentang pokok – pokok kesimpulan dan saran – saran yang perlu disampaikan kepada pihak-pihak yang berkepentingan dalam penelitian ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Pada bab ini menjelaskan gambaran umum mengenai proyek konstruksi, *green construction* beserta faktor-faktornya pada proyek konstruksi, limbah konstruksi dan juga akan dijelaskan sistem dinamik yang digunakan sebagai metode penelitian ini.

#### **2.1 Konsep *Green Construction***

##### **2.1.1 Definisi *Green Construction***

*Green construction* merupakan praktik membangun dengan menerapkan proses yang memperhatikan lingkungan dan efisiensi sumber daya sepanjang siklus hidup bangunan dari tampak untuk perencanaan, konstruksi, operasi, pemeliharaan, renovasi, dan dekonstruksi (United States Protection Agency, 2014).

Kibert (2010) berpendapat bahwa *green construction* adalah suatu perencanaan dan pelaksanaan proses konstruksi untuk meminimalkan dampak negatif proses konstruksi terhadap lingkungan agar terjadi keseimbangan antara kemampuan lingkungan dan kebutuhan hidup manusia untuk generasi sekarang dan mendatang. *Green construction* menurut Glavinich (2008) adalah perencanaan dan pengelolaan proyek konstruksi agar supaya pengaruh proses konstruksi terhadap lingkungan seminimal mungkin. Kontraktor harus berperan proaktif peduli terhadap lingkungan, selalu meningkatkan efisiensi dalam proses konstruksi, konservasi energi, efisiensi pemanfaatan air, dan sumberdaya lainnya selama masa konstruksi serta minimasi dan mengelola limbah konstruksi secara baik. Glavinich (2008) dalam Abduh et al., (2014) menyatakan bahwa konsep *green construction* mencakup hal-hal sebagai berikut: perencanaan dan penjadwalan proyek, konstruksi, konservasi material, tepat guna lahan, manajemen limbah konstruksi, penyimpanan dan perlindungan material, kesehatan lingkungan kerja, menciptakan lingkungan kerja yang ramah lingkungan, pemilihan dan operasional peralatan konstruksi, dokumentasi.

*Green construction* adalah ide konstruksi baru yang dilatarbelakangi konsep besar "pembangunan berkelanjutan" dimana dalam keseluruhan proses desain, konstruksi dan perbaikan, efisiensi pemanfaatan dan dampak lingkungan dari sumber daya yang digunakan dipertimbangkan secara komprehensif serta pembuangan limbah konstruksi harus dikontrol dengan baik pada semua kegiatan. Dan akhirnya target "penghematan sumber daya, ramah lingkungan dan jaminan kualitas" akan tercapai (Shi et al., 2013).

Menurut Yu, dkk (2014) *green construction* adalah rekayasa sistem yang benar-benar rumit yang merupakan proses kontrol perencanaan konstruksi, pembelian bahan, lingkungan proyek konstruksi, dan penerimaan konstruksi serta menekankan pada penggunaan sumber daya yang efisien sebagai inti dan pelestarian lingkungan sebagai prinsip prioritas untuk mengejar metode konstruksi terintegrasi dengan efisiensi tinggi, konsumsi energi rendah dan perlindungan lingkungan.

### **2.1.2 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi *Green Construction***

Yu, dkk (2014) juga mengemukakan faktor - faktor mempengaruhi penerapan *green construction* yaitu sebagai berikut :

- 1. Manajemen teknologi *green construction*.** Manajemen teknologi *green construction* adalah kunci untuk penerapan *green construction*. Implementasi manajemen teknologi *green construction* adalah untuk mengurangi pengaruh terhadap lingkungan dan sumber daya. *Green construction* adalah penerapan ide pembangunan berkelanjutan dalam keseluruhan proses konstruksi dan penerapan komprehensif teknologi *green construction*.
- 2. Manajemen lingkungan proyek konstruksi.** Konstruksi teknik akan secara serius mengganggu lingkungan proyek, terutama untuk proyek baru di daerah yang belum berkembang, penggalian pekerjaan tanah, pengeringan, konstruksi fasilitas permanen dan sementara dan pengolahan limbah akan mempengaruhi sumber daya hewan dan tanaman yang ada, level air tanah dan topografi. Oleh karena itu, untuk mengurangi gangguan lokasi memiliki makna besar pada perlindungan lingkungan. Pemilik, unit desain, dan kontraktor seharusnya mengenali fitur alami, budaya, dan struktural di dalam lokasi konstruksi dan



untuk melestarikan fitur-fitur ini dengan desain, konstruksi, dan manajemen yang rasional. Desain situs yang berkelanjutan memainkan peran penting dalam mengurangi gangguan ini. Dalam konstruksi, kontraktor harus membuat rencana penggunaan lokasi berdasarkan persyaratan pemilik dan unit desain yang dapat meminimalkan gangguan dari lokasi konstruksi.

- 3. Metode konstruksi yang sesuai.** Berbagai hal dipertimbangkan di antaranya cuaca dan letak lokasi proyek ketika kontraktor memilih metode konstruksi, peralatan konstruksi dan pengoperasiannya yang dapat mengurangi peningkatan langkah-langkah konstruksi serta sumber daya dan energi. Ini dapat mengurangi gangguan pada lokasi konstruksi dan lingkungan yang disebabkan oleh langkah-langkah konstruksi tambahan.
- 4. Konservasi sumber daya.** Proyek konstruksi biasanya menggunakan sejumlah besar bahan, energi, dan sumber daya air. Oleh karena itu, untuk mengurangi konsumsi sumber daya, menghemat energi, meningkatkan efisiensi dan melindungi sumber daya air adalah konsep dasar *green construction*.
- 5. Pengendalian Polusi.** Sejumlah besar debu, kebisingan konstruksi, gas dan limbah beracun dan berbahaya akan menyebabkan dampak serius pada kualitas lingkungan dan akan merugikan staf lapangan, pengguna, dan kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan kualitas lingkungan adalah prinsip dasar konstruksi hijau. Dalam proses konstruksi, debu yang dihasilkan dari bahan bangunan dan sistem konstruksi, senyawa organik yang mudah menguap atau partikel yang dihasilkan dari peralatan konstruksi, bahan dan produk dapat menyebabkan masalah kualitas udara dalam ruangan. Banyak dari senyawa atau partikel organik yang mudah menguap ini menimbulkan ancaman dan potensi kerusakan pada kesehatan yang membutuhkan perlindungan keselamatan khusus.
- 6. Penerapan manajemen ilmiah dan kualitas konstruksi.** Implementasi *green construction* di beberapa negara khususnya di Asia masih terbatas serta belum mencapai tingkat sistem *green construction* dan belum ada implikasi yang jelas. Selain itu, tingkat manajemen perusahaan yang rendah dan dampak ekonomi yang buruk dari *green construction* adalah salah satu alasan utama.

Glavinich (2008) menyimpulkan bahwa faktor yang menjadi indikator mempengaruhi penerapan *green construction* adalah sebagai berikut:

- a. Kontraktor harus berperan proaktif peduli terhadap lingkungan;
- b. Selalu meningkatkan efisiensi dalam proses konstruksi;
- c. Konservasi energy;
- d. Efisiensi pemanfaatan air dan sumber daya lainnya selama masa konstruksi serta minimasi;
- e. Mengelola limbah konstruksi secara baik;
- f. Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi;
- g. Konservasi material;
- h. Tepat guna lahan;
- i. Manajemen limbah konstruksi;
- j. Penyimpanan dan perlindungan material;
- k. Kesehatan lingkungan kerja;
- l. Menciptakan lingkungan kerja yang ramah lingkungan;
- m. Pemilihan dan operasional peralatan konstruksi;
- n. Dokumentasi.

Sedangkan menurut Kibert (2010) faktor - faktor *green construction* adalah sebagai berikut:

- a. Rencana perlindungan lokasi pekerjaan;
- b. Program kesehatan dan keselamatan kerja;
- c. Pengolahan limbah pembangunan atau bongkaran;
- d. Pelatihan bagi subkontraktor;
- e. Pengurangan jejak ekologis proses konstruksi;
- f. Penanganan dan instalasi material;
- g. Kualitas udara.

Sebuah pendapat lain dikemukakan oleh Ervianto, dkk. (2015) bahwa faktor – faktor *green construction* adalah sebagai berikut:

- a. Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi;
- b. Sumber dan siklus material;
- c. Rencana perlindungan lokasi pekerjaan;
- d. Manajemen limbah konstruksi;

- e. Penyimpanan dan perlindungan material;
- f. Kesehatan lingkungan kerja tahap konstruksi;
- g. Program kesehatan dan keselamatan kerja;
- h. Pemilihan dan operasional peralatan konstruksi;
- i. Dokumentasi;
- j. Pelatihan bagi subkontraktor;
- k. Pengurangan jejak ekologis tahap konstruksi;
- l. Kualitas udara tahap konstruksi;
- m. Konservasi air;
- n. Tepat guna lahan;
- o. Efisiensi dan konservasi energi
- p. Manajemen lingkungan proyek konstruksi.

*Green Building Council* Indonesia, (2014) merilis instrumen penilaian GREENSHIP bagi pembangunan gedung baru yang didalamnya memuat faktor – faktor *green construction* yaitu :

- a. Tepat Guna Lahan (*Appropriate Site Development-ASD*)
- b. Efisiensi dan Konservasi Energi (*Energy Efficiency and Conservation-EEC*)
- c. Konservasi Air (*Water Conservation-WAC*)
- d. Sumber dan Siklus Material (*Material Resources and Cycle-MRC*)
- e. Kesehatan dan Kenyamanan (*Health and Comfort-HC*)
- f. Manajemen Lingkungan (*Environment Management-EM*)

Bon-Gang (2018) dalam penelitiannya lebih lanjut mengungkapkan bahwa salah satu faktor yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan konsep *green construction* dengan memperhatikan perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi, *green construction* memerlukan desain yang lebih rinci dan efektif serta perencanaan biaya yang efisien karena karakteristik teknologinya yang kompleks, biaya yang lebih besar ketimbang proyek konvensional dan diperlukan upaya komunikasi maupun kolaborasi yang lebih besar antara pihak-pihak proyek. Dari sisi penjadwalan disebabkan proyek *green construction* membutuhkan waktu dan biaya pekerjaan lebih banyak dibandingkan proyek konstruksi konvensional

dengan ukuran dan karakteristik yang sama maka perlunya memastikan bahwa jadwal konstruksi aktual dan sumber daya dipantau secara serius sehingga kinerja sesuai dengan yang direncanakan untuk menghindari kemungkinan pembengkakan biaya ataupun perselisihan serta dari sisi pengawasan mengharuskan pemeriksaan kesalahan dan perbedaan dalam dokumen desain untuk menghindari pengerjaan ulang desain serta gambar sebelum diajukan untuk persetujuan (Bon-Gang, 2018).

### **2.1.3 Manfaat Penerapan *Green Construction***

Vierra, (2014) menyatakan bahwa manfaat green construction adalah sebagai berikut:

1. Penghematan energi. Konsumsi energi di sektor konstruksi tergolong tinggi sehingga perlu diupayakan menekan konsumsi energi;
2. Penghematan air. Pekerjaan konstruksi membutuhkan sumber daya air yang cukup besar, apabila dalam proses konstruksi tidak dikelola dengan baik/ceroboh maka akan berdampak pada inefisiensi dan bencana lingkungan. Oleh karena itu sudah saatnya diperlukan standar efisiensi air dalam pekerjaan konstruksi;
3. Pengendalian buangan limbah padat, cair dan gas. Minimalisasi jumlah buangan yang dihasilkan dari proses konstruksi dan proses recycle harus dilakukan guna mengurangi dampak terhadap lingkungan. Tiga hal yang harus dilakukan adalah reduce, reuse, dan recycle.

## **2.2 Konsep Limbah Konstruksi**

### **2.2.1 Definisi Limbah Konstruksi**

Rajendran dan Pathrose (2012) mendefinisikan limbah sebagai kerugian yang diakibatkan oleh kegiatan konstruksi yang menyebabkan biaya langsung dan tidak langsung tetapi tidak menambah nilai pada produk dari sudut pandang pelanggan. Limbah konstruksi didefinisikan sebagai zat, barang atau benda apapun yang dihasilkan oleh pekerjaan konstruksi dan diabaikan baik yang telah diproses maupun yang belum (Yuan et al., 2013). Manowong (2012) juga mendefinisikan

limbah konstruksi sebagai berat produk dan bahan yang dihasilkan dari proses konstruksi.

Khaleel and Al-Zubaidy (2018) menyatakan limbah konstruksi adalah setiap inefisiensi yang menghasilkan penggunaan peralatan, bahan, tenaga kerja atau modal dalam jumlah yang lebih besar daripada yang diperlukan dalam proses konstruksi, meminimalkan kegiatan yang tidak menambah nilai dapat memberikan potensi peningkatan manfaat yang besar dari sisi proses konstruksi.

Nagapan, dkk (2013) menyatakan limbah konstruksi dibedakan menjadi dua jenis limbah konstruksi yaitu limbah fisik dan non fisik. Limbah fisik adalah limbah yang dihasilkan dari industri konstruksi pada saat aktivitas konstruksi, renovasi bangunan, konstruksi sipil dan bangunan, pembersihan lahan konstruksi, konstruksi jalan dan aktivitas demolisi, termasuk ekskavasi tanah (Ng et al., 2017). Pendapat lain mengatakan limbah fisik konstruksi adalah limbah yang dihasilkan dari kegiatan konstruksi, renovasi, dan demolisi (Tam and Tam, 2012). Sedangkan limbah non-fisik yaitu material yang wujudnya tidak nampak secara fisik di lapangan, misalnya keterlambatan pekerjaan (*overun scheduled*), pembengkakan biaya proyek (*overun cost*), kualitas yang tidak sesuai standar, citra atau nama baik perusahaan (Nagapan et al., 2013).

### **2.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Timbulan Limbah Konstruksi**

Yuan (2013) mendeskripsikan bahwa faktor utama yang mempengaruhi kuantitas timbulan limbah konstruksi yaitu (1) Perubahan desain, (2) Desain yang telah mempertimbangkan pengurangan limbah konstruksi, (3) Performa manajemen lingkungan proyek, (4) Manajemen limbah konstruksi, (5) Penggunaan teknologi konstruksi yang ramah lingkungan dan *low waste* dan (6) Perilaku dan kesadaran pekerja proyek terhadap limbah konstruksi.

Akhund, dkk. (2019) juga menjelaskan beberapa penyebab yang berkontribusi terhadap limbah konstruksi adalah sebagai berikut.

#### **1. Penanganan material yang tidak benar**

Penanganan material yang tidak tepat ditemukan sebagai salah satu sumber limbah yang menghasilkan limbah. Penanganan material yang tidak benar termasuk

kerusakan selama transportasi, persediaan yang tidak dibungkus dan kemasan yang dibuang.

## **2. Metode pengadaan**

Metode pengadaan berkontribusi terhadap pemborosan bahan konstruksi. Penyebab utama yang terlibat adalah kesalahan pemesanan, dan kelebihan pesanan. Penyebab lain terkait dengan metode pengadaan adalah penggunaan produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi dan kurangnya kesempatan untuk memesan jumlah material yang lebih kecil.

## **3. Perubahan dalam desain**

Perubahan dalam desain adalah sumber yang signifikan untuk menghasilkan limbah. Jika kontraktor telah membeli bahan berdasarkan desain asli, akan ada pemborosan jika bahan tersebut tidak diambil kembali oleh pemasok jika terjadi perubahan desain. Selanjutnya, jika struktur telah dibangun, perubahan desain akan terjadi menghasilkan limbah karena bahan yang diterapkan harus dihilangkan karena pengerjaan ulang. Hasil serupa ditemukan dalam penelitian lain bahwa perubahan desain dan kesalahan desain adalah sumber signifikan dari timbulan sampah. Masalah terkait desain berada di luar kendali kontraktor.

## **4. Tenaga Kerja**

Perilaku tenaga kerja adalah salah satu faktor yang signifikan yang menyebabkan timbulnya limbah konstruksi. Ada beberapa limbah yang bisa dihindari jika pekerja melakukan tugasnya dengan hati-hati. Pekerja menjadi ceroboh karena tidak adanya kontrol di lokasi proyek dan sistem *reward* yang tepat.

## **5. Penyimpanan bahan yang tidak benar**

Penyimpanan bahan bangunan yang tidak tepat juga merupakan faktor penting dalam limbah bahan. Penumpukan material yang tidak memadai berkontribusi terhadap limbahnya. Alasan lain yang mungkin dapat dilakukan adalah menyimpan material di tempat yang salah seperti menyimpan semen di area terbuka di mana kelembaban atau hujan dapat merusaknya.

## **6. Pencurian dan vandalisme**

Bahan bangunan dicuri karena kurangnya keamanan yang layak. Pencurian dan vandalisme dianggap sebagai sumber limbah.

### **2.2.3 Pengukuran Limbah Konstruksi**

Metode pengukuran limbah konstruksi menurut beberapa ahli dapat diklasifikasikan ke dalam tiga jenis metode; (1) metode persentase oleh Bossink dan Brouwer (2002) juga Pinto dan Agopyan (1994), (2) metode formula diusulkan oleh Cochran K, dkk (2007) dan (3) metode faktor konversi oleh Wang, dkk. (2004). Pertama metode persentase adalah cara untuk menentukan limbah berdasarkan persentase bahan konstruksi di lokasi. Misalnya, kuantifikasi limbah konstruksi didasarkan pada jumlah bahan yang dibeli yang jumlahnya sama dengan 1 - 10% untuk pembelian tunggal dan sekitar 9% untuk total pembelian dalam hal berat, jadi jumlah bahan yang dibeli dibandingkan dengan yang terpasang (Bossink and Brouwers, 2002). Estimasi limbah berdasarkan desain adalah sekitar 1-10%, dan berdasarkan total bahan yang dibeli adalah sekitar 18% (Pinto and Agopyan, 1994). Selanjutnya metode formula adalah metode untuk menentukan jumlah limbah berdasarkan formula tertentu, pengukuran jumlah limbah ini didasarkan pada kegiatan konstruksi seperti konstruksi baru, pembongkaran, dan renovasi (Cochran et al., 2007). Metode konversi faktor, estimasi limbah konstruksi didasarkan pada dua faktor, jumlah jenis bahan dan luasan proyek konstruksi (Wang et al., 2004). Pinto dan Agopyan (1994) menyatakan bahwa jumlah limbah konstruksi sulit diprediksi dan komposisi limbah terdiri dari berbagai bahan, seperti sampah 40-50% yang terdiri dari beton, aspal, batu bata, balok dan kotoran; limbah kayu 20-30% yang terdiri dari palet, tunggul, cabang, membentuk dan membingkai kayu, kayu dan sirap; dan bermacam-macam jenis limbah 20-30% yang terdiri dari kayu yang dicat, logam, produk berbasis tar, kaca plester, barang putih, asbes dan bahan insulasi lainnya, serta pemanas pipa dan bagian listrik. Limbah konstruksi juga menunjukkan kecenderungan meningkat sejalan dengan perkembangan ekonomi, urbanisasi dan pertumbuhan penduduk yang cepat terbukti dengan statistik pemerintah dan diamati dalam studi lain (Chiemchaisri et al., 2007).

### **2.3 Konsep Sistem Dinamik**

Forrester (1994) mendefinisikan sistem dinamik adalah subjek sistem umpan balik informasi dengan mengintegrasikan teori sistem, teori kontrol dan teori informasi serta menyediakan cara memahami dan memecahkan masalah sistem.

Sistem dinamik adalah pendekatan untuk mempelajari dan *manage* suatu sistem *feedback* yang kompleks (Marzouk and Azab, 2014). Pendapat lain mengatakan sistem dinamik adalah metode menganalisis sistem yang kompleks dengan menggunakan alat analisis sistem seperti lingkungan sistem, fungsi dan struktur sistem (Glasshusain et al., 2000).

### **2.3.1 Model Sistem Dinamik**

Simulasi sistem dinamik merupakan simulasi kontinyu yang dikembangkan oleh Jay Forrester (MIT) tahun 1960-an, berfokus pada struktur dan perilaku sistem yang terdiri dari interaksi antar variabel dan loop feedback (umpan balik). Hubungan dan interaksi antar variabel dinyatakan dalam diagram kausatik. Proses umpan balik dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu:

1. Umpan balik positif

Jenis umpan balik ini menciptakan proses pertumbuhan, dimana suatu kejadian dapat menimbulkan akibat yang akan memperbesar kejadian berikutnya secara terus menerus. Umpan balik ini dapat menyebabkan ketidakstabilan, ketidakseimbangan, serta pertumbuhan yang kontinyu.

2. Umpan balik negatif

Jenis umpan balik ini berusaha menciptakan keseimbangan dengan memberikan koreksi agar tujuan dapat dicapai.

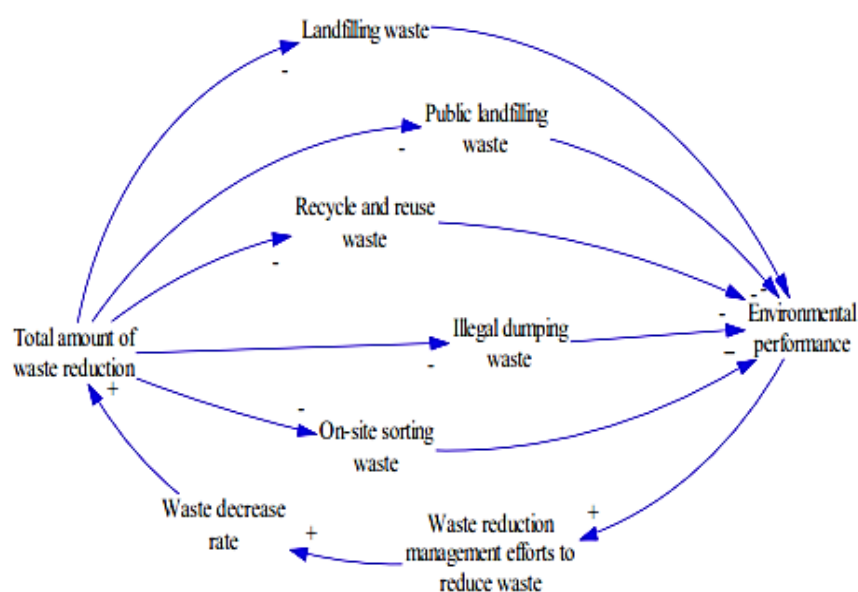
### **2.3.2 Pengembangan Model Sistem Dinamik**

Pemodelan sistem dinamika adalah metode menganalisis sistem yang kompleks dengan menggunakan alat analisis sistem seperti lingkungan sistem, fungsi dan struktur sistem. Model sistem dinamik adalah untuk mensimulasikan sistem dunia nyata dan tujuan simulasi adalah untuk mengekstraksi struktur sistem nyata dan variabel kunci guna mereplikasi sistem yang sebenarnya. Pemodelan harus berorientasi pada masalah dengan tujuan yang jelas. Proses dasar pemodelan sistem dinamik mencakup tiga langkah: (1) pembangunan model, (2) validasi model, dan (3) analisis skenario (Glasshusain et al., 2000). Untuk mempermudah proses pembuatan model, maka model dipecah menjadi beberapa sub model supaya lebih fokus dalam pembuatannya. Setelah membagi model menjadi beberapa sub



model, selanjutnya dilakukan konseptualisasi sistem yang terdiri dari identifikasi masalah serta penentuan batasan model. Dalam penentuan batasan sistem sudah mulai dilakukan penggolongan terhadap variabel menjadi variabel endogen (internal) dan eksogen (eksternal). Setelah dilakukan identifikasi variabel, langkah berikutnya adalah membentuk keterkaitan antar variabel yang dinyatakan dalam formulasi. Untuk melihat apakah model yang dibuat sudah sesuai sistem nyatanya maka perlu dilakukan validasi terhadap model dengan membandingkan output model dengan data historis. Setelah model dinyatakan valid, barulah dapat dilakukan eksperimen terhadap model (Erma, 2006).

Pada gambar 2.1 di bawah, Ding, dkk (2018) mengembangkan model *causal loop diagram* dari dua tahap subsistem manajemen pengurangan limbah konstruksi yang menjelaskan mekanisme umpan balik yang melekat dalam sistem manajemen pengurangan limbah konstruksi yaitu efek dari manajemen pengurangan limbah konstruksi secara bertahap dapat diakumulasikan dan itu akan mencerminkan jumlah limbah konstruksi yang dihasilkan sehingga jumlah total pengurangan limbah akan meningkat. Sebaliknya, jumlah sampah daur ulang dan penggunaan kembali akan berkurang. Kedua jenis pengurangan limbah ini dapat mengurangi pengisian lahan. Pengurangan timbulan limbah mengurangi biaya pembuangan limbah dan transportasi serta tingkat pembuangan limbah ilegal kemudian jumlah pembuangan limbah ilegal akan berkurang.



Gambar 2.1 Pengembangan Model Sistem Dinamik (Ding, et al., 2018)

### 2.3.3 Diagram Model Sistem Dinamik

Ada dua diagram yang digunakan dalam model sistem dinamik yaitu :

1. Diagram sebab akibat (*Causatic Diagram*)

Menggambarkan hubungan kausal antar variabel sistem. Polaritas aliran dibagi dua yaitu polaritas aliran positif (+) dan negatif (-). Disebut positif bila perubahan variabel pada awal aliran menyebabkan bertambahnya nilai variabel pada akhir aliran. Sebaliknya disebut negatif bila perubahan variabel pada awal aliran menyebabkan berkurangnya nilai variabel pada akhir aliran (berlawanan)

2. Diagram alir (*Flow Diagram*)

Menggambarkan struktur aliran secara rinci sehingga dapat digunakan untuk menyusun model matematis. Diagram aliran (simulasi) menggambarkan hubungan antar variabel dan sudah dinyatakan dalam bentuk simbol – simbol.

## 2.4 Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linear berganda digunakan untuk mencari koefisien faktor-faktor yang mempengaruhi antara variabel independen dengan variabel dependen. Regresi linier berganda adalah regresi yang melibatkan hubungan antara satu variabel dependen (Y) dihubungkan dengan dua atau lebih variabel independen. Bentuk umum dari persamaan regresi linier berganda adalah:

$$Y_i = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots + a_n X_n + i$$

dengan  $i = 1, 2, \dots, n$

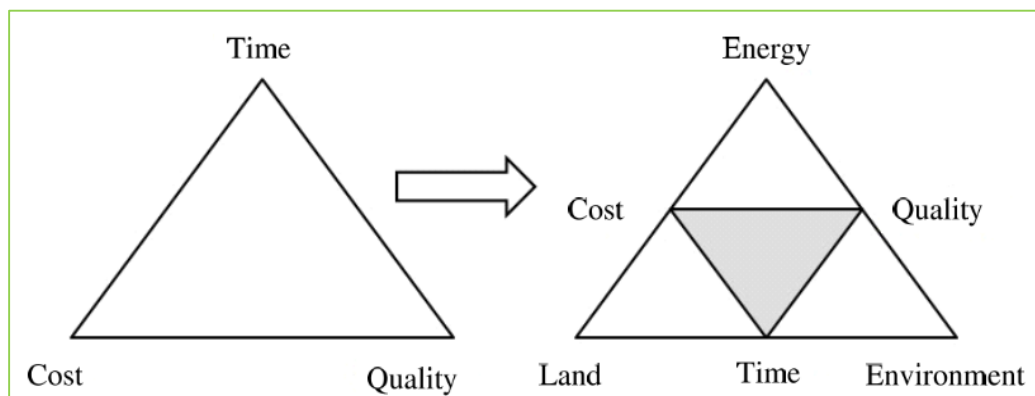
Pengujian regresi linear dengan cara melihat nilai r square dan p value. Jika r square mendekati 1 misalnya 0.98 maka model tersebut 98% dijelaskan oleh variabel-variabel yang diregresi, dan 2% dari variabel lain yang belum diketahui. Kemudian untuk masing-masing variabel, apabila nilai  $p < \text{signifikansi}$  yaitu 0.05 maka variabel tersebut berhubungan sangat kuat (Hosmer and Lemeshow, 2004).

## 2.5 Penelitian Terdahulu

Studi literatur telah dilakukan baik itu terhadap penelitian-penelitian terkait *green construction* maupun limbah konstruksi guna mengumpulkan dan menemukan faktor – faktor *green construction* yang dapat mempengaruhi pengurangan limbah konstruksi pada proyek serta melihat bagaimana pola hubungannya.

Penelitian dilakukan Yu, dkk. (2014) yang bertujuan untuk mengetahui makna mendasar dari metode *green construction* dan bagaimana implementasinya serta menganalisis faktor – faktor dari metode *green construction* antara lain pengurangan gangguan pada lokasi proyek dan menjaga lingkungan, pengkombinasian pada iklim lokasi, konservasi sumber daya, pengurangan polusi dan peningkatan kualitas lingkungan proyek dan terakhir penerapan manajemen ilmiah dan kualitas konstruksi. Metodologi penelitian ini adalah kualitatif dengan studi literatur dan wawancara terstruktur. Hasil penelitian ini menjelaskan *green construction* sangat menekankan efisiensi penggunaan sumber daya sebagai inti dan pelestarian lingkungan sebagai prinsip prioritas untuk mengejar metode konstruksi

terintegrasi dengan efisiensi tinggi, konsumsi sumber daya rendah dan perlindungan lingkungan dibandingkan dengan metode konstruksi konvensional yang menjadikan kualitas proyek, jadwal dan biaya sebagai tujuan mendasar. Penelitian ini juga menemukan hal - hal yang membatasi implementasi dari green construction yaitu kurangnya standar evaluasi terhadap green construction, kurangnya pengetahuan dan pemahaman terkait green construction, penyimpangan terhadap pemaknaan pembangunan berkelanjutan, ketiadaan mekanisme *reward and punishment* pada pelaksanaan *green construction*.



Gambar 2.2 Proses konversi metode konstruksi konvensional menuju green construction (Yu dkk, 2014)

Jiang dan Li, (2013) dalam penelitian yang bertujuan untuk menganalisis situasi saat ini dan masalah konstruksi hijau di Cina. Dari perspektif kontrol, peningkatan efisiensi pelaksanaan konstruksi hijau dengan metode kontrol khusus yang relevan dan dapat dioperasikan. Menggunakan metode penelitian *fuzzy evaluation method*, Jiang dan Li (2013) melakukan evaluasi terhadap implementasi dari green construction. Hasil dari penelitiannya menunjukkan pengendalian proses merupakan skema yang paling efektif dalam penerapan *green construction* untuk memastikan bahwa kontraktor mengimplementasikan rencana pembangunan hijau. Jika tidak, green construction hanya akan menjadi angan-angan apalagi proses konstruksi dikenal membutuhkan waktu yang panjang dan kompleks. Sehingga kontrol proses tidak memiliki formula yang jelas dan harus dipantau secara dinamis di lokasi konstruksi dengan kemajuan proses konstruksi untuk memperoleh informasi tentang pelaksanaan rencana *green construction* kemudian mengidentifikasi masalah dan melakukan perbaikan terhadap penyimpangan yang

ditemukan. Penelitian ini juga menjelaskan bahwa pengendalian proses green construction tergantung pada penetapan hukum dan peraturan namun penelitian ini tidak memberikan proses operasi yang spesifik.

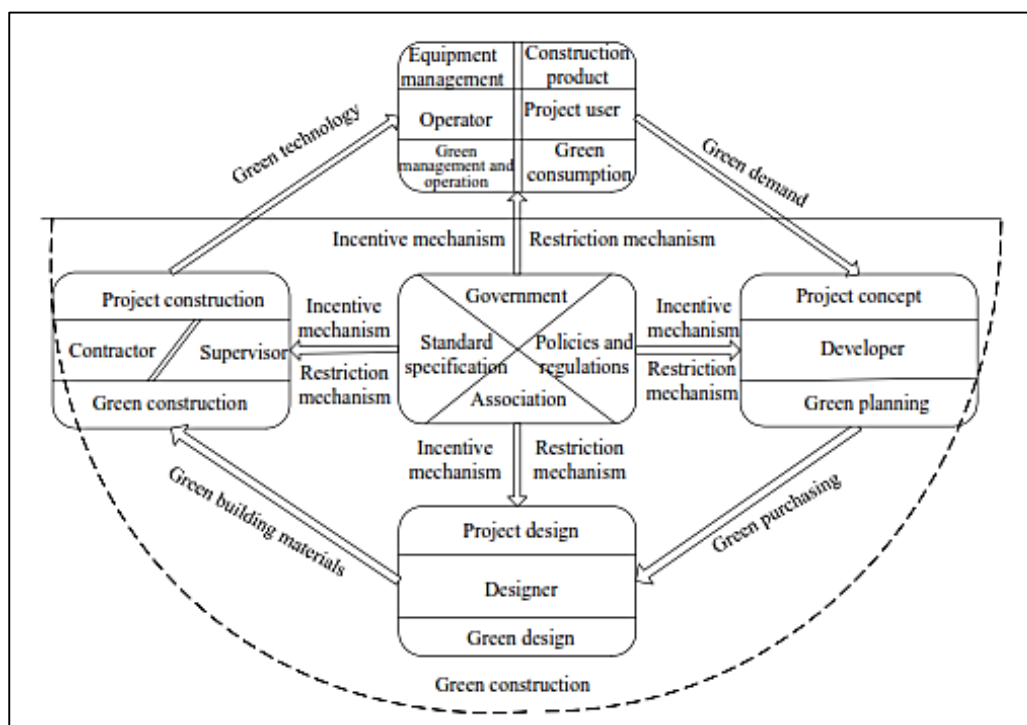
Shi, dkk. (2013) melakukan penelitian terkait sejauh mana pengadopsian konsep green construction khususnya di Tiongkok dengan metode literatur review, wawancara dan survei kuisioner yang dimana responden adalah para pemangku kepentingan utama dalam industri konstruksi. Dalam penelitian ini diketahui bahwa faktor – faktor kritis penghambat penerapan green construction adalah biaya tambahan, waktu tambahan dan terbatasnya pemasok material green. Dengan demikian, akan sangat membantu untuk membangun aliansi manfaat bersifat kolaboratif antara pemerintah, asosiasi industri, dan perusahaan di pasar bebas konstruksi umum. Pemerintah dapat mengarahkan kebijakan *green construction* ini ke jalur yang praktis, dan asosiasi industri dapat sepenuhnya memainkan peran sebagai pemandu serta perusahaan bersedia untuk menerapkan green construction dengan aktif membangun pasar konstruksi pembangunan berkelanjutan yang sehat di Tiongkok.

Abduh dkk, (2014) dalam penelitiannya mengembangkan model penilaian *green construction* yang cocok khususnya bagi proyek – proyek konstruksi Pemerintah Indonesia dan mengidentifikasi bagian mana dari prinsip, pendekatan, dan aplikasi konstruksi berkelanjutan yang perlu dikembangkan lebih lanjut oleh kontraktor dan didukung oleh pemerintah. Secara umum, ditemukan bahwa skor aspek Perilaku dan Praktek Hijau, yang terkait dengan kegiatan tidak langsung, relatif lebih tinggi daripada dua aspek lainnya. Beberapa indikator skor rendah yang diidentifikasi dalam semua aspek digunakan untuk perbaikan dalam praktik konstruksi berkelanjutan dari proyek-proyek pemerintah.

Lebih lanjut Ervianto (2014) melakukan penelitian untuk mengidentifikasi pemahaman kontraktor tentang konstruksi hijau yang juga dilakukan di Indonesia. Menggunakan metodologi penelitian kuantitatif dengan pendekatan penilaian numerikal didapatkan hasil bahwa faktor dominan yang berkontribusi terhadap *green construction* adalah konservasi air, konservasi energi, kesehatan lingkungan kerja pada proses konstruksi, program kesehatan keselamatan kerja (K3) dan penggunaan lahan yang tepat. Kelima faktor tersebut merupakan prioritas

kontraktor dalam melakukan proses konstruksi. Faktor dominan *green construction* telah terkonsentrasi pada berbagai masalah lingkungan dimana hal tersebut merupakan masalah baru dalam industri konstruksi sejak lima tahun terakhir, sehingga pentingnya peningkatan capaian dari *green construction* yang masih sangat rendah.

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh You dan Xiao (2015) menganalisis mekanisme operasi, perkembangan situasi dan masalah *green construction* yang ada dari aspek kebijakan, peraturan, kode standar, teknologi konstruksi dan sudut pandang praktik rekayasa. Dengan metode penelitian observasi dan interview didapatkan bahwa prospek *green construction* ke depannya yaitu industri konstruksi yang berdasar pada penghematan energi dan pembangunan hijau, penggabungan konsep *green construction* dengan *circular economy*, kombinasi dari konstruksi hijau dan konstruksi industri serta kombinasi konstruksi hijau dengan meningkatkan produktivitas *green* dari perusahaan konstruksi.



Gambar 2.3 Skema Model Operasional *Green Construction*, You dan Xiao (2015)

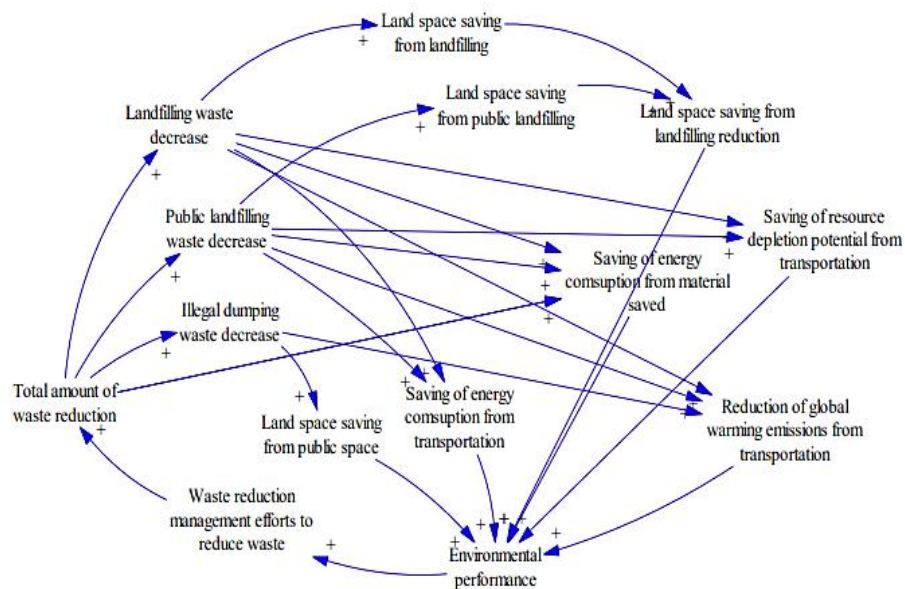
Miao dan Li (2018) melakukan penelitian yang bertujuan menganalisis tren pengembangan bangunan hijau secara global dan masalah yang ada dalam proses pembangunan gedung hijau. Metode penelitian yang digunakan adalah fuzzy evaluation method. Hasil dari penelitian ini mengungkapkan bahwa penerapan *green construction* di Asia khususnya Tiongkok dibandingkan dengan Eropa dan Amerika relatif terlambat dan masih ada ruang lebih untuk menyusul. Melalui eksplorasi masalah dan tren perkembangan *green construction*, maka perlunya mempromosikan pengembangan bangunan hijau ke arah yang lebih baik dan lebih komprehensif.

Selanjutnya Ofek, dkk. (2018) dalam penelitian lainnya menyatakan bahwa persyaratan standar bangunan dan peningkatan citra profesional adalah faktor utama yang mempengaruhi kesediaan arsitek untuk merancang bangunan hijau dengan metode *green construction*, sementara harga energi naik dan berjuang untuk inovasi adalah kekuatan utama di balik keputusan pengembang untuk mempromosikan konstruksi hijau.

Penelitian lainnya adalah yang dilakukan oleh Bon-Gang (2018) mengungkapkan bahwa salah satu faktor yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan konsep *green construction* dengan memperhatikan perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi, *green construction* memerlukan desain yang lebih rinci dan efektif serta perencanaan biaya yang efisien karena karakteristik teknologinya yang kompleks, biaya yang lebih besar ketimbang proyek konvensional dan diperlukan upaya komunikasi maupun kolaborasi yang lebih besar antara pihak-pihak proyek. Dari sisi penjadwalan disebabkan proyek *green construction* membutuhkan waktu dan biaya pekerjaan lebih banyak dibandingkan proyek konstruksi konvensional dengan ukuran dan karakteristik yang sama maka perlunya memastikan bahwa jadwal konstruksi aktual dan sumber daya dipantau secara serius sehingga kinerja sesuai dengan yang direncanakan untuk menghindari kemungkinan pembengkakan biaya ataupun perselisihan serta dari sisi pengawasan mengharuskan pemeriksaan kesalahan dan perbedaan dalam dokumen desain untuk menghindari pengerjaan ulang desain serta gambar sebelum diajukan untuk persetujuan.

Sementara itu penelitian yang dilakukan Lu, dkk. (2018) untuk memastikan pengaruh empiris green building (GB) terhadap minimalisasi limbah konstruksi (CWM) serta memahami penyebabnya didapatkan hasil yaitu CWM di GB secara signifikan mempengaruhi pembongkaran, tetapi hanya sedikit untuk pekerjaan pondasi dan bangunan, memberikan bukti ilmiah yang berguna untuk menginformasikan pihak yang bertanggung jawab dan mendorong peningkatan berkelanjutan dalam praktik GB. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah triangulasi *big data* kuantitatif yang diperoleh dari lembaga pemerintah dengan *thick data* kualitatif yang diperoleh dari studi kasus dan wawancara.

Penelitian lainnya tentang reduksi limbah konstruksi dengan menggunakan metode sistem dinamik dilakukan oleh Ding, dkk (2018) yang bertujuan melihat manfaat manajemen reduksi limbah pada tahap desain dan konstruksi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model dinamis dapat menilai manfaat lingkungan dari pengurangan limbah konstruksi secara efektif pada tahap desain dan konstruksi. Penelitian ini dapat memberikan wawasan kepada para profesional desain dan konstruksi untuk tindakan pengurangan limbah seperti aplikasi komponen prefabrikasi, pengurangan modifikasi desain pada tahap desain, penyortiran di tempat dan penggunaan kembali bahan pada tahap konstruksi, dan untuk memberikan referensi bagi pemerintah dalam menilai hasil manajemen pengurangan proyek konstruksi dan manfaat lingkungan.



Gambar 2.4 Causal-loop Diagram Subsystem Penilaian Manfaat Lingkungan, Ding, dkk (2018)



Magalhães, dkk. (2017) dalam penelitiannya menganalisis praktik terbaik untuk mengurangi limbah dalam proyek yaitu menekankan peran pengambilan keputusan dalam tahap desain dan manajemen proses konstruksi yang efektif di sektor publik. Metodologi penelitian ini menggunakan tinjauan literatur; analisis dokumen; dan penerapan survei kualitatif dan kuantitatif dengan para ahli. Dalam penelitian ini dinyatakan bahwa penyebab timbulnya limbah pada tahap konstruksi tidak hanya terkait dengan keputusan desain, tetapi juga dengan komponen perilaku profesional manajemen proyek, yang memperkuat perlunya praktik terbaik yang berfokus pada kesadaran tim desain dan manajer proyek. Sehingga penting untuk mendesain lokasi konstruksi terutama mengenai pengelolaan limbah yang tepat melalui verifikasi hubungan langsung antara kualitas perencanaan lokasi konstruksi dan jumlah limbah konstruksi yang dihasilkan.

## 2.6 Posisi Penelitian

Pada penelitian – penelitian sebelumnya telah banyak yang membahas tentang identifikasi faktor/variabel, implementasi maupun persepsi terkait *green construction*, tetapi belum banyak penelitian yang memfokuskan pada implikasi langsung secara empiris dari penerapan konsep *green construction* ini pada proyek konstruksi yang salah satu tujuan utamanya yaitu mengurangi limbah konstruksi. Secara umum pemetaan penelitian dibanding dengan literatur dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.1. Posisi Penelitian

No.	Literatur	Pengaruh Green Construction	Faktor - Faktor Green Construction	Pengurangan Limbah Konstruksi	Sistem Dinamik
1	2	3	4	5	6
1	Stimulating green construction by influencing the decision-making of main players (Ofek et al., 2018)	V			
2	The effects of green building on construction waste minimization: Triangulating ‘big data’ with ‘thick data’, (Lu et al., 2018)	V		V	

1	2	3	4	5	6
3	Green Roofs: Standardization and Quality Control of Processes in Green Construction, (Korol and Shushunova, 2017)		V		
4	Application of Green Construction Technology in Construction Projects (Yu et. Al., 2014)	V	V		
5	Green Construction: Contractor Experiences, Expectations, And Perceptions (Ahn and Pearce, 2010)	V			
6	Reflections on the Development of Green Construction (Huang, 2016)	V	V		
7	Project management knowledge and skills for green construction: Overcoming challenges (Hwang and Ng, 2013)	V			
8	Identifying the critical factors for green construction - An empirical study in China (Shi et. Al., 2013)	V	V		
9	Green construction assessment for environmental management in the construction industry of Hong Kong (Tam et al., 2004)	V	V		
10	Research on the Control System of Green Construction (Jiang dan Li, 2013)	V	V		
11	Research on the Development Trend and Methods of Green Construction in China (Miao dan Li, 2018)	V	V		
12	Study on the Development Situation and Prospects for Green Construction (You dan Xiao, 2015)	V			
13	Perception of Green Construction Based on Contractor's Perspectives in Indonesia (Ervianto, 2014)	V	V		
14	Green Construction Assessment Model For Improving Sustainable Practices Of The Indonesian Government Construction Projects (Abduh et al. 2014)	V	V		
15	Biophilic Construction Site Model: Enhancing the Motivational and Humanistic Value of the Green Construction Site (Obiozo and Smallwood, 2014)	V			
16	From Lean To Green Construction: A Natural Extension (Nahmens, 2009)	V		V	
17	In-Depth Study on the Evaluation of Green Construction Based on TOPSIS (Li and Liang, 2016)	V			
18	Sustainable or green construction in Lagos, Nigeria: principles, attributes and framework. (Nwokoro and Onukwube, 2011)	V	V		

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
19	Capaian Green Construction Dalam Proyek Bangunan Gedung Menggunakan Model Assessment Green Construction (Ervianto, 2015)	V	V		
20	A system dynamics-based environmental benefit assessment model of construction waste reduction management at the design and construction stages (Ding, dkk., 2018)			V	V
21	Reducing construction waste: A study of urban infrastructure projects (Magalhães, dkk., 2017)			V	
22	<b>Penelitian yang akan dilakukan</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	<b>V</b>

Berdasarkan pemetaan studi literatur di atas terlihat perbedaan antara penelitian yang akan dilakukan ini dibandingkan penelitian - penelitian terdahulu yaitu mulai dari implikasi langsung secara empiris dari penerapan konsep *green construction* ini pada proyek konstruksi, fokus faktor – faktor yang digunakan lebih cenderung kepada yang memiliki pengaruh langsung terhadap pengurangan limbah konstruksi yang merupakan salah satu tujuan utama dari konsep *green construction*, sampai dengan metode analisis yang dilakukan melalui pendekatan sistem dinamik. Oleh karena itu peneliti mengambil posisi penelitian yaitu meneliti pengaruh faktor – faktor *green construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi dengan menggunakan metode pendekatan sistem dinamik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 3**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Desain Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan studi kausatif. Penelitian kuantitatif adalah suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterkaitan mengenai apa yang ingin diketahui, sedangkan penelitian kausatif adalah penelitian yang dilakukan untuk membandingkan suatu variabel (objek penelitian), hubungan kausalitas atau sebab akibat dari variabel-variabel yang ada dalam penelitian ini yang dikembangkan ke sebuah permodelan guna dapat melihat pengaruh tiap variabel tersebut terhadap sistem nyata.

#### **3.2 Data Penelitian**

##### **3.2.1. Jenis dan Sumber Data**

###### **A. Data Primer**

Data primer merupakan data yang diperoleh langsung di lapangan oleh peneliti. Data primer dalam penelitian ini adalah yang diperoleh dari hasil penyebaran kuisioner dan wawancara. Data primer yang dikumpulkan adalah:

- a. Data persepsi responden terhadap indikator variabel yang mempengaruhi penerapan *green construction*.
- b. Data persepsi terkait hubungan pengaruh antar variabel pada sistem

###### **B. Data Sekunder**

Data sekunder adalah data yang tidak langsung memberikan informasi kepada peneliti, sebagai contoh adalah data dokumen atau data yang didapat dari pihak pemerintah ataupun swasta. Data sekunder yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah data proyek seperti volume limbah konstruksi selama tahap konstruksi, jadwal, biaya proyek dan lain-lainnya.

### 3.2.2. Metode Pengumpulan Data

#### 1. Studi literatur / Review literatur

Studi literatur dilakukan dengan mereview jurnal – jurnal yang berhubungan dengan topik penelitian ini. Tahapan ini dilakukan guna mengidentifikasi faktor – faktor *green construction* yang mempengaruhi limbah konstruksi serta melihat bagaimana hubungan antar faktor tersebut. Kemudian faktor atau variabel tersebut akan digunakan membuat model sementara bagaimana pengaruh penerapan *green construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi.

#### 2. Kuisisioner

Faktor atau variabel yang telah didapatkan dari proses studi literatur sebelumnya kemudian dituangkan dalam bentuk kuisisioner guna melengkapi model sementara penelitian. Kuisisioner penelitian ini dibagi menjadi dua tahap yaitu kuisisioner pendahuluan dan kuisisioner utama. Kuisisioner pendahuluan bertujuan untuk memvalidasi faktor – faktor *green construction* yang berpengaruh terhadap pengurangan limbah konstruksi serta menguji validitas dari model sementara penelitian yang dibangun. Sedangkan kuisisioner utama bertujuan untuk memperoleh informasi yang relevan dengan tujuan penelitian dengan tingkat validitas setinggi mungkin. Skala pengukuran yang digunakan dalam kuisisioner adalah skala likert. Melalui skala likert tersebut responden nantinya tinggal memberikan penilaian terkait persetujuan maupun persepsinya terhadap pertanyaan dalam tertera dalam kuisisioner. Bobot penilaian terhadap persepsi responden yaitu mulai dari 1 (tidak setuju/berpengaruh/penting) sampai dengan 5 (sangat setuju/berpengaruh/penting).

- #### 3. Survei lapangan, dilakukan untuk memperoleh data di lapangan mengenai jumlah limbah konstruksi pada proyek yang menjadi objek penelitian dan merupakan lokasi bekerja responden. Data ini nantinya akan digunakan sebagai variabel/indikator dari perhitungan pengurangan limbah konstruksi.
- #### 4. Tahap selanjutnya tahap pembentukan skenario perbaikan dari model sementara, dilakukan penggalan dan eksplorasi menggunakan teknik diskusi dengan beberapa responden.

### 3.3 Populasi dan Sample Penelitian

Populasi responden dari penelitian ini adalah manajer proyek, *site manager*, konsultan perencana dan konsultan pengawas yang bekerja pada proyek – proyek *green construction* tersebut. Selanjutnya untuk pemilihan sampel responden penelitian ini akan digunakan teknik *purposive sampling* yaitu dengan cara memilih anggota populasi yang secara khusus sesuai dengan tujuan penelitian (Sugiyono, 2014). Objek studi penelitian adalah proyek gedung yang menerapkan konsep green construction yang berlokasi di Surabaya dan sekitarnya diantaranya yaitu proyek kawasan superblok Grand Sungkono Lagoon dan apartemen Grand Shamaya.

### 3.4 Variabel Penelitian

Dari hasil studi literatur didapatkan variabel penelitian. Dari semua variabel tersebut diambil variabel yang relevan terhadap penelitian ini untuk dibuat pemodelannya dan dianalisis. Variabel yang digunakan untuk pemodelan awal dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.1 Variabel dalam Pemodelan Awal

No.	Variabel	Sub Variabel	Definis Operasional	Sumber
1	2	3	4	5
1	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	Rencana desain dan pelaksanaan yang efektif	Perencanaan desain dan pelaksanaan pada proyek yang telah memperhitungkan prinsip green yang efektif serta efisiensi.	Bon-Gang (2018)
		Pengawasan jadwal pelaksanaan yang komprehensif	Memastikan bahwa perencanaan jadwal konstruksi aktual dan sumber daya secara detail menyeluruh serta dipantau dan ditinjau secara serius sehingga kinerja sesuai dengan yang direncanakan.	Bon-Gang (2018)

1	2	3	4	5
2	Peralatan/teknologi konstruksi	Pelatihan operator peralatan dan teknologi	Memberikan pelatihan metode maupun teknik pengoperasian yang berbasis konsep green kepada operator yang akan mengoperasikan alat serta teknologi.	Glavinich (2008)
		Pemilihan peralatan & teknologi konstruksi yang tepat	Menggunakan peralatan dan teknologi konstruksi yang sesuai konsep ramah lingkungan	Glavinich (2008), Yu et. Al. (2014)
3	Sumber dan siklus Material	Penggunaan Material Bekas	Penggunaan material bekas bangunan lama dan/atau dari tempat lain untuk mengurangi penggunaan bahan mentah yang baru.	GBCI (2014), Glavinich (2008), Kibert (2009)
		Material Ramah Lingkungan	Menggunakan material yang memiliki label sistem manajemen lingkungan (3R) dan material yang bahan baku utamanya berasal dari sumber daya (SD) terbarukan dengan masa panen jangka pendek	GBCI (2014), Glavinich (2008), Kibert (2009)
		Material Prafabrikasi	Desain yang menggunakan material modular atau prafabrikasi	GBCI (2014), Glavinich (2008), Kibert (2009)



1	2	3	4	
4	Manajemen lingkungan proyek konstruksi	Ahli <i>Green Construction</i> Sebagai Anggota Tim Proyek	Melibatkan tenaga ahli yang sudah bersertifikat GREENSHIP Professional (GP), yang bertugas untuk memandu proyek hingga mendapatkan sertifikat GREENSHIP.	GBCI (2014)
		Pengendalian Polusi dari Aktivitas Konstruksi	Pencegahan dan penanggulangan polusi dari aktivitas konstruksi agar sesuai dengan baku mutu lingkungan.	GBCI (2014)
		Manajemen Limbah Konstruksi	Memiliki rencana pengelolaan limbah khususnya limbah padat akibat kegiatan konstruksi dan pembongkaran bangunan dengan menyediakan area pengumpulan, pemisahan, dan sistem pencatatan serta hal ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan berbagai sumber material bangunan, memakai kembali, dan mendaur ulang.	GBCI (2014), Glavinich (2008)

### 3.5 Pengolahan Data dan Analisa Sistem Dinamik

#### 3.5.1 Pengolahan Data Awal

Analisa data awal dilakukan dengan menggunakan statistik yaitu uji validitas variabel melalui tingkat persetujuan terhadap variabel penelitian berdasarkan *expert judgement* pada kuisisioner pendahuluan dan uji normalitas pada kuisisioner utama. Data yang diperoleh dari kuisisioner pendahuluan diolah dengan cara mengubah data kualitatif dari skala likert menjadi kuantitatif dengan menghitung persentase tingkat persetujuan dan menginterpretasikan menggunakan skala kontinum (Sugiyono, 2014).

Kuisisioner penelitian pendahuluan menggunakan lima skala likert sehingga interval jarak yang digunakan dalam skala kontinum adalah 100% dibagi lima yaitu 20, sehingga skala kontinum yang digunakan adalah :

0-20%	Sangat Tidak Setuju
21-40%	Tidak Setuju
41-60%	Cukup Setuju

61-80%	Setuju
81-100%	Sangat Setuju

Sedangkan untuk menghitung persentase tingkat persetujuan adalah dengan menggunakan rumus berikut :

Skoring	= $T \times P_n$
Rumus interval	= $100/\text{Jumlah Skor (likert)}$
Rumus index %	= $\text{Total skor}/Y \times 100\%$

Dengan :

T	= Total jumlah responden
$P_n$	= Pilihan angka skor likert
Y	= Skor tertinggi likert x Jumlah responden

Untuk data yang diperoleh dari kuisioner utama diolah dengan melakukan normalisasi data likert melalui pembobotan menggunakan metode kuantifikasi di atas untuk mengisi nilai parameter dari tiap indikator dari variabel penelitian. Sementara hubungan antar variabel dan indikator penelitian dibentuk dengan menggunakan analisa linier berganda.

### 3.5.2 Pembentukan Model

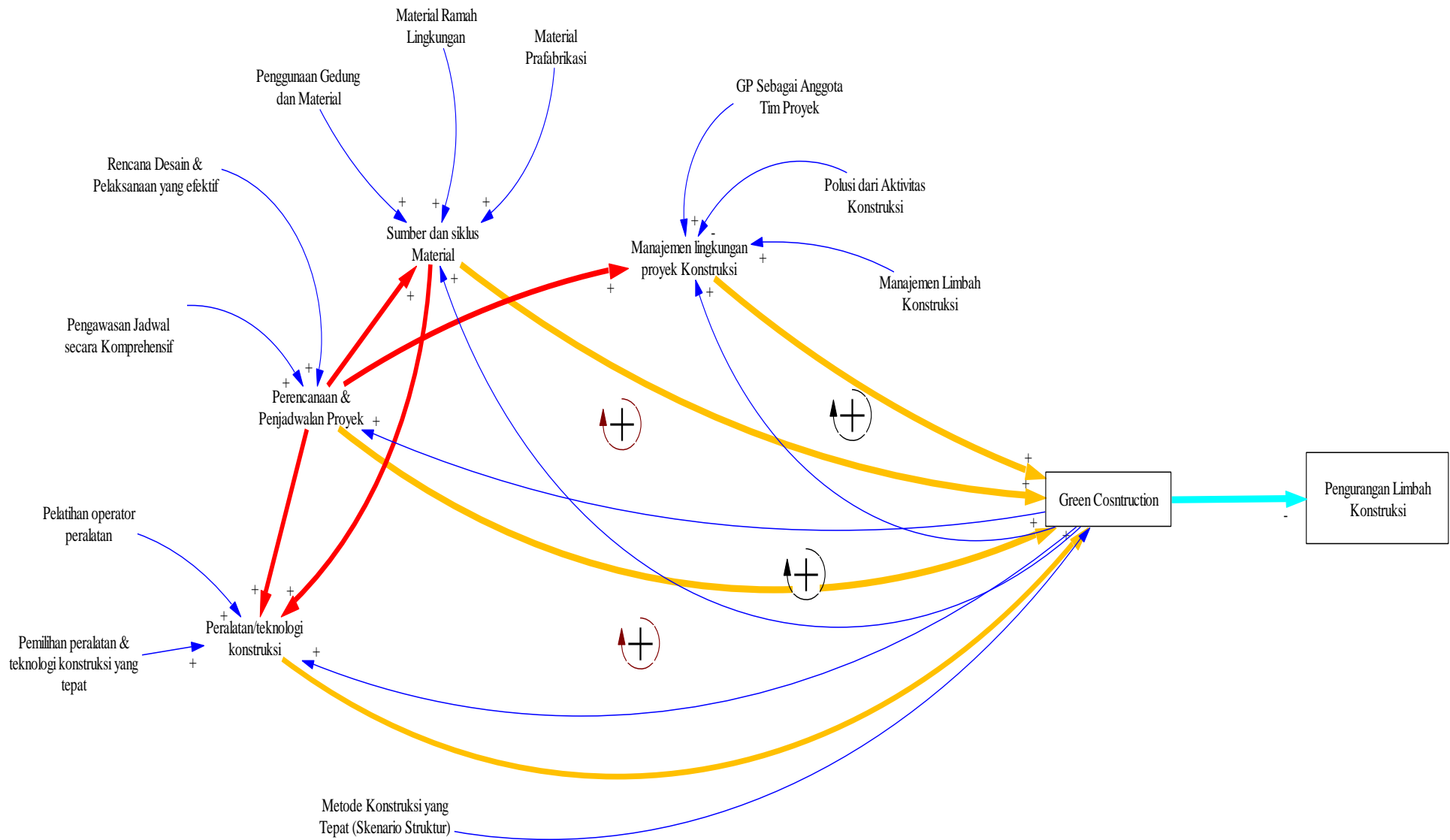
Model sistem dinamik merupakan representasi dari sistem nyata, suatu model dikatakan baik bila perilaku model tersebut dapat menyerupai sistem sebenarnya dengan syarat tidak melanggar prinsip – prinsip berfikir sistem. Variabel – variabel yang relevan dengan penelitian ini kemudian dibuat pemodelan yang menggambarkan pola hubungan antar variabel tersebut serta pengaruhnya terhadap limbah konstruksi. Bentuk pemodelan awal akan dibuat berdasarkan penelitian – penelitian terdahulu. Hubungan pengaruh antar variabel didapat dari penelitian – penelitian sebelumnya. Hasil pembentukan model awal ini nantinya di validasi oleh *expert judgement*, validasi ini dilakukan untuk memperoleh pemodelan yang valid sesuai dengan keadaan di lapangan.

**a. Pembentukan *Causal Loop Diagram* (CLD)**

Proses pembentukan *causal loop diagram* (CLD) merupakan tahap awal yang harus dilakukan di dalam sistem dinamik. *Causal loop* adalah alat konseptual yang mengungkapkan proses dinamis dimana efek berantai dari penyebab ditelusuri melalui serangkaian variabel terkait kembali ke penyebab asli (Cavana and Maani, 2000). CLD penelitian ini memperlihatkan bagaimana hubungan antar variabel – variabel tersebut bekerja membentuk sebuah sistem yang dapat menggambarkan pola hubungan dari variabel – variabel tersebut yang mempengaruhi penerapan konsep *green construction* serta pengaruhnya terhadap pengurangan limbah konstruksi. Dimana hubungan antar variabel diperoleh dari studi literatur. Pada Model CLD awal penelitian ini juga terdapat empat loop positif atau *reinforcement* (R1,R2,R3 dan R4).

Pada loop positif (*reinforcement*) R1, penerapan *green construction* dapat meningkatkan kinerja perencanaan dan penjadwalan proyek dan sebaliknya peningkatan kinerja tersebut dapat meningkatkan optimalisasi penerapan *green construction*. Untuk loop positif R2, penerapan *green construction* juga dapat meningkatkan kinerja dari peralatan/teknologi konstruksi yang digunakan. Kemudian loop positif R3 dan R4 menunjukkan bahwa kenaikan tingkat penerapan *green construction* juga dapat meningkatkan kinerja pelaksanaan manajemen lingkungan proyek konstruksi dan faktor pemilihan/penggunaan sumber dan siklus material pada proyek konstruksi.

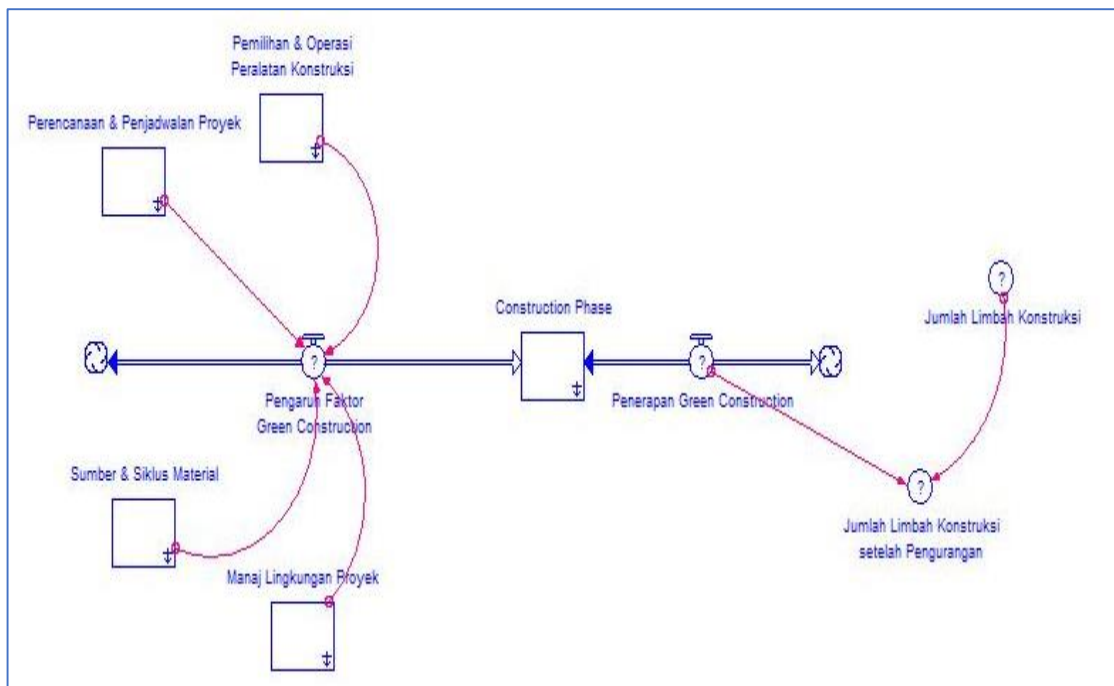
Model CLD awal ini akan divalidasi oleh *expert* melalui kuisisioner pendahuluan. Adapun bentuk model CLD awal dari penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Model Diagram Kausatik (CLD) Awal

## b. Stock Flow Diagram (SFD)

Apabila bentuk *Causal Loop Diagram* (CLD) sebelumnya telah melalui tahapan validasi model yang berarti model tersebut telah mampu menggambarkan sistem nyata di lapangan. Selanjutnya adalah membentuk *Stock Flow Diagram* (SFD) dari model CLD tersebut dengan tujuan agar mempermudah dalam memasukkan formulasi pada software bantu (Vensim/Stella) yang digunakan sebagai *tool* dalam penelitian ini. Berikut contoh model SFD dari penelitian ini :



Gambar 3.2 Contoh Model Stock Flow Diagram Awal

### 3.5.3 Analisis Data

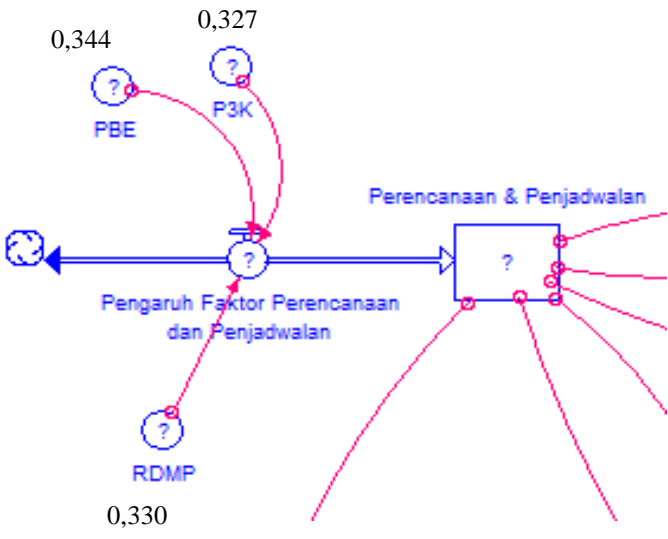
Data yang didapatkan dari hasil wawancara diolah. Data kuantitatif bisa langsung dimasukkan ke simulasi pemodelan. Sedangkan data kualitatif yang didapat akan dikonversi menggunakan *range* data.

#### a. Model Persamaan Struktural

Nilai yang digunakan sebagai parameter pada masing – masing variabel diperoleh dengan cara normalisasi nilai skala likert melalui teknik pembobotan/*weighting method*. Pembobotan dilakukan terhadap masing – masing sub variabel terhadap total nilai dari keseluruhan sub variabel yang terdapat dalam

satu variabel utama. Misalnya, seperti yang terlihat pada CLD awal pada gambar sebelumnya salah satunya yaitu variabel Perencanaan dan Penjadwalan Proyek terdiri dari tiga sub variabel, maka nilai parameter dari masing – masing variabel tersebut diperoleh dengan cara membobotkan total nilai hasil kuisisioner terhadap total nilai keseluruhan sub variabel pembentuk variabel Perencanaan dan Penjadwalan Proyek. Sehingga jumlah total nilai dari keseluruhan sub variabel yang berada pada satu variabel setelah dinormalisasi bernilai 1 (Satu). Berikut contoh pembobotan sub variabel dari variabel Perencanaan dan Penjadwalan Proyek.

Rekapitulasi Kuisisioner Utama			
No. Responden	Perencanaan dan Penjadwalan		
	RDMP	PBE	P3K
1	5	4	4
2	4	5	5
3	3	4	2
4	5	3	4
5	4	5	4
6	3	3	5
7	5	5	4
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
29	3	3	3
30	3	5	2
<b>Total</b>	<b>115</b>	<b>120</b>	<b>114</b>
<b>Bobot</b>	<b>0,330</b>	<b>0,344</b>	<b>0,327</b>



Gambar 3.3 Contoh Pembobotan Nilai Sub Variabel

**b. Regresi Linier Berganda**

Analisa regresi linier berganda digunakan untuk membentuk hubungan antar sub variabel dan variabel utama yang terdapat pada penelitian serta hubungan antar variabel utama terhadap penerapan *green construction* pada proyek konstruksi. Regresi linier berganda merupakan bentuk persamaan dari beberapa variabel bebas (independen) yang mempengaruhi satu variabel terikat (dependen) (Sugiyono, 2014). Persamaan regresi linier berganda adalag sebagai berikut :

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + ..... + \alpha_n X_n$$

Dengan :

Y : Variabel tidak bebas (Dependen)

$\alpha$  : Koefisien Regresi

$X_0, X_1$  : Variabel bebas (Independen)

Dalam persamaan yang digunakan pada penelitian ini, sub variabel merupakan variabel independen sedangkan variabel utama adalah dependen. Nilai parameter dalam persamaan ini diperoleh dari nilai hasil normalisasi pembobotan dan nilai koefisien regresi diperoleh dari hasil pengolahan data statistik menggunakan *software SPSS*.

### **c. Simulasi Pemodelan**

Setelah pemodelan dibuat maka langkah selanjutnya adalah simulasi dari model tersebut. Simulasi dilakukan dengan memasukkan input data dari semua variabel. Simulasi dilakukan menggunakan bantuan software *Vensim/Stella*. Data yang digunakan didapatkan dari hasil studi literatur penelitian – penelitian sebelumnya. Di mana penelitian – penelitian sebelumnya telah melakukan analisis kuantitatif terhadap variabel yang diteliti.

### **d. Formulasi Model**

Formulasi model dilakukan untuk menerjemahkan model konseptual ke dalam perangkat komputer untuk mempelajarinya, dikarenakan kaitan itulah maka perangkat lunak memfasilitasi tahapan formulasi sistem menjadi model. Formulasi model merupakan penerjemahan hubungan antar elemen atau antar variabel dalam sistem ke dalam bahasa pemrograman. Bahasa pemrograman sering digunakan biasanya mengikuti persamaan matematis, mulai dari yang sederhana hingga yang paling kompleks.

### **e. Validasi dan Verifikasi Model**

Validasi dilakukan untuk menunjukkan bahwa pemodelan yang telah dibuat valid dan sesuai dengan kondisi sebenarnya. Beberapa pengujian model yang dilakukan adalah uji struktur model, uji kecukupan batasan, uji parameter model, uji kondisi ekstrim dan uji perilaku model.

### **Uji Struktur Model**

Uji struktur model (*white-box method*) mempunyai tujuan untuk melihat apakah struktur model yang dibangun sudah sesuai dengan struktur sistem nyata. Setiap faktor yang mempengaruhi faktor yang lain harus tercermin dalam model. Pengujian ini dilakukan oleh orang-orang atau *expert* yang mengenal konsep dan sistem yang dimodelkan. Dalam Sistem Dinamik, hal utama yang dipertimbangkan adalah eksploitasi sistem nyata, pengalaman dan intuisi (hipotesis), sedangkan data memainkan peranan sekunder.

### **Uji Parameter Model**

Uji parameter model dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu validasi variabel input dan validasi logika dalam hubungan antar variabel. Validasi variabel input dilakukan dengan membandingkan data historis nyata dengan data yang diinput ke dalam model. Sedangkan validasi logika antar variabel dilakukan dengan mengecek logika yang ada di dalam sistem, baik input maupun output. Hal ini diilustrasikan seperti, apabila variabel A naik, maka variabel B juga naik (jika memiliki hubungan kausal positif). Logika ini juga harus terbukti dalam model simulasi yang di *running*.

### **Uji Kecukupan Batasan**

Setiap variabel yang berkaitan dengan model harus dimasukkan karena merupakan representasi dari sistem nyata. Uji ini dilakukan dengan menguji variabel apakah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tujuan model. Apabila tidak memiliki pengaruh yang signifikan, maka variabel tidak perlu dimasukkan ke dalam model.

### ***Dimension Consistency Test***

*Dimension consistency test* adalah salah satu pengujian paling dasar untuk melakukan verifikasi terhadap konsistensi unit-unit dalam persamaan/formula model sistem dinamik.

### **Uji Sensitivitas**

Uji sensitivitas model adalah prosedur pengujian yang digunakan untuk mengetahui bagaimana model yang diusulkan berjalan jika nilai variabelnya diubah (Maani and Cavana, 2000). Pengujian ini dilakukan dengan cara memastikan secara



visual melalui grafik hasil simulasi bahwa ketidakpastian dan kesalahan perhitungan tidak akan mempengaruhi model secara signifikan.

### **Uji Yaman Barlas**

Validasi *Yaman Barlas* dapat ditentukan dengan menggunakan dua cara pengujian yaitu cara perbandingan rata-rata (*Means Comparison*) dan perbandingan variasi amplitude (*Amplitude Variation Comparison*) (Barlas dan Wu, 1989).

### **3.6 Skenario Pemodelan**

Skenario model dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja model yang dibentuk. Skenario dapat dilakukan setelah model yang dibuat telah divalidasi. Skenario penelitian dilakukan dengan merancang berbagai kemungkinan terhadap variabel – variabel yang mempengaruhi penerapan *green construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi. Hasil dari simulasi skenario kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi model awal untuk mengidentifikasi apakah skenario kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi model awal untuk mengetahui apakah skenario yang dilakukan menghasilkan perbedaan yang signifikan dari model awal.

Terdapat dua jenis skenario yang dapat dilakukan dalam simulasi sistem dinamik, yaitu skenario struktur dan skenario parameter. Adapun skenario yang digunakan dalam penelitian ini yaitu skenario struktur dengan cara mengubah struktur model, baik dengan memasukkan variabel baru maupun menghilangkan variabel pembentuk model sesuai hasil diskusi dengan *expert*. Proses skenario pada model dilakukan berdasarkan hasil survei dan studi literatur terkait variabel dan hubungan antar variabel dalam model. Adapun bentuk dari skenario yang dapat dilakukan dalam penelitian ini yaitu :

Tabel 3.2 Skenario Penelitian yang Dapat Dilakukan

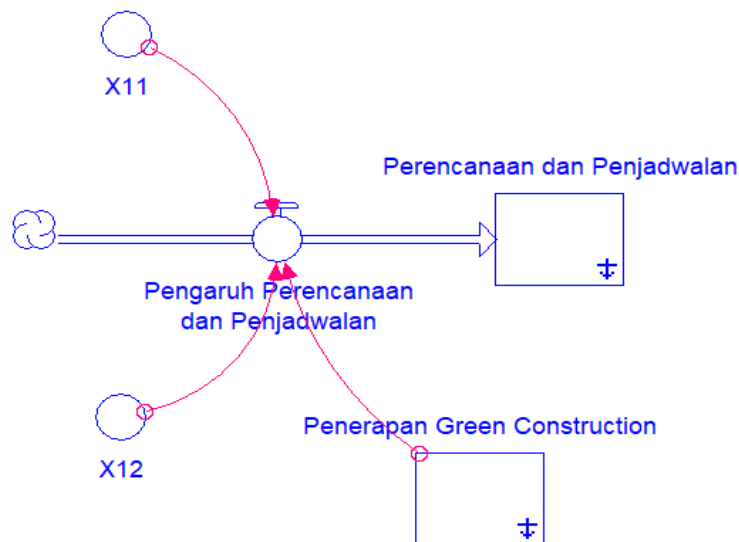
No	Skenario	Penjelasan
1	Skenario Struktur	Menambahkan variabel baru

### 3.7 Batasan Model Sistem

Model sistem dinamik pengaruh *green construction* terhadap pengurangan jumlah konstruksi mencoba untuk mensimulasikan jumlah pengurangan limbah konstruksi yang dipengaruhi oleh faktor – faktor pembentuk *green construction*. Model sistem dinamik yang dibangun kemudian dibagi dalam lima sub sistem, antara lain sub sistem perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi, sub sistem peralatan/teknologi konstruksi, sub sistem sumber dan siklus material, sub sistem manajemen lingkungan proyek konstruksi, dan sub sistem *green construction*. Batasan model sistem ini sebagai berikut :

#### 3.7.1 Sub Sistem Perencanaan dan Penjadwalan Proyek Konstruksi

Sub sistem ini untuk memberikan gambaran faktor perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi dalam mempengaruhi penerapan *green construction*. Variabel – variabel yang mendukung sub sistem ini di antaranya yaitu rencana desain dan pelaksanaan yang efektif serta Pengawasan jadwal pelaksanaan yang komprehensif (Bon-Gang, 2018) dan variabel eksternal yaitu penerapan *green construction*.

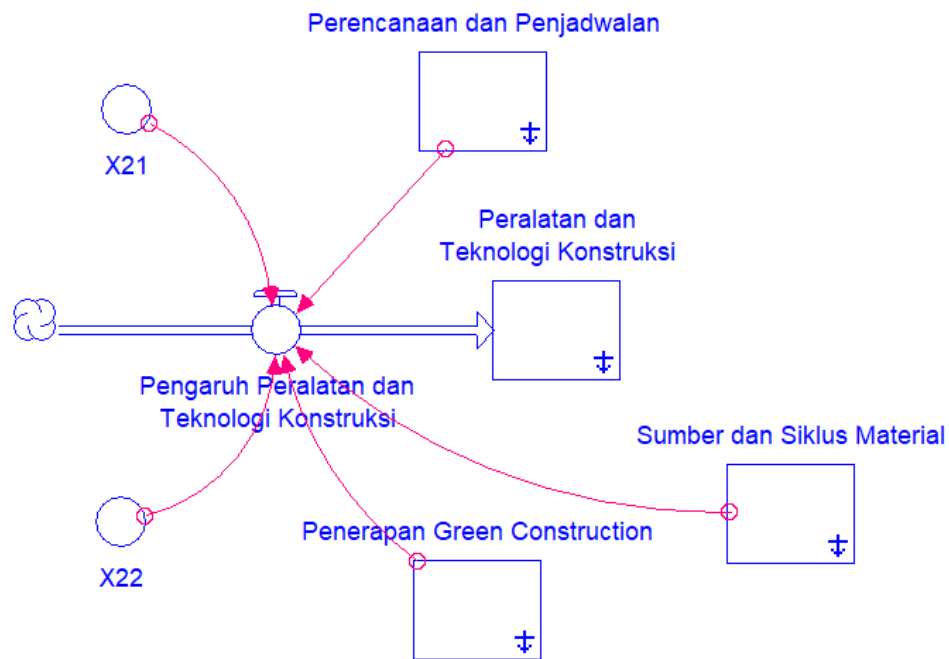


Gambar 3.4 Sub Sistem Perencanaan dan Penjadwalan Proyek Konstruksi

#### 3.7.2 Sub Sistem Peralatan/Teknologi Konstruksi

Sub sistem ini untuk memberikan gambaran faktor peralatan/teknologi konstruksi dalam mempengaruhi penerapan *green construction*. Variabel – variabel

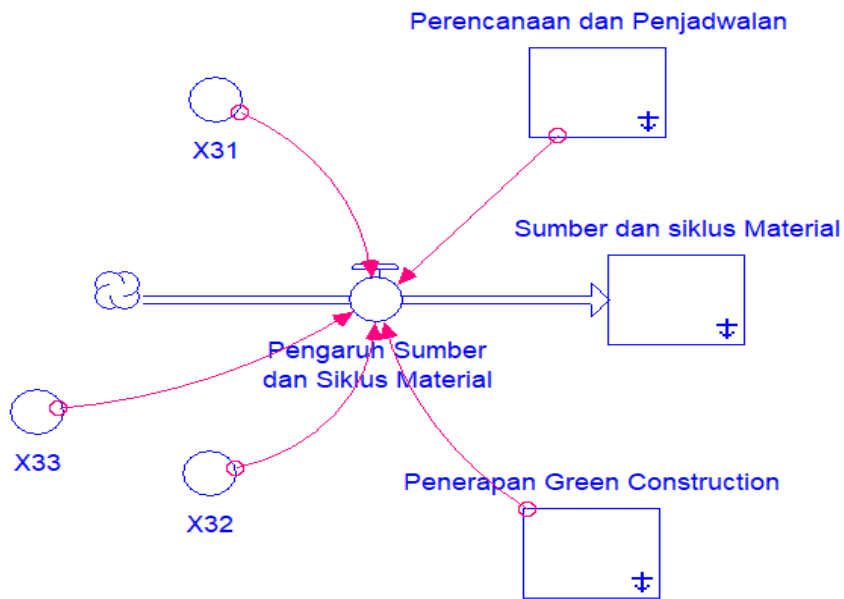
yang mendukung sub sistem ini di antaranya yaitu pelatihan operator peralatan/teknologi dan pemilihan peralatan/teknologi konstruksi yang tepat (Glavinich, 2008). Sedangkan untuk faktor eksternal dari sub sistem ini adalah penerapan *green construction*, perencanaan dan penjadwalan proyek (Hossain, 2018) dan sumber dan siklus material (Fini and Akbarnezhad, 2019).



Gambar 3.5 Sub Sistem Peralatan/Teknologi Konstruksi

### 3.7.3 Sub Sistem Sumber dan Siklus Material

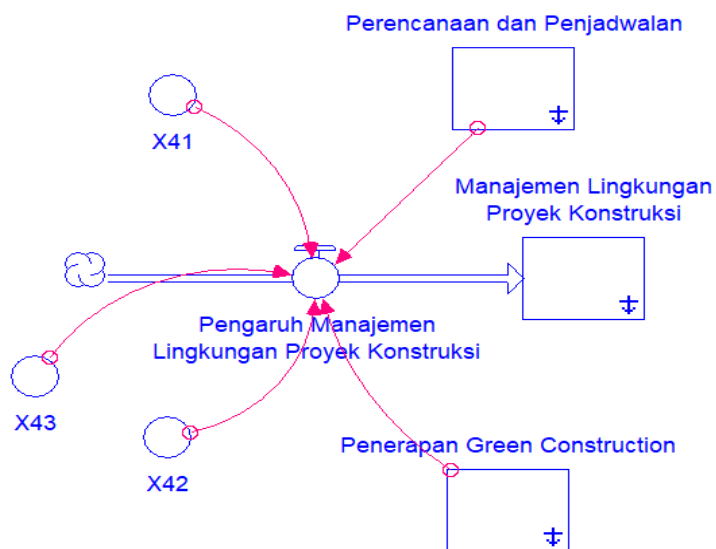
Sub sistem ini untuk memberikan gambaran faktor sumber dan siklus material dalam mempengaruhi penerapan green construction. Variabel – variabel yang mendukung sub sistem ini di antaranya yaitu penggunaan gedung dan material, material ramah lingkungan, material regional, material prafabrikasi (Glavinich, 2008; Kibert, 2010). Sedangkan untuk faktor eksternal dari sub sistem ini adalah penerapan *green construction* dan perencanaan dan penjadwalan proyek (Fini and Akbarnezhad, 2019).



Gambar 3.6 Sub Sistem Sumber dan Siklus Material

### 3.7.4 Sub Sistem Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi

Sub sistem ini untuk memberikan gambaran faktor manajemen lingkungan proyek konstruksi dalam mempengaruhi penerapan green construction. Variabel – variabel yang mendukung sub sistem ini di antaranya yaitu ahli green construction sebagai anggota tim proyek, polusi dari aktivitas konstruksi, manajemen limbah konstruksi (Green Building Council Indonesia, 2014). Sedangkan untuk faktor eksternal dari sub sistem ini adalah penerapan *green construction* dan perencanaan dan penjadwalan proyek (Demirkesen and Ozorhon, 2017a).



Gambar 3.7 Sub Sistem Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi

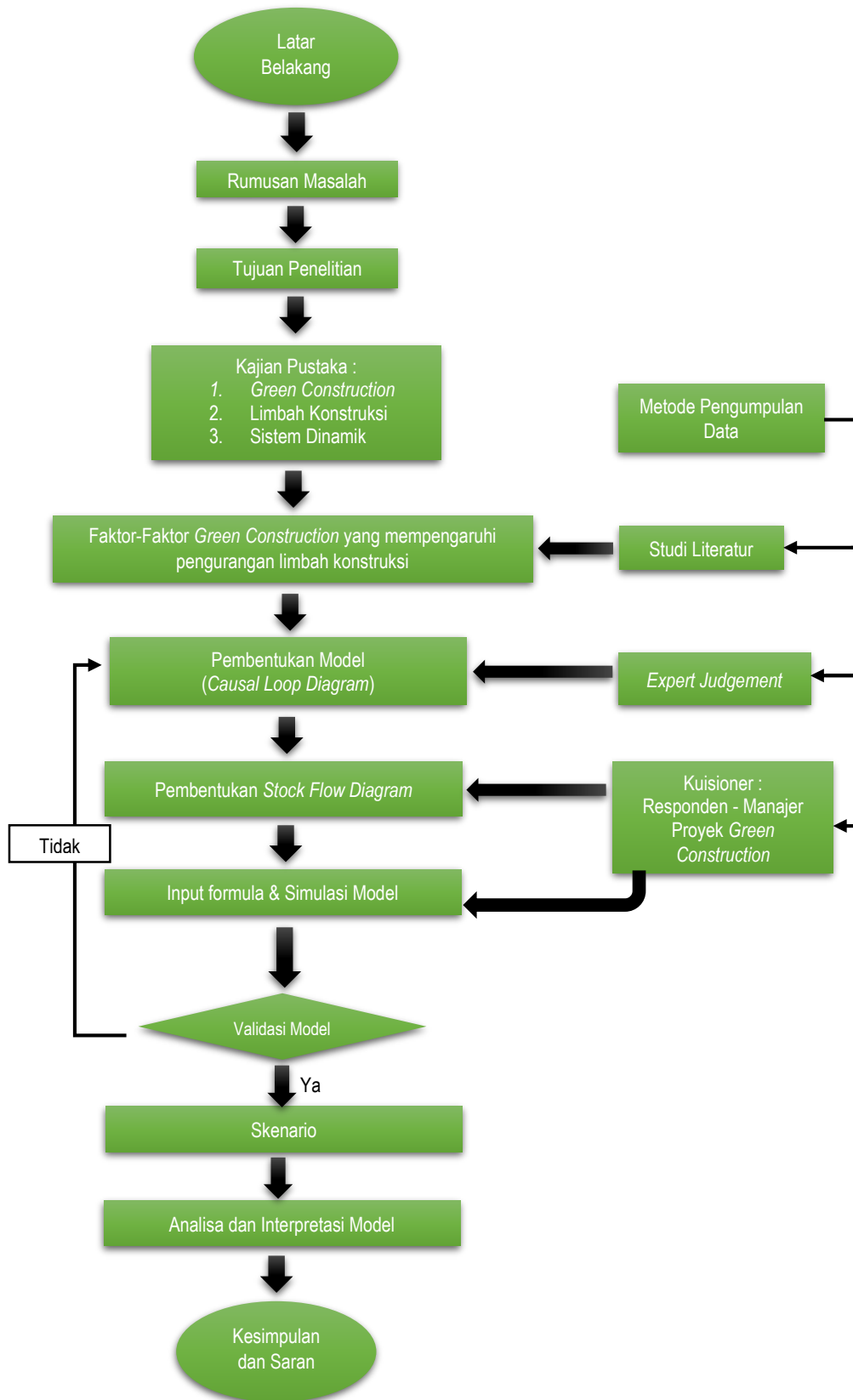
### 3.7.5 Sub Sistem *Green Construction*

Sub sistem ini untuk memberikan gambaran faktor *green construction* dalam mempengaruhi pengurangan limbah konstruksi. Variabel – variabel yang mendukung sub sistem ini di antaranya yaitu perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi, peralatan/teknologi konstruksi, sumber dan siklus material, manajemen lingkungan proyek konstruksi.

Tabel 3.3 Rekapitulasi Sub Sistem dan Variabel/Indikator

Sub Sistem	No.	Variabel/Indikator Internal	Kode	Variabel Eksternal	Kode	Sumber
Green construction	1	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	X1	-	-	-
	2	Peralatan/teknologi konstruksi	X2	-	-	-
	3	Sumber dan Siklus Material	X3	-	-	-
	4	Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi	X4	-	-	-
Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	1	Rencana desain dan pelaksanaan yang efektif	X11	-	-	-
	2	Pengawasan jadwal pelaksanaan yang komprehensif	X11	-	-	-
Peralatan/teknologi konstruksi	3	Pelatihan operator peralatan/teknologi	X21	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	Perc	(Hossain, 2018)
	4	Pemilihan peralatan & teknologi konstruksi yang tepat	X22	Sumber dan siklus Material	Susm	(Fini and Akbarnezhad, 2019)
Sumber dan siklus Material	5	Penggunaan Gedung dan Material	X31	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	Perc	(Fini and Akbarnezhad, 2019)
	6	Material Ramah Lingkungan	X32			
	7	Material Prafabrikasi	X33			
Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi	8	Ahli Green Construction Sebagai Anggota Tim Proyek	X41	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	Perc	(Demirkesen and Ozorhon, 2017b)
	9	Polusi dari Aktivitas Konstruksi	X42			
	10	Manajemen Limbah Konstruksi	X43			

### 3.8 Alur Penelitian



Gambar 3.11 Alur Penelitian

Dalam alur penelitian di atas dijabarkan ada beberapa tahapan yaitu pertama uraian latar belakang dari penelitian ini dilakukan yaitu untuk melihat fakta empiris bagaimana pengaruh implementasi dari green construction terhadap limbah konstruksi. Hal ini juga didukung dengan fakta lapangan dan literatur-literatur terkait yang memadai. Kedua, setelah menyusun latar belakang penelitian kemudian peneliti merumuskan pertanyaan penelitian yang relevan. Ketiga, peneliti kemudian menyusun tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah sebelumnya guna menjawab pertanyaan penelitian tersebut. Keempat, selanjutnya adalah menyajikan kajian literatur yang mendukung dan memperkuat landasan penelitian. Kelima, melalui studi literatur dan penelitian sebelumnya pada tahap ini disintesis faktor – faktor yang mempengaruhi penerapan *green construction* yang relevan dengan pengurangan limbah konstruksi. Selanjutnya pembentukan model penelitian yang dibagi dalam dua tahap yaitu pembentukan model *causal loop diagram* dan *stock flow diagram*. Setelah pembentukan model telah selesai dilakukan kemudian diinput nilai parameter indikator dan formula yang akan menjalankan simulasi. Ketujuh, setelah tahapan simulasi kemudian hasil simulasi tersebut divalidasi untuk melihat kesesuaiannya dengan kondisi nyata. Kedelapan, setelah hasil simulasi telah divalidasi, tahapan selanjutnya adalah menyusun skenario guna meningkatkan kinerja dari sistem yang dibentuk. Langkah terakhir dari alur penelitian adalah melakukan analisa, interpretasi dan pembahasan terhadap hasil penelitian kemudian menyimpulkannya.

Halaman ini sengaja dikosongkan



## **BAB 4**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan tentang pengembangan model sistem dinamik pada penelitian ini yang terdiri dari pengembangan causal loop diagram (CLD), pemodelan stock flow diagram serta persamaannya, analisa sistem, validasi data dan pemodelan skenario penelitian.

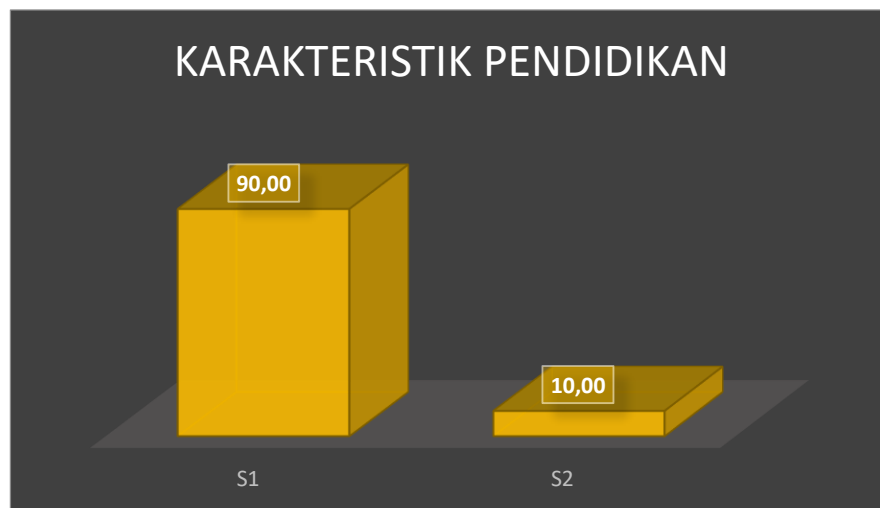
#### **4.1. Pemahaman Sistem**

Kibert (2010) berpendapat bahwa green construction adalah suatu perencanaan dan pelaksanaan proses konstruksi untuk meminimalkan dampak negatif proses konstruksi terhadap lingkungan agar terjadi keseimbangan antara kemampuan lingkungan dan kebutuhan hidup manusia untuk generasi sekarang dan mendatang. Green construction menurut Glavinich (2008) adalah perencanaan dan pengelolaan proyek konstruksi agar supaya pengaruh proses konstruksi terhadap lingkungan seminimal mungkin. Kontraktor harus berperan proaktif peduli terhadap lingkungan, selalu meningkatkan efisiensi dalam proses konstruksi, konservasi energi, efisiensi pemanfaatan air, dan sumberdaya lainnya selama masa konstruksi serta minimasi dan mengelola limbah konstruksi secara baik. Berdasarkan hasil kajian literatur didapatkan variabel – variabel dari green construction yang berpengaruh secara langsung terhadap pengurangan limbah konstruksi yaitu (1) perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi yang terdiri dari dua indikator (rencana desain dan metode pelaksanaan yang efektif dan penentuan dan pemantauan jadwal pelaksanaan yang komprehensif), (2) peralatan/teknologi konstruksi yang terdiri dari dua indikator (pelatihan operator peralatan/teknologi dan pemilihan peralatan dan teknologi konstruksi yang tepat), (3) sumber dan siklus material yang terdiri dari tiga indikator (penggunaan material bekas, material ramah lingkungan, material prafabrikasi), (4) manajemen lingkungan proyek konstruksi yang terdiri dari tiga indikator (ahli green construction sebagai anggota proyek, pengendalian polusi dari aktivitas konstruksi, manajemen limbah konstruksi).

Model sistem dinamik pengaruh *green construction* terhadap pengurangan jumlah konstruksi mencoba untuk mensimulasikan jumlah pengurangan limbah konstruksi yang dipengaruhi oleh faktor – faktor pembentuk *green construction*. Model sistem dinamik yang dibangun kemudian dibagi dalam lima sub sistem, antara lain sub sistem perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi, sub sistem peralatan/teknologi konstruksi, sub sistem sumber dan siklus material, sub sistem manajemen lingkungan proyek konstruksi, dan sub sistem *green construction*.

#### 4.2. Karakteristik Responden Penelitian

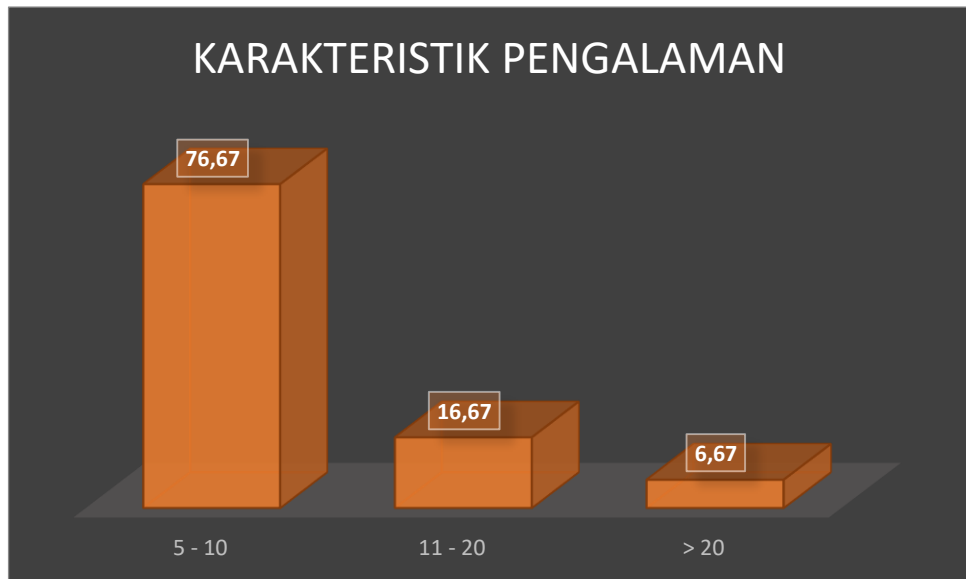
Responden penelitian ini adalah manajer proyek, site manager, konsultan perencana dan konsultan pengawas pada proyek – proyek konstruksi gedung bertingkat khususnya yang dilaksanakan oleh perusahaan konstruksi PT. Pembangunan Perumahan (PP) dengan menerapkan konsep *green construction*. Karakteristik responden dalam penelitian ini adalah berupa tingkat pendidikan, umur dan pengalaman responden. Dari 40 kuisisioner yang disebarakan pada responden, yang kembali sebanyak 30 buah kuisisioner telah merepresentasikan tingkat responden sebesar 75 %.



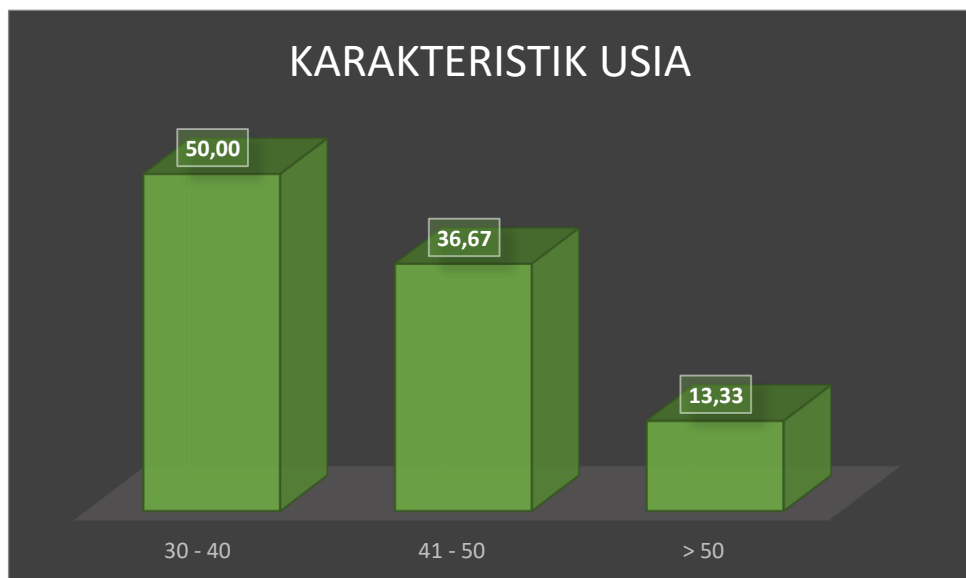
Gambar 4.1 Grafik Karakteristik Pendidikan Responden

Berdasarkan grafik 4.1 di atas menampilkan karakteristik responden berdasarkan pendidikan yang dibagi ke dalam dua kategori yaitu S1 (Sarjana) dan S2 (Pascasarjana) yang dimana dari hasil kuisisioner didapatkan bahwa responden yang memiliki tingkat pendidikan S1 berjumlah 27 orang atau 90% sedangkan S2

berjumlah 3 orang (10%). Selanjutnya apabila dilihat berdasarkan pengalaman responden di bidang konstruksi seperti ditampilkan pada grafik 4.2 di bawah yang dibagi ke dalam tiga kategori yaitu untuk yang memiliki pengalaman 5-10 tahun sebanyak 23 orang atau 76,67 %, pengalaman bekerja 11-20 sebanyak 5 orang atau 16,67 dan untuk yang memiliki pengalaman di atas 20 sebanyak 2 orang atau 6,67%.



Gambar 4.2 Grafik Karakteristik Pengalaman Bekerja Responden



Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Usia Responden

Kemudian dari hasil kuisioner untuk karakteristik responden berdasarkan usia seperti pada grafik 4.3 di atas yang dibagi ke dalam tiga kategori yaitu 30-40

tahun sebanyak 15 orang atau 50%, 41-50 sebanyak 11 atau 36,67 dan kategori di atas 50 tahun yaitu sebanyak 4 orang atau 13,33%.

#### 4.3. Pengembangan Model Konseptual *Causal Loop Diagram* (CLD)

Proses pembentukan causal loop diagram (CLD) merupakan tahap awal yang harus dilakukan di dalam sistem dinamik. Causal loop adalah alat konseptual yang mengungkapkan proses dinamis dimana efek berantai dari penyebab ditelusuri melalui serangkaian variabel terkait kembali ke penyebab asli (Cavana and Maani, 2000). CLD penelitian ini memperlihatkan variabel – variabel yang mempengaruhi penerapan *green construction* beserta indikatornya serta bagaimana hubungan antar variabel – variabel tersebut bekerja membentuk sebuah sistem yang dapat menggambarkan pola hubungan dari variabel – variabel tersebut yang mempengaruhi penerapan konsep *green construction* serta pengaruhnya terhadap pengurangan limbah konstruksi. Dimana variabel – variabel dan indikatornya tersebut serta hubungan antar variabel diperoleh dari studi literatur yang kemudian akan divalidasi oleh *expert* melalui kuisisioner pendahuluan yang kemudian dilakukan pembobotan menggunakan metode kuantifikasi dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Skoring} &= T \times P_n \\ \text{Rumus interval} &= 100/\text{Jumlah Skor (likert)} \\ \text{Rumus index \%} &= \text{Total skor}/Y \times 100\% \dots\dots\dots (\text{Sugiyono, 2014}) \end{aligned}$$

Dengan :

$$\begin{aligned} T &= \text{Total jumlah responden} \\ P_n &= \text{Pilihan angka skor likert} \\ Y &= \text{Skor tertinggi likert} \times \text{Jumlah responden} \end{aligned}$$

Berikut tabulasi hasil perhitungan dari validasi indikator variabel dan hubungannya melalui kuisisioner pendahuluan merujuk metode kuantifikasi tersebut.

Tabel 4.1. Hasil Validasi Indikator Variabel

Variabel	No.	Indikator	Tingkat Persetujuan (%)
Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	1	Rencana desain dan metode pelaksanaan yang efektif	93,33
	2	Penentuan dan pemantauan jadwal pelaksanaan yang komprehensif	86,67

Variabel	No.	Indikator	Tingkat Persetujuan (%)
Peralatan/teknologi konstruksi	3	Pelatihan operator peralatan/teknologi	93,33
	4	Pemilihan peralatan & teknologi konstruksi yang tepat	93,33
Sumber dan siklus Material	5	Penggunaan Gedung dan Material Bekas	86,67
	6	Material Ramah Lingkungan	80,00
	7	Material Prafabrikasi	86,67
Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi	8	Ahli Green Construction Sebagai Anggota Tim Proyek	93,33
	9	Pengendalian Polusi dari Aktivitas Konstruksi	80,00
	10	Manajemen Limbah Konstruksi	93,33

Tabel 4.2. Hasil Validasi Hubungan Indikator Variabel

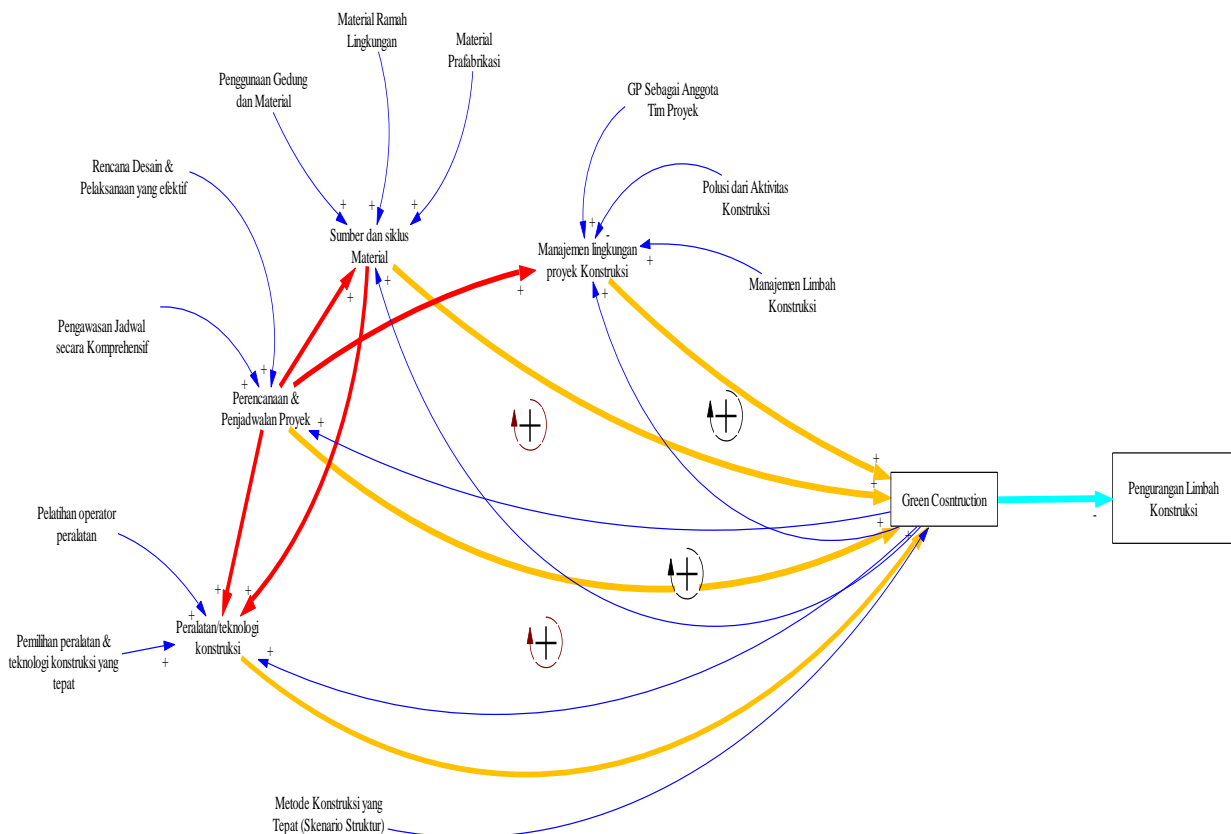
Kode	Hubungan antar Variabel	Tingkat Persetujuan
G1	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi terhadap Peralatan/teknologi konstruksi	93,33
G2	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi terhadap Sumber dan siklus material	93,33
G3	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi terhadap Manajemen lingkungan proyek konstruksi	93,33
G4	Sumber dan siklus Material terhadap Peralatan/teknologi konstruksi	86,67
G5	Penerapan Green Construction terhadap Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	80,00
G6	Penerapan Green Construction terhadap Peralatan/teknologi konstruksi	66,67
G7	Penerapan Green Construction terhadap Sumber dan siklus material	86,67
G8	Penerapan Green Construction terhadap Manajemen lingkungan proyek konstruksi	86,67

Berdasarkan hasil di atas, pada model CLD penelitian ini terdapat empat variabel utama dan sepuluh indikator yang mempengaruhi penerapan dari *green construction* serta relevan dengan pengurangan limbah konstruksi yaitu (1) perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi dengan dua indikator (a) rencana desain dan pelaksanaan yang efektif dan (b) pengawasan jadwal pelaksanaan yang komprehensif, (2) Peralatan/Teknologi Konstruksi dengan dua (a) Pelatihan operator peralatan dan teknologi konstruksi dan (b) Pemilihan Peralatan dan teknologi konstruksi yang tepat, (3) Sumber dan Siklus Material dengan tiga indikator (a) Penggunaan Material Bekas, (b) Material Ramah Lingkungan, (c) Material Prafabrikasi, dan (4) Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi dengan tiga indikator (a) Ahli di bidang Green Construction Sebagai Anggota Tim Proyek,

(b) Pengendalian Polusi dari Aktivitas Konstruksi, (c) Manajemen Limbah Konstruksi, juga terdapat empat loop positif atau reinforcement dalam model CLD (R1,R2,R3 dan R4).

Pada loop positif (reinforcement) R1, penerapan green construction dapat meningkatkan kinerja perencanaan dan penjadwalan proyek dan sebaliknya peningkatan kinerja tersebut dapat meningkatkan optimalisasi penerapan green construction. Untuk loop positif R2, penerapan green construction juga dapat meningkatkan kinerja dari peralatan/teknologi konstruksi yang digunakan. Kemudian loop positif R3 dan R4 menunjukkan bahwa kenaikan tingkat penerapan green construction juga dapat meningkatkan kinerja pelaksanaan manajemen lingkungan proyek konstruksi dan faktor pemilihan/penggunaan sumber dan siklus material pada proyek konstruksi.

Berdasarkan uraian di atas maka konsep pembentukan model CLD disusun dengan menggunakan bantuan aplikasi pemodelan sistem dinamik *Vensim* guna memvisualisasikan kerangka konseptual tersebut. Sehingga didapatkan konseptual model CLD dari penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4 Causal Loop Diagram Penelitian

#### 4.3.1. Uji Normalitas Data

Sebelum masuk lebih jauh ke tahapan berikutnya, terlebih dahulu perlu dilakukan uji normalitas data penelitian yang didapatkan dari kuisioner. Dalam mendeteksi normalitas data dapat dengan uji *Kolmogorov-Smirnov* atau uji *Shapiro-Wilk*. Pemilihan ini didasarkan pada jumlah sampel yang akan diuji, bila sampel yang diuji > 50 digunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* sedangkan jika sampel yang akan diuji < 50, maka digunakan uji *Shapiro-Wilk* (Razali and Wah, 2011). Metode *Shapiro-Wilk* adalah metode uji normalitas yang efektif dan valid digunakan untuk sampel berjumlah kecil. Dalam pengujian, suatu data dikatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi lebih kecil dari 0.05 atau 5 % (Shapiro and Francia, 1972). Berdasarkan hasil uji normalitas data seperti pada Tabel 4.3 di bawah memperlihatkan nilai p/sig. *Shapiro-Wilk* dari indikator – indikator variabel penelitian adalah < 5% atau dapat dikatakan bahwa data yang didapatkan terdistribusi normal.

Tabel 4.3. Uji Normalitas Indikator Variabel

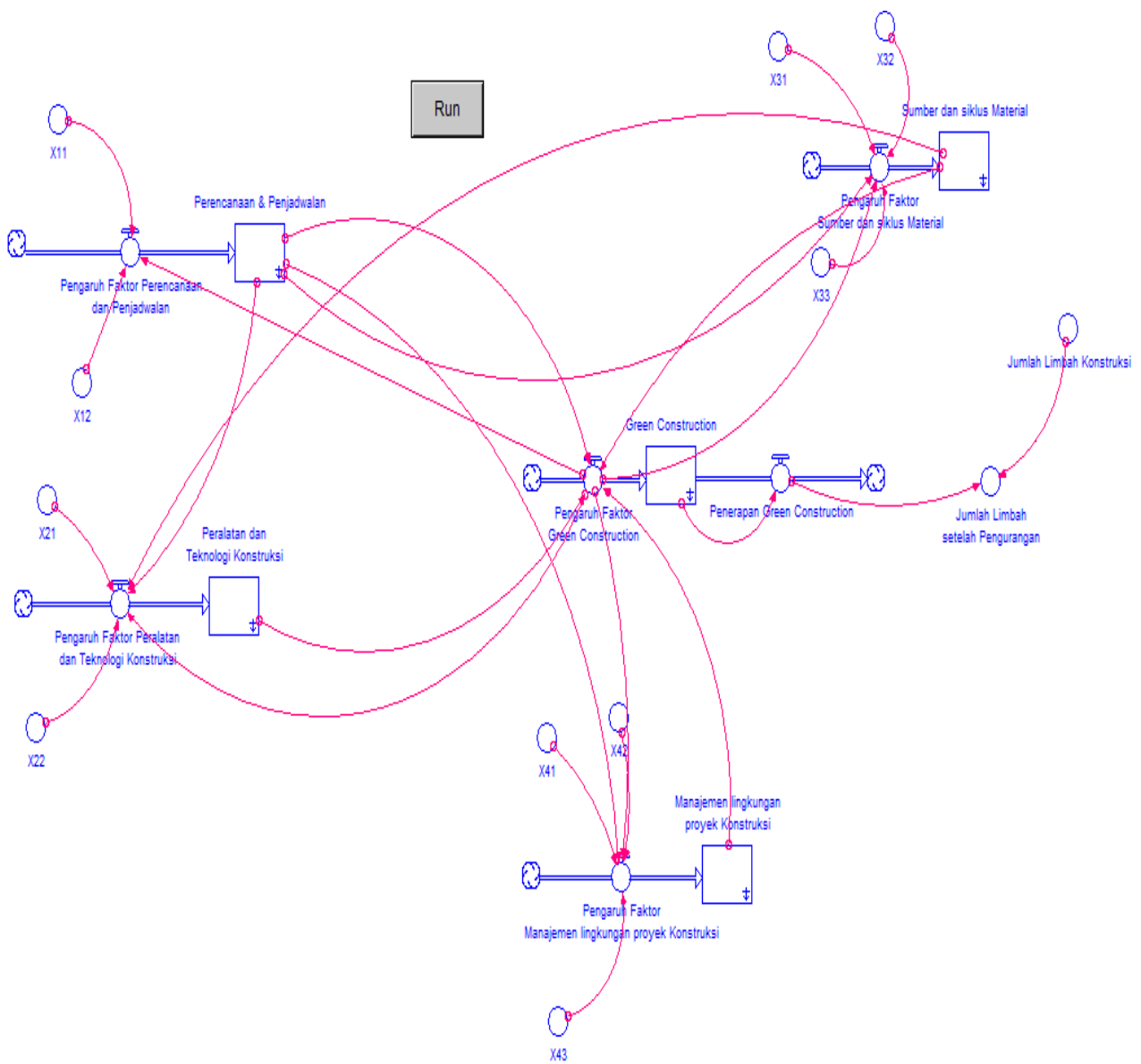
Indicator Code	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
X11	,273	30	,000	,785	30	,000
X12	,279	30	,000	,793	30	,000
X21	,256	30	,000	,807	30	,000
X22	,295	30	,000	,775	30	,000
X31	,204	30	,003	,856	30	,001
X32	,256	30	,000	,814	30	,000
X33	,203	30	,003	,857	30	,001
X41	,217	30	,001	,811	30	,000
X42	,253	30	,000	,848	30	,001
X43	,263	30	,000	,800	30	,000

Sumber : Olah Data Penelitian 2019

#### 4.4. Pengembangan Model *Stock Flow Diagram* (SFD)

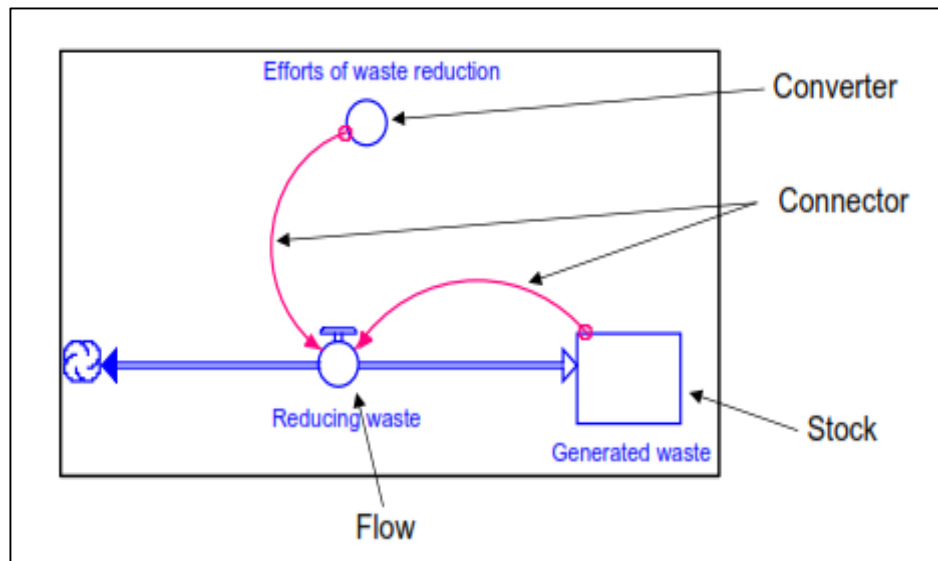
Stock flow diagram (SFD) menggambarkan struktur model secara fisik, dimana stock merupakan akumulasi yang dapat bertambah atau berkurang sedangkan flow sebagai proses yang menyebabkan berkurang atau bertambahnya stock. SFD variabel pembentuk *green construction* ini dikembangkan berdasarkan

model konseptual CLD sebelumnya yang akan disimulasikan menggunakan bantuan aplikasi *Stella 9.1.3* untuk menggambarkan hasil interaksi diantara variabel penelitian terhadap tingkat penerapan *green construction* pada proyek konstruksi dan pengaruhnya terhadap pengurangan limbah konstruksi. Hasil simulasi model SFD ini juga nantinya akan diinterpretasikan untuk menganalisa bagaimana dan seberapa besar pengaruh penerapan *green construction* pada proyek konstruksi dapat meminimalisir limbah konstruksi. Adapun visualisasi model SFD penelitian ini adalah seperti yang terlihat pada gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Stock Flow Diagram Penelitian





Gambar 4.6 Keterangan Simbol Stock Flow Diagram

Berdasarkan penjelasan dari Yuan et al., (2012) mengenai gambar 4.6 di atas, dapat diterangkan makna dari simbol – simbol yang digunakan dalam SFD model yaitu (1) Stock adalah hasil dari akumulasi dan menyimpan informasi berupa nilai suatu parameter yang dimasukkan ke dalamnya, (2) Flow adalah aliran yang berpengaruh terhadap reduksi dan penambahan jumlah stock serta arah panah menunjukkan arah aliran baik satu ataupun dua arah, (3) Converter berfungsi menyimpan konstanta input bagi suatu persamaan serta menyimpan data grafis dan (4) Connector berfungsi menghubungkan tiap unsur elemen dalam suatu model.

#### 4.4.1. Simulasi Model *Stock Flow Diagram* (SFD)

Tahapan berikutnya setelah model SFD penelitian terbentuk yaitu melakukan simulasi terhadap sistem model tersebut yang dalam penjabarannya akan dibagi ke dalam empat sub sistem, namun sebelum itu terlebih dahulu diperlukan nilai – nilai parameter dari setiap variabel dan indikator yang akan dimasukkan ke dalam persamaan antar variabel yang mempengaruhi penerapan green construction pada proyek konstruksi. Hubungan antar sub indikator dan antar variabel diformulasikan dengan persamaan regresi linier berganda.

Nilai – nilai parameter indikator dan variabel diperoleh dari hasil kuisisioner utama yang disebarkan kepada responden yang telah dijelaskan sebelumnya, yang kemudian data tersebut dikonversi dari data kualitatif menjadi kuantitatif dengan

melakukan normalisasi pembobotan dari setiap sub variabel penelitian menggunakan metode kuantifikasi seperti pada kuisioner pendahuluan. Berikut merupakan hasil tabulasi data nilai – nilai parameter indikator dan variabel dari penelitian ini.

Tabel 4.4. Nilai Parameter Variabel

Kode	Variabel	Nilai Awal	Unit
X1	Perencanaan dan Penjadwalan	0,785	-
X2	Peralatan dan Teknologi Konstruksi	0,804	-
X3	Sumber dan Siklus Material	0,800	-
X4	Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi	0,775	-

Sumber : Olah Data Penelitian 2019

Tabel 4.5. Nilai Parameter Indikator Variabel

Kode	Indikator Variabel	Nilai	Unit
X11	Rencana desain dan metode pelaksanaan yang efektif	0,498	-
X12	Penentuan dan pemantauan jadwal pelaksanaan yang komprehensif	0,502	-
X21	Pelatihan operator peralatan/teknologi	0,492	-
X22	Pemilihan peralatan & teknologi konstruksi yang tepat	0,508	-
X31	Penggunaan Gedung dan Material Bekas	0,330	-
X32	Material Ramah Lingkungan	0,346	-
X33	Material Prafabrikasi	0,324	-
X41	Ahli Green Construction Sebagai Anggota Tim Proyek	0,332	-
X42	Pengendalian Polusi dari Aktivitas Konstruksi	0,331	-
X43	Manajemen Limbah Konstruksi	0,337	-

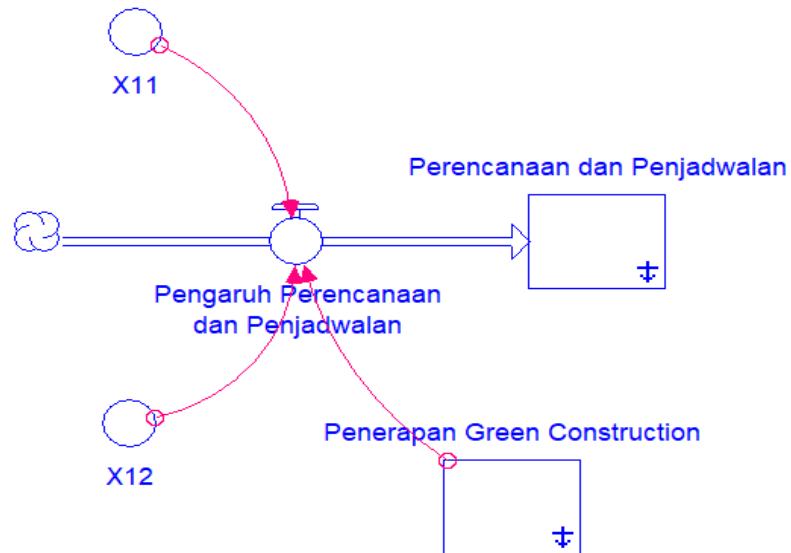
Sumber : Olah Data Penelitian 2019

Detail hasil perhitungan bobot keseluruhan indikator maupun variabelnya dapat dilihat pada lampiran 3 (tiga). Hipotesis yang dibangun dalam pembentukan model penelitian ini adalah semakin tinggi tingkat penerapan *green construction* maka semakin tinggi pula jumlah pengurangan limbah konstruksi pada suatu proyek konstruksi.

#### 4.4.1.1. Sub Sistem Perencanaan dan Penjadwalan Proyek

Model sub sistem perencanaan dan penjadwalan proyek seperti pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa tingkat pengaruh sub sistem ini dipengaruhi oleh faktor-faktor internal yaitu rencana desain dan pelaksanaan yang efektif (X11), penentuan dan pemantauan jadwal pelaksanaan yang komprehensif (X12)

sedangkan untuk faktor eksternal sub sistem yaitu penerapan dari green construction.

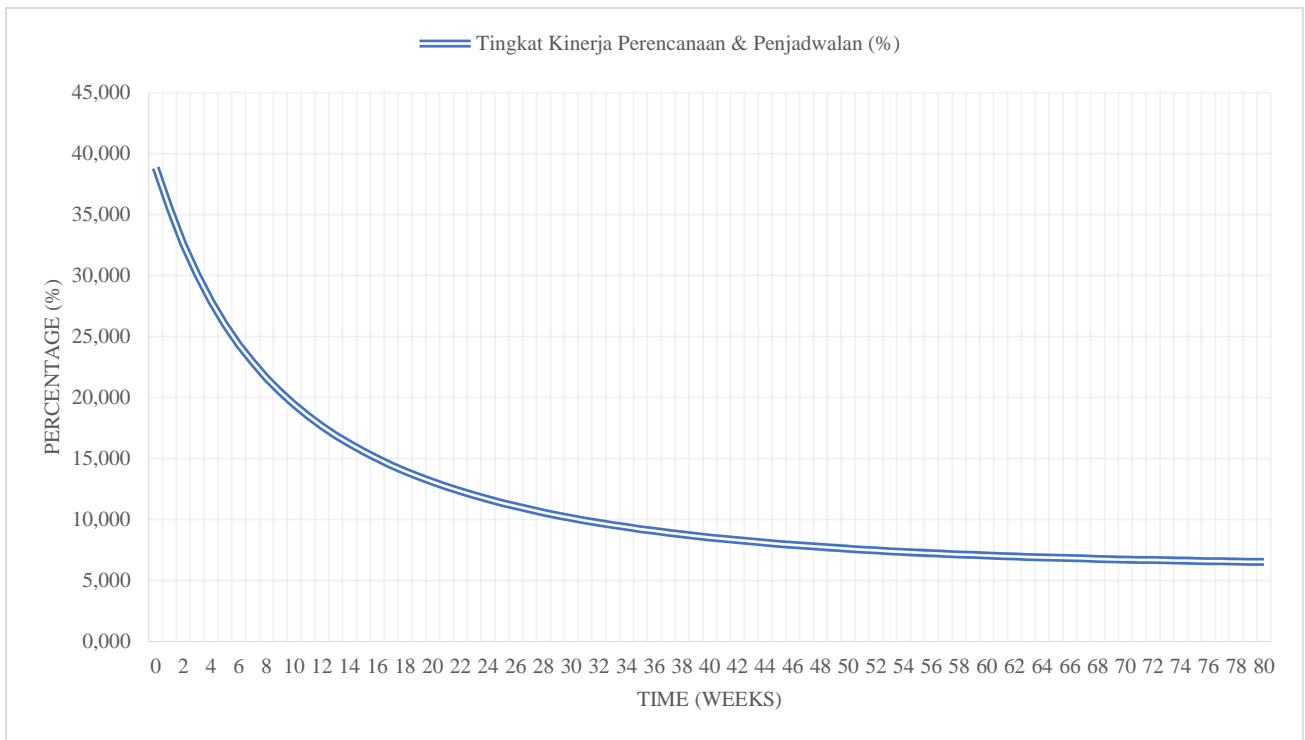


Gambar 4.7 Model Sub Sistem Perencanaan dan Penjadwalan

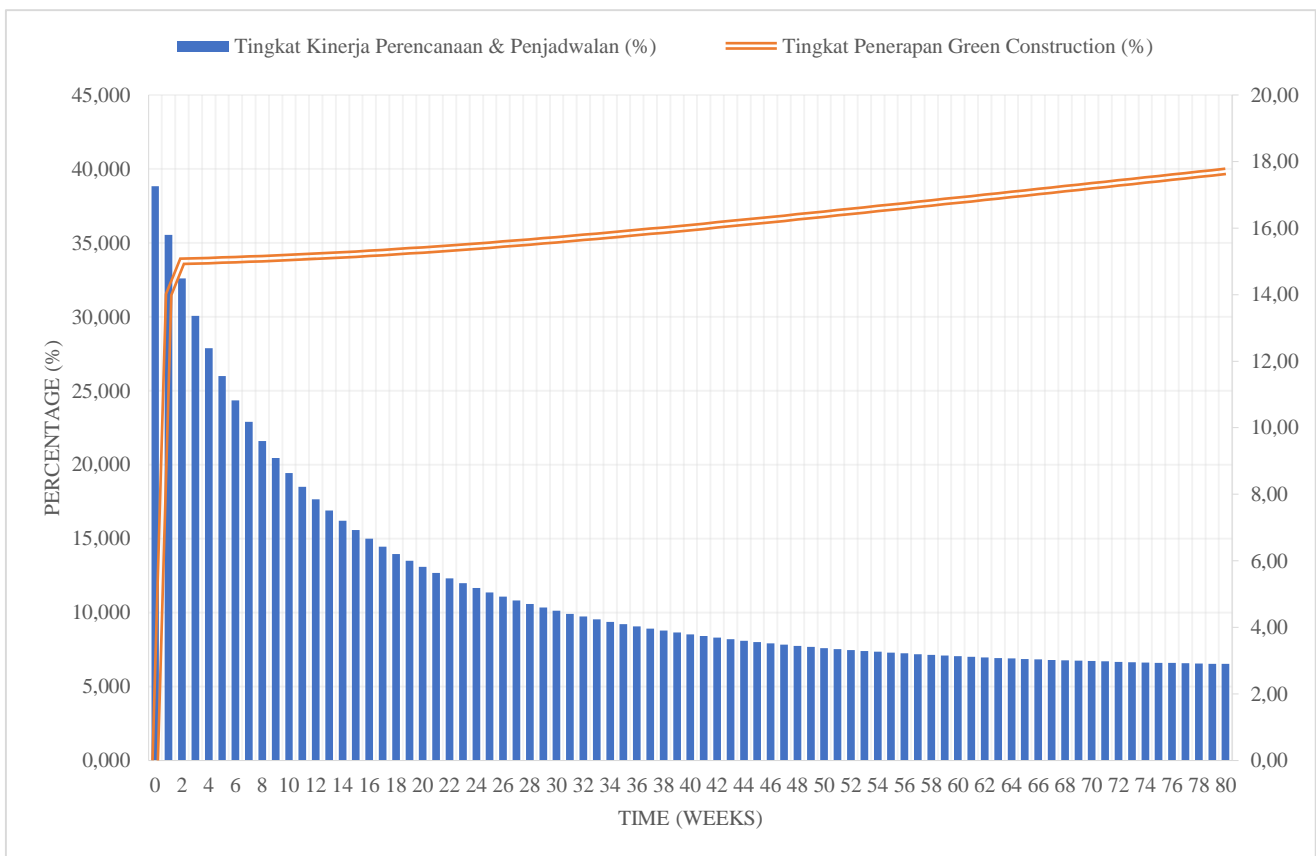
Dalam membentuk pengaruh yang akan disimulasikan pada model sub sistem ini maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- $\text{Perencanaan dan Penjadwalan (t)} = \text{Perencanaan\_}\&\_ \text{Penjadwalan(t-dt)} + (\text{Pengaruh\_Perencanaan\_}\&\_ \text{Penjadwalan}) * dt$
- $\text{Pengaruh\_Perencanaan\_}\&\_ \text{Penjadwalan} = 0.682 + (0.556 * X11) + (0.511 * X12) + (0.068 * \text{Pengaruh\_Faktor\_Green\_Construction})$

Setelah model terbentuk maka selanjutnya dilakukan simulasi terhadap model sub sistem tersebut untuk melihat tingkat kinerja dan pengaruh variabel perencanaan dan penjadwalan terhadap sistem penerapan *green construction*. Satuan waktu (*Time Unit*) yang digunakan dalam simulasi ini disesuaikan dengan durasi pelaksanaan proyek mulai dari awal pelaksanaan sampai dengan akhir masa pengamatan sampling limbah konstruksi pada proyek yaitu 80 Minggu. Hasil simulasi yang dilakukan pada model sub sistem perencanaan dan penjadwalan dapat dilihat pada grafik gambar 4.8 dan 4.9 di bawah ini.



Gambar 4.8 Simulasi Model Sub Sistem Perencanaan dan Penjadwalan

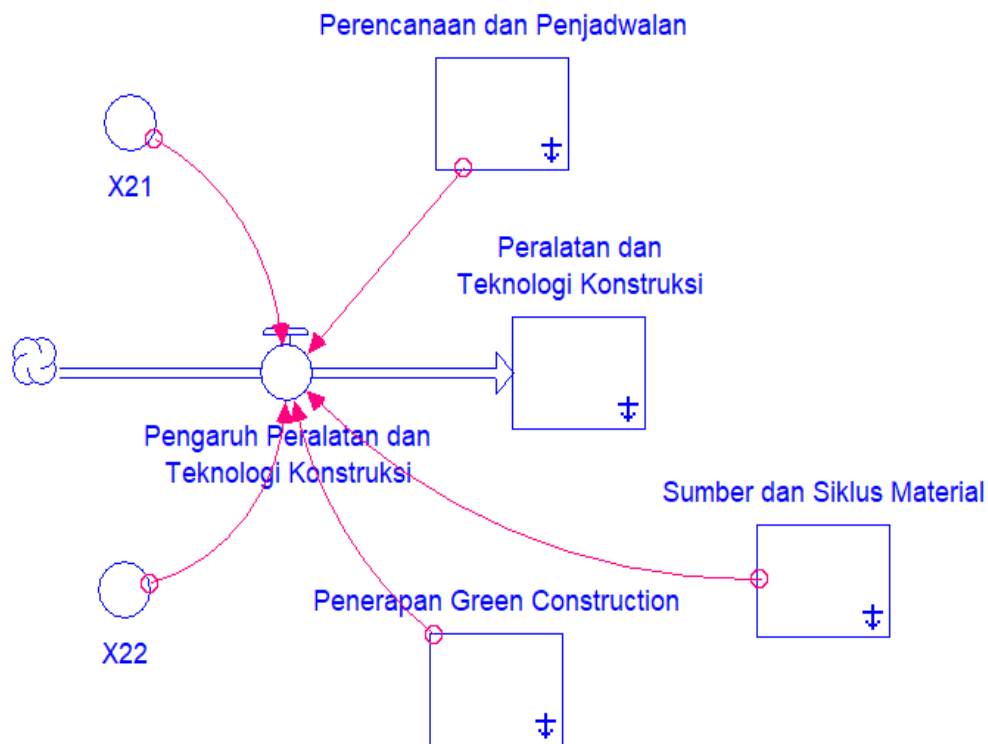


Gambar 4.9 Tingkat Kinerja Variabel Perencanaan dan Penjadwalan terhadap Penerapan Green Construction

Hasil simulasi di atas menunjukkan bahwa tingkat kinerja perencanaan dan penjadwalan dibandingkan dengan tingkat penerapan *green construction* adalah sebesar 6,536 % dan secara rata-rata sebesar 11,682 % yang bermakna semakin tinggi tingkat kinerja pelaksanaan perencanaan penjadwalan proyek maka tinggi pula tingkat penerapan dari *green construction*. Bon-Gang (2018) dalam penelitiannya lebih lanjut juga mengungkapkan bahwa salah satu faktor yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan konsep *green construction* dengan memperhatikan perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi, *green construction* memerlukan desain yang lebih rinci dan efektif serta perencanaan yang efisien karena karakteristik teknologinya yang kompleks, biaya yang lebih besar ketimbang proyek konvensional. Serta berdasarkan kondisi di lapangan bahwa perencanaan dan penjadwalan adalah salah satu faktor yang menentukan performa dari penerapan *green construction* pada proyek. Dari hasil simulasi di atas juga terlihat bahwa pada awal proyek kinerja perencanaan cukup tinggi kemudian berangsur – angsur menurun dikarenakan masa perencanaan dan penjadwalan pelaksanaan kegiatan proyek berada di tahap awal pelaksanaan suatu proyek sehingga tingkat pelaksanaan *green construction* juga mengalami kenaikan signifikan di awal kemudian naik secara konstan dan perlahan.

#### **4.4.1.2. Sub Sistem Peralatan dan Teknologi Konstruksi**

Model sub sistem peralatan dan teknologi konstruksi seperti pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa tingkat pengaruh sub sistem ini dipengaruhi oleh faktor-faktor internal yaitu pelatihan operator peralatan/teknologi (X21), pemilihan peralatan & teknologi konstruksi yang tepat (X22) sedangkan untuk faktor eksternal sub sistem yaitu perencanaan dan penjadwalan, sumber dan siklus material serta penerapan dari *green construction*.

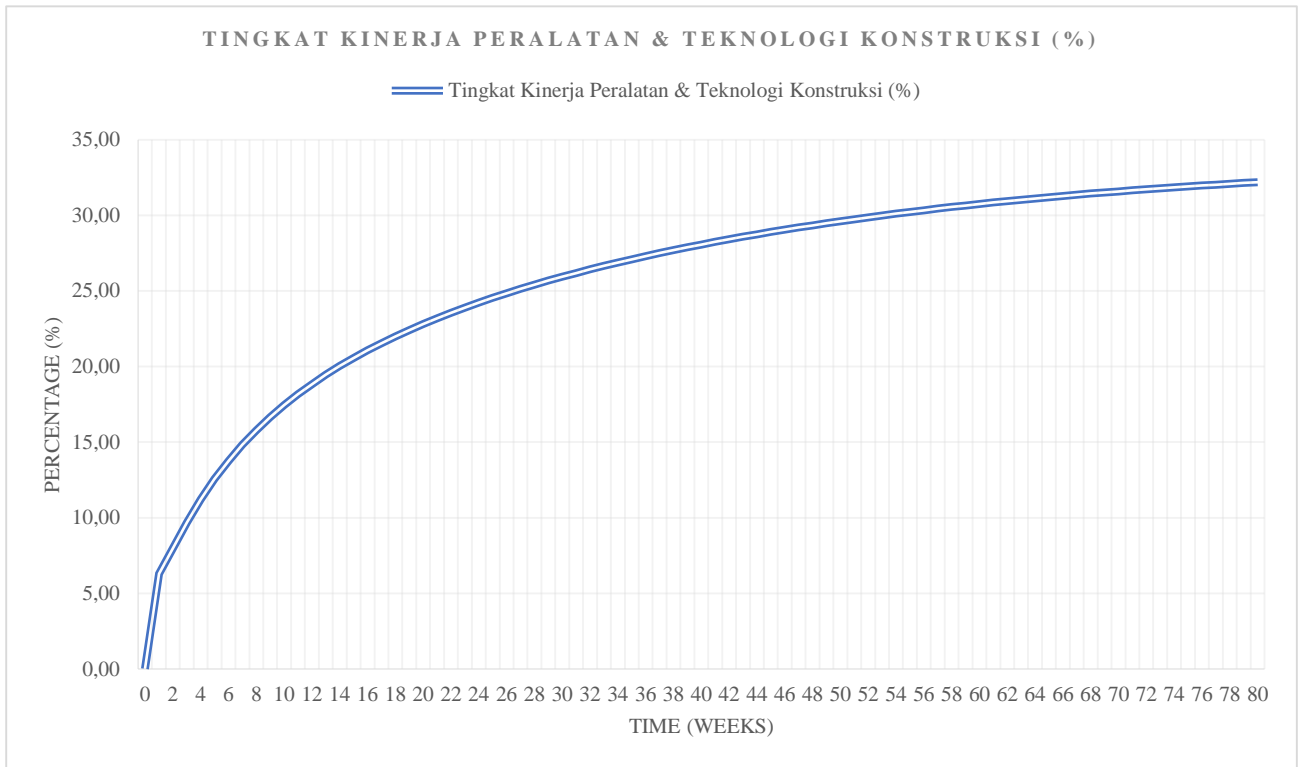


Gambar 4.10 Model Sub Sistem Peralatan dan Teknologi Konstruksi

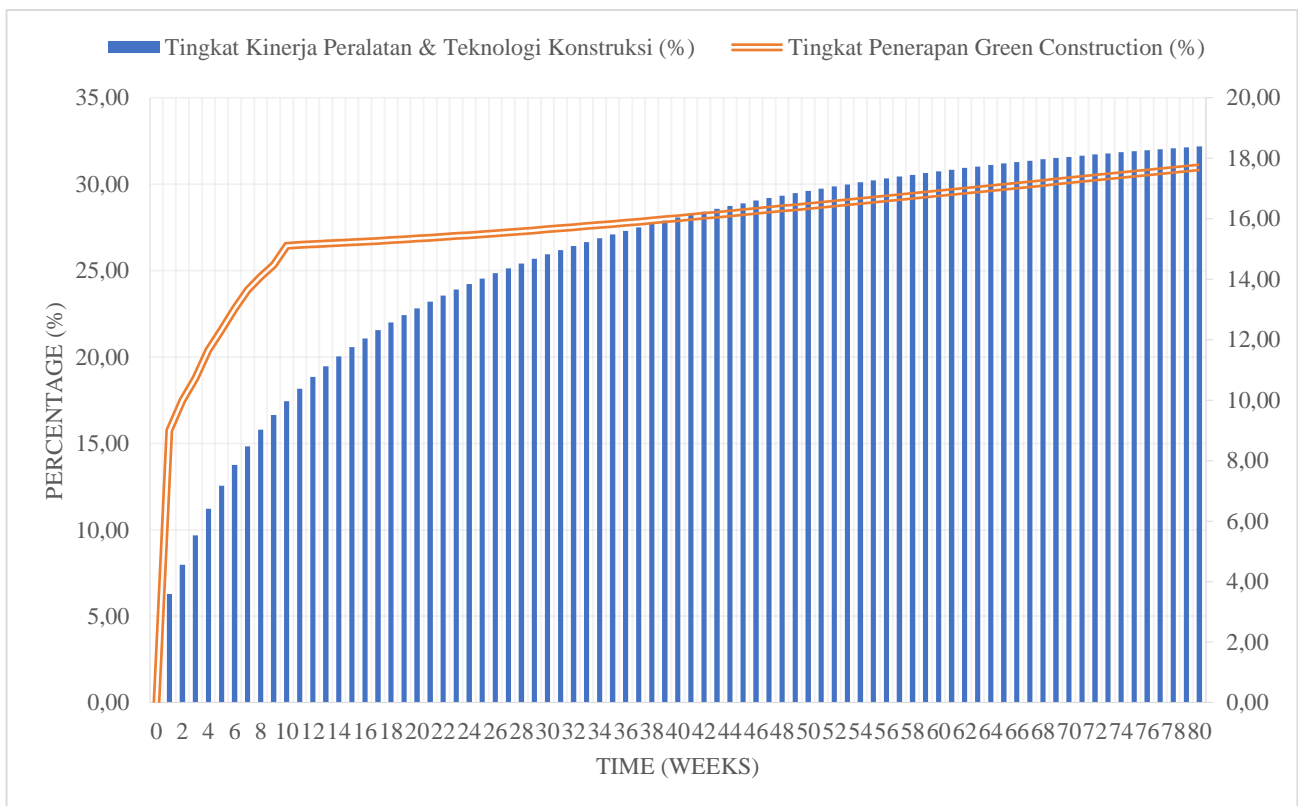
Dalam membentuk pengaruh yang akan disimulasikan pada model sub sistem ini maka formulasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

- $\text{Peralatan\_}\&\_ \text{Teknologi\_Konstruksi (t)} = \text{Peralatan\_}\&\_ \text{Teknologi\_Konstruksi (t-dt)} + (\text{Pengaruh\_Peralatan\_}\&\_ \text{Teknologi\_Konstruksi}) * dt$
- $\text{Pengaruh\_Peralatan\_}\&\_ \text{Teknologi\_Konstruksi} = 0.069 + (0.486 * X21) + (0.406 * X22) + (0.017 * \text{Perencanaan\_}\&\_ \text{Penjadwalan}) + (0.111 * \text{Sumber\_dan\_siklus\_Material}) + (0.008 * \text{Pengaruh\_Faktor\_Green\_Construction})$

Setelah model terbentuk maka selanjutnya dilakukan simulasi terhadap model sub sistem tersebut untuk melihat tingkat kinerja dan pengaruh variabel peralatan dan teknologi konstruksi terhadap sistem penerapan *green construction*. Hasil simulasi yang dilakukan pada model sub sistem peralatan dan teknologi konstruksi dapat dilihat pada grafik gambar 4.11 dan 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.11 Simulasi Model Sub Sistem Peralatan Dan Teknologi Konstruksi

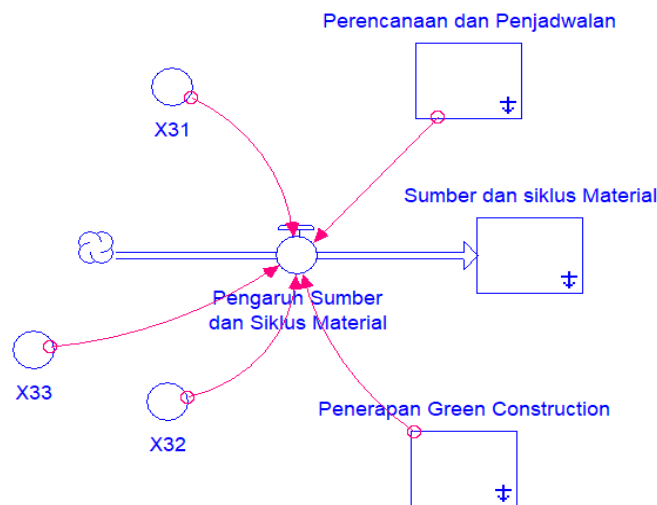


Gambar 4.12 Tingkat Kinerja Variabel Peralatan Dan Teknologi Konstruksi terhadap Penerapan Green Construction

Hasil di atas menunjukkan bahwa tingkat kinerja variabel peralatan dan teknologi konstruksi dibandingkan dengan tingkat penerapan green construction adalah sebesar 32,19 % dan secara rata-rata sebesar 25,615 %. Hal ini bermakna semakin tinggi tingkat kinerja peralatan dan teknologi konstruksi maka tinggi pula tingkat penerapan dari *green construction*. Dari hasil simulasi di atas juga terlihat bahwa kinerja peralatan dan teknologi konstruksi naik cukup tinggi kemudian berangsur – angsur stabil secara perlahan.

#### 4.4.1.3. Sub Sistem Sumber dan Siklus Material

Model sub sistem sumber dan siklus material seperti pada gambar 4.13 menunjukkan bahwa tingkat pengaruh sub sistem ini dipengaruhi oleh faktor-faktor internal yaitu penggunaan gedung dan material bekas (X31), material ramah lingkungan (X32), material prafabrikasi (X33) sedangkan untuk faktor eksternal sub sistem yaitu perencanaan dan penjadwalan serta penerapan dari green construction.



Gambar 4.13 Model Sub Sistem Sumber dan Siklus Material

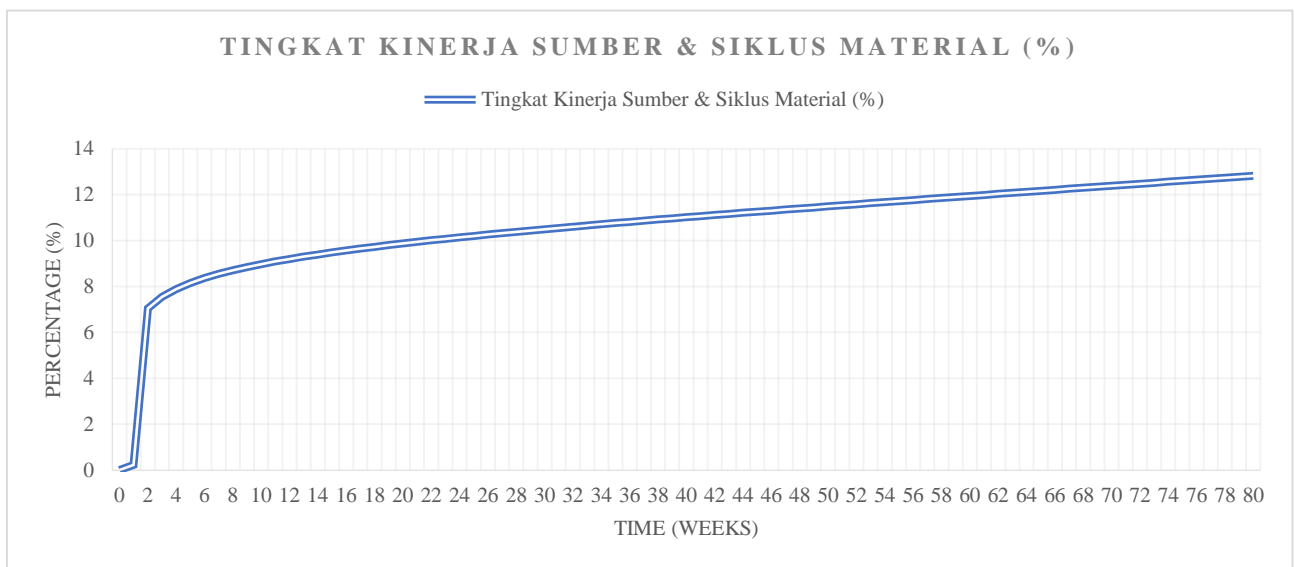
Dalam membentuk pengaruh yang akan disimulasikan pada model sub sistem ini maka formulasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Sumber dan Siklus Material (t) = Sumber dan Siklus Material (t-dt) + (Pengaruh\_ Sumber dan Siklus Material) \* dt

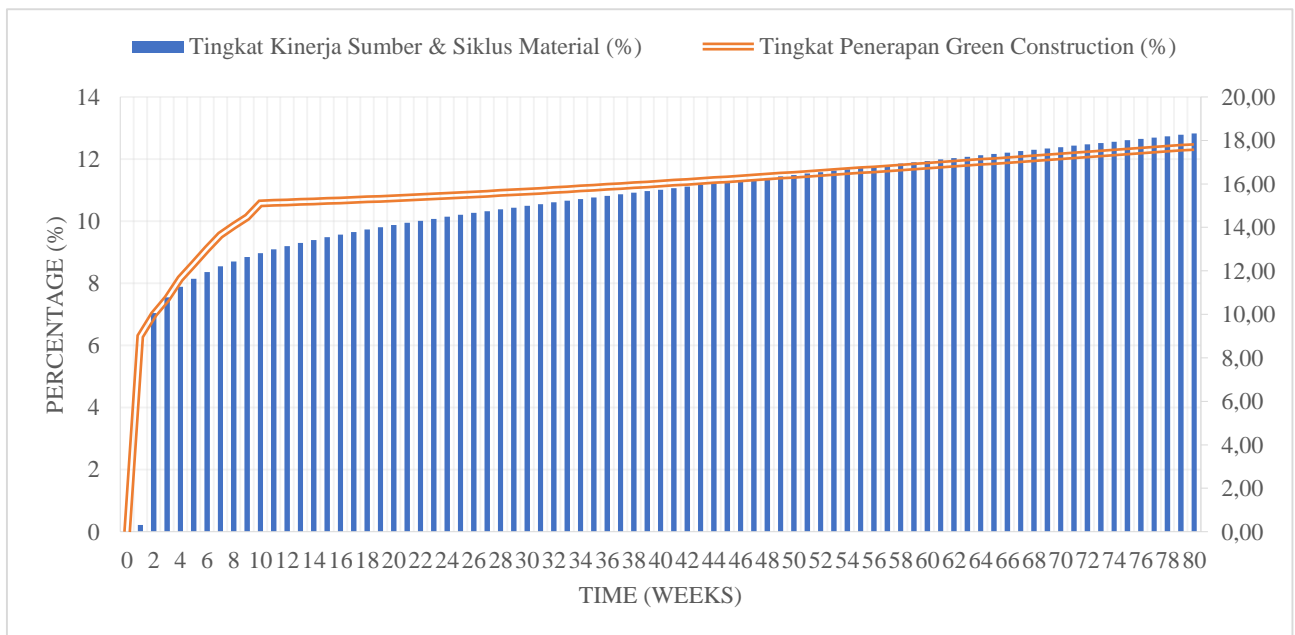


➤  $\text{Pengaruh\_Sumber dan Siklus Material} = 0.359 + (0.350 \cdot X_{31}) + (0.273 \cdot X_{32}) + (0.379 \cdot X_{33}) + (0.033 \cdot \text{Perencanaan\_ \& \_Penjadwalan}) + (0.086 \cdot \text{Pengaruh\_Faktor\_Green\_Construction})$

Setelah model terbentuk maka selanjutnya dilakukan simulasi terhadap model sub sistem tersebut untuk melihat tingkat kinerja dan pengaruh variabel Sumber dan Siklus Material terhadap sistem penerapan *green construction*. Hasil simulasi yang dilakukan pada model sub sistem Sumber dan Siklus Material dapat dilihat pada grafik gambar 4.14 dan 4.15 di bawah ini.



Gambar 4.14 Simulasi Model Sub Sistem Sumber dan Siklus Material

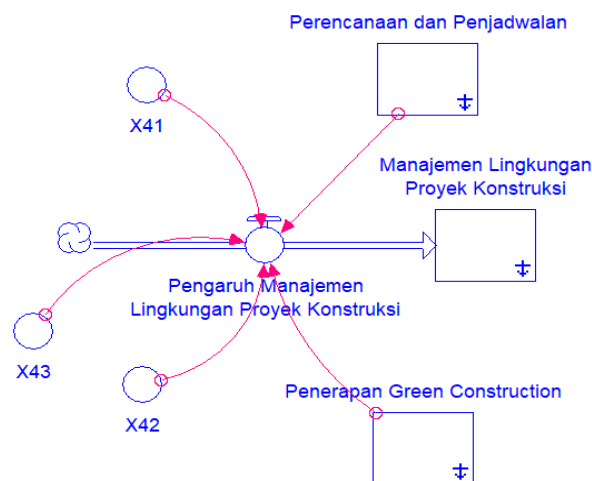


Gambar 4.15 Tingkat Kinerja Variabel Sumber dan Siklus Material terhadap Penerapan Green Construction

Hasil di atas menunjukkan bahwa tingkat kinerja variabel sumber dan siklus material dibandingkan dengan tingkat penerapan green construction adalah sebesar 12,82 % dan secara rata-rata sebesar 10,59 %. Hal ini bermakna semakin tinggi tingkat kinerja sumber dan siklus material pada proyek maka tinggi pula tingkat penerapan dari *green construction*.

#### 4.4.1.4. Sub Sistem Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi

Model sub sistem manajemen lingkungan proyek konstruksi seperti pada gambar 4.16 menunjukkan bahwa tingkat pengaruh sub sistem ini dipengaruhi oleh faktor-faktor internal yaitu ahli green construction sebagai anggota tim proyek (X41), pengendalian polusi dari aktivitas konstruksi (X42), manajemen limbah konstruksi (X43) sedangkan untuk faktor eksternal sub sistem yaitu perencanaan dan penjadwalan serta penerapan dari green construction.

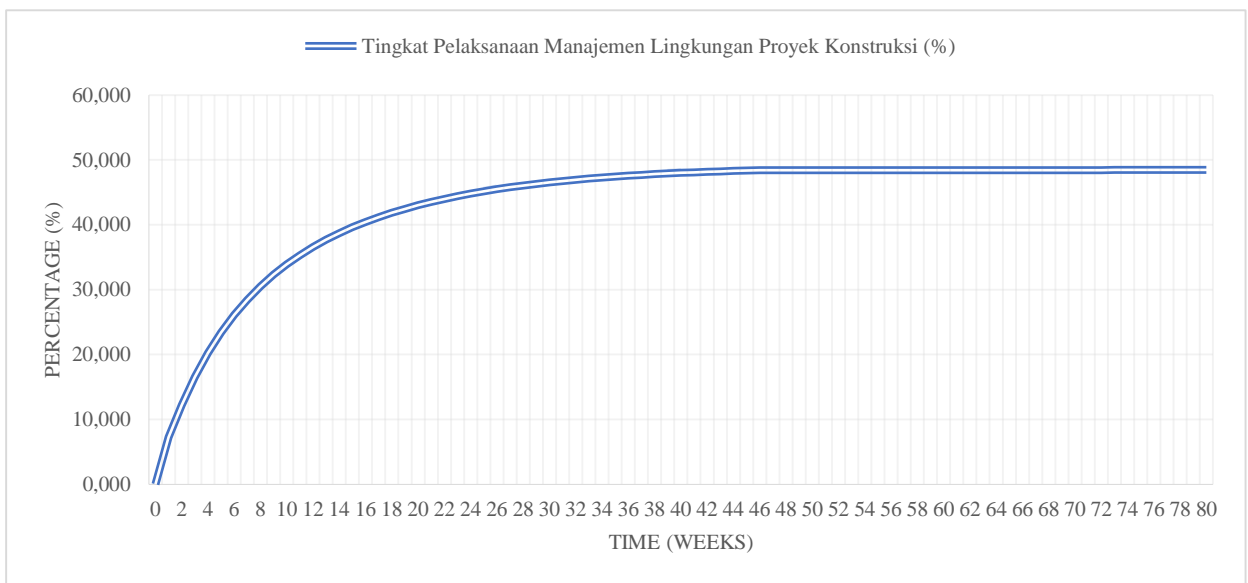


Gambar 4.16 Model Sub Sistem Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi

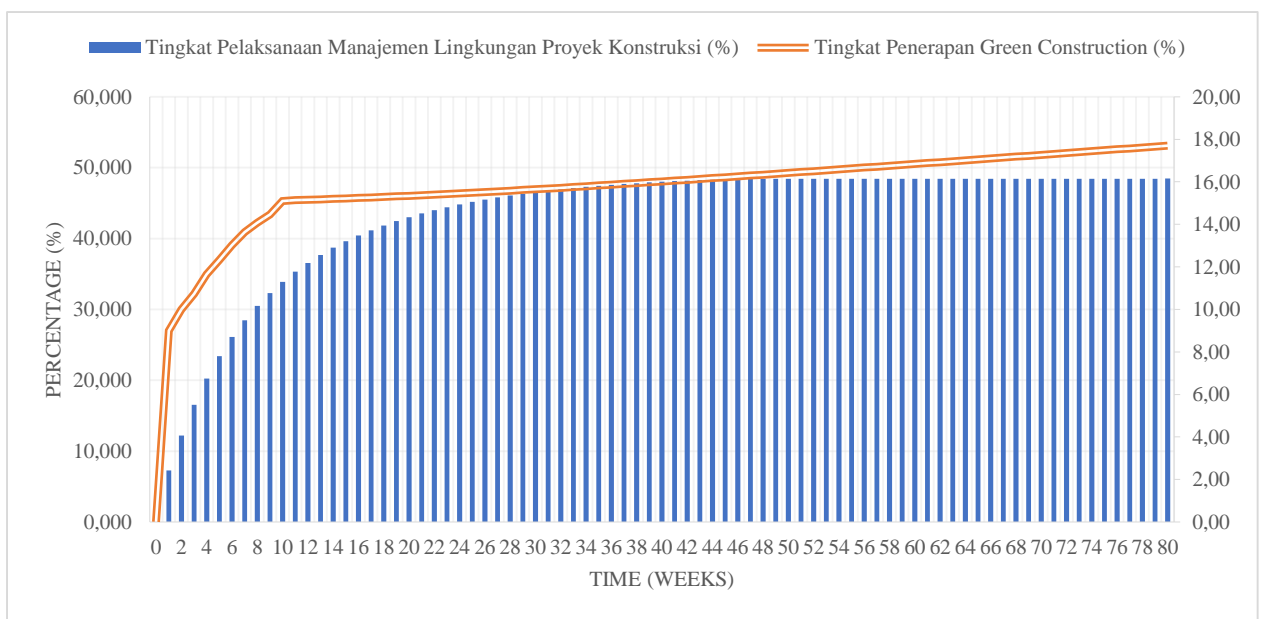
Dalam membentuk pengaruh yang akan disimulasikan pada model sub sistem ini maka formulasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi (t) = Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi (t-dt) + (Pengaruh\_ Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi) \* dt
- Pengaruh\_Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi = 1.064+(0.255\*X41)+(0.197\*X42)+(0.593\*X43)+(0.342\*Perencanaan\_&\_Penjadwalan)+(0.007\*Pengaruh\_Faktor\_Green\_Construction)

Setelah model terbentuk maka selanjutnya dilakukan simulasi terhadap model sub sistem tersebut untuk melihat tingkat kinerja dan pengaruh variabel manajemen lingkungan proyek konstruksi terhadap sistem penerapan *green construction*. Satuan waktu (*Time Unit*) yang digunakan dalam simulasi ini disesuaikan dengan durasi pelaksanaan proyek mulai dari awal pelaksanaan sampai dengan akhir masa pengamatan sampling limbah konstruksi pada proyek yaitu 80 Minggu. Hasil simulasi yang dilakukan pada model sub sistem manajemen lingkungan proyek konstruksi dapat dilihat pada grafik gambar 4.17 dan 4.18 di bawah ini.



Gambar 4.17 Simulasi Model Sub Sistem Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi



Gambar 4.18 Tingkat Kinerja Variabel Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi terhadap Penerapan Green Construction

Hasil di atas menunjukkan bahwa tingkat kinerja variabel manajemen lingkungan proyek konstruksi dibandingkan dengan tingkat penerapan green construction adalah sebesar 48,453 % dan secara rata-rata sebesar 43,094 % yang bermakna semakin tinggi tingkat kinerja pelaksanaan manajemen lingkungan proyek konstruksi maka tinggi pula tingkat penerapan dari *green construction*.

#### 4.5. Analisa Model Sistem Dinamik Penerapan *Green Construction*

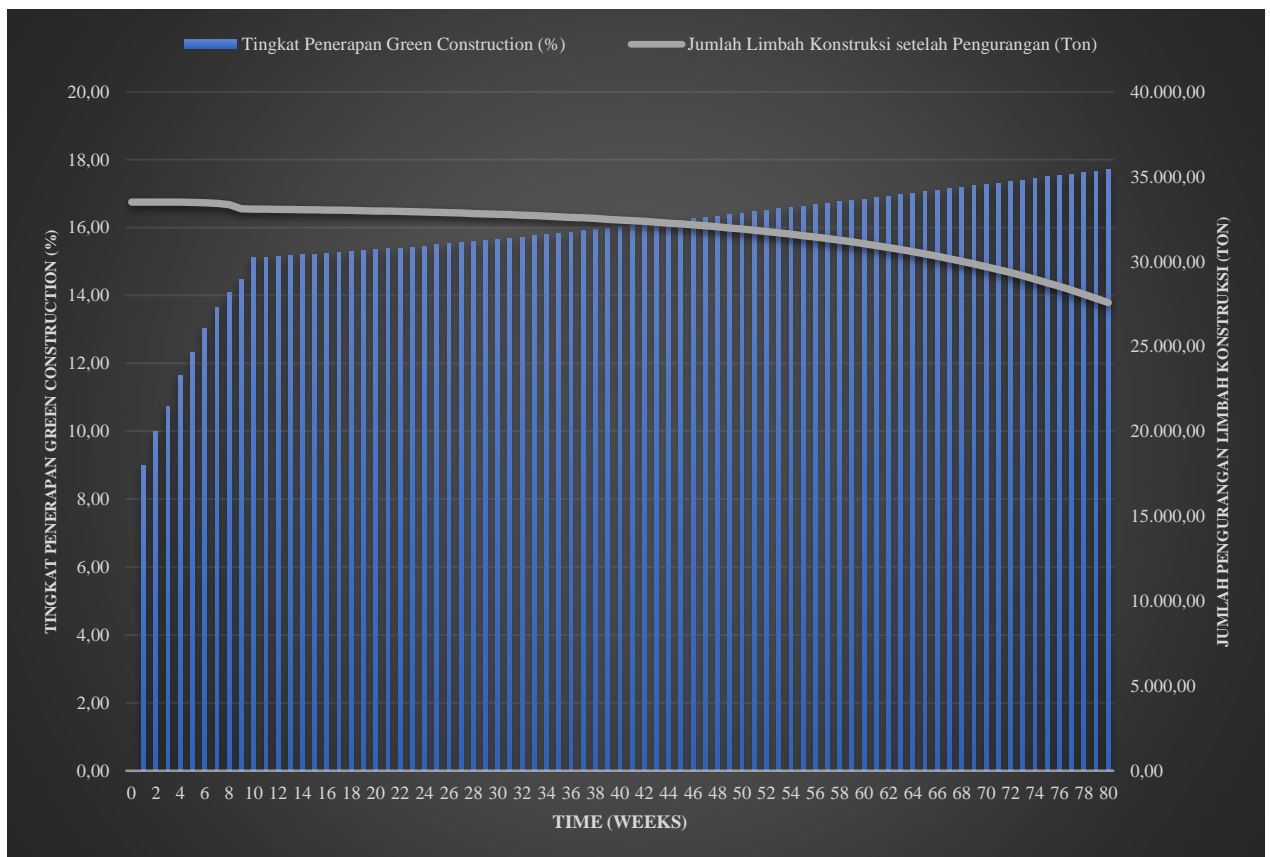
Model utama sistem penerapan green construction terhadap pengurangan limbah konstruksi seperti pada gambar 4.2 menunjukkan jumlah limbah konstruksi yang berkurang akibat dari pengaruh penerapan *green construction*. Tingkat pengaruh sistem ini dipengaruhi oleh variabel – variabel pembentuk green construction yaitu perencanaan dan penjadwalan (X1), peralatan dan teknologi konstruksi (X2), sumber dan siklus material (X3) dan manajemen lingkungan proyek konstruksi (X4). Satuan waktu (*time unit*) yang digunakan dalam simulasi ini disesuaikan dengan durasi pelaksanaan proyek mulai dari awal pelaksanaan sampai dengan akhir masa pengamatan *sampling* limbah konstruksi yaitu 80 minggu pada salah satu proyek gedung apartemen komersial yang dikerjakan oleh PT. PP Konstruksi di Surabaya. Adapun jumlah limbah konstruksi yang didapatkan dari hasil pengamatan lapangan yaitu sebesar 33.503 ton (Lampiran).

Kemudian langkah selanjutnya adalah menginput data hasil pengamatan tersebut ke dalam model dan membentuk persamaan model. Berikut ini persamaan yang akan digunakan dalam simulasi pada model sistem adalah sebagai berikut :

- $Green\_Construction(t) = Green\_Construction(t-dt) + (Pengaruh\_Faktor\_Green\_Construction - Penerapan\_Green\_Construction) * dt$
- $Penerapan\_Green\_Construction = Green\_Construction$
- $Pengaruh\_Faktor\_Green\_Construction = 2,143 + (0,335 * Perencanaan\_ \& \_Penjadwalan) + (0,125 * Peralatan\_dan\_Teknologi\_Konstruksi) - (0,159 * Sumber\_dan\_siklus\_Material) - (0,003 * Manajemen\_lingkungan\_proyek\_Konstruksi) + (Recycling\_ \& \_Reused\_Rate)$
- $Jumlah\_Limbah\_setelah\_Pengurangan = Jumlah\_Limbah\_Konstruksi - Penerapan\_Green\_Construction$  (Yuan et al., 2012)

Mengacu pada penelitian yang dilakukan Yuan (2011) bahwa dalam pelaksanaan manajemen lingkungan proyek konstruksi khususnya manajemen limbah konstruksi *on-site* perlu memperhitungkan indikator reduce, recycling and reused (3R), maka pada perhitungan variabel manajemen lingkungan proyek konstruksi (X4) ditambahkan recycling and reused rate yaitu  $0,36 \frac{1}{ton}$ .

Setelah tahapan penginputan nilai – nilai parameter dan formulasi pada model telah selesai dilakukan maka selanjutnya dilakukan simulasi terhadap model sistem tersebut untuk melihat tingkat pengaruh penerapan *green construction* terhadap jumlah pengurangan limbah konstruksi. Hasil simulasi yang dilakukan pada model sistem penerapan green construction dapat dilihat pada grafik gambar 4.19 dan 4.20 di bawah ini.



Gambar 4.19 Tingkat Penerapan Green Construction dan Total Limbah Konstruksi yang Berkurang



Gambar 4.20 Simulasi Model Penerapan Green Construction terhadap Pengurangan Limbah Konstruksi

Berdasarkan hasil di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat penerapan green construction pada suatu proyek maka semakin besar pula jumlah limbah konstruksi yang dapat dikurangi. Hasil simulasi di atas juga terlihat bahwa pada awal proyek kinerja penerapan *green construction* naik cukup signifikan, hal ini didorong oleh tingkat kinerja variabel perencanaan dan penjadwalan cukup tinggi yang memang dilakukan di awal masa proyek. Namun pada tahap awal konstruksi memang belum banyak material limbah konstruksi yang dapat dikurangi karena pekerjaan tower seperti pekerjaan struktur, dinding tower, lantai baru mulai intensif dikerjakan pada minggu ke-6. Pada akhir masa pengamatan limbah material konstruksi pada proyek, jumlah limbah konstruksi yang dapat dikurangi akibat dari pengaruh dari penerapan *green construction* berdasarkan hasil simulasi model sistem mencapai 5930,91 ton atau sekitar 17,703 % dari total limbah konstruksi yang tercatat saai itu, sehingga jumlah limbah konstruksi yang tersisa di akhir periode simulasi sebesar 27.572,09 ton. Hasil tabulasi data simulasi lebih detail dapat dilihat pada lampiran 4.

#### 4.6. Validasi dan Verifikasi Model

Hasil dari simulasi akan divalidasi dan verifikasi memastikan bahwa model yang dibuat benar-benar dapat menggambarkan kondisi sistem nyata. Beberapa pengujian yang dapat dilakukan untuk melakukan validasi dan verifikasi yaitu *boundary-adequacy test*, *structure assessment test*, *dimension consistency test*, *sensitivity test*, dan *yaman barlas test*.

##### 4.6.1.1. *Boundary-adequacy Test* dan *Structure Assessment Test*

*Boundary-adequacy test* dilakukan untuk mengevaluasi kecocokan batasan model dan kemudian menentukan area batasan menggunakan tabel batasan dan diagram sub sistem (Sweeney and Sterman, 2000). Pengujian ini dilakukan dengan melakukan studi literatur komprehensif terkait hubungan antar variabel yang kemudian dibentuk ke dalam tabel batasan yang ditunjukkan pada tabel 3.3 dan diagram *causal-loop* masing – masing sub sistem sehingga didapatkan indikator variabel dari green construction yang berpengaruh terhadap pengurangan limbah konstruksi. Selanjutnya dilakukan *structure assessment test*, pengujian ini digunakan dalam mengevaluasi kesesuaian logika dan konsistensi model dengan praktek pada kondisi nyata (Qudrat-Ullah, 2010).

Tahap pertama penelitian berupa kuisisioner pendahuluan yang dilakukan untuk memvalidasi variabel-variabel penelitian yang diperoleh dari studi literatur. Pengujian validitas variabel tersebut menggunakan pendapat ahli (*expert judgement*), jumlah tenaga ahli yang digunakan adalah minimal tiga orang (Sugiyono, 2014). Pada tahap pendahuluan penelitian ini menggunakan 3 orang tenaga ahli yang berasal dari perusahaan konstruksi PT. Pembangunan Perumahan (PP) memiliki pengalaman di atas 10 tahun dalam bidang proyek konstruksi. Berikut ini hasil validasi data variabel dan indikator berdasarkan kuisisioner pendahuluan penelitian :

Tabel 4.6. Validasi Indikator Variabel Penelitian

Variabel	No.	Indikator	Tingkat Persetujuan (%)
Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	1	Rencana desain dan metode pelaksanaan yang efektif	93,33
	2	Penentuan dan pemantauan jadwal pelaksanaan yang komprehensif	86,67

Variabel	No.	Indikator	Tingkat Persetujuan (%)
Peralatan/teknologi konstruksi	3	Pelatihan operator peralatan/teknologi	93,33
	4	Pemilihan peralatan & teknologi konstruksi yang tepat	93,33
Sumber dan siklus Material	5	Penggunaan Gedung dan Material Bekas	86,67
	6	Material Ramah Lingkungan	80,00
	7	Material Prafabrikasi	86,67
Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi	8	Ahli Green Construction Sebagai Anggota Tim Proyek	93,33
	9	Pengendalian Polusi dari Aktivitas Konstruksi	80,00
	10	Manajemen Limbah Konstruksi	93,33

Berdasarkan tabel 4.6 di atas menunjukkan bahwa hasil dari kuisioner penelitian menunjukkan tingkat persetujuan terhadap seluruh variabel pembentuk *green construction* di atas 60% sehingga seluruh variabel dianggap valid dan dapat digunakan dalam kuisioner utama penelitian.

Tabel 4.7. Validasi Struktur Model

Kode	Hubungan antar Variabel	Tingkat Persetujuan
G1	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi terhadap Peralatan/teknologi konstruksi	93,33
G2	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi terhadap Sumber dan siklus material	93,33
G3	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi terhadap Manajemen lingkungan proyek konstruksi	93,33
G4	Sumber dan siklus Material terhadap Peralatan/teknologi konstruksi	86,67
G5	Penerapan Green Construction terhadap Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	80,00
G6	Penerapan Green Construction terhadap Peralatan/teknologi konstruksi	66,67
G7	Penerapan Green Construction terhadap Sumber dan siklus material	86,67
G8	Penerapan Green Construction terhadap Manajemen lingkungan proyek konstruksi	86,67

Sedangkan Tabel 4.7 di atas memperlihatkan tingkat persetujuan para expert terhadap inisiasi struktur model penelitian yang dibangun adalah di atas 60% sehingga model struktur CLD dapat dikatakan merepresentasikan sistem nyata dan



dapat digunakan dalam penelitian. Adapun detail perhitungan kuisisioner pendahuluan dapat dilihat pada lampiran.

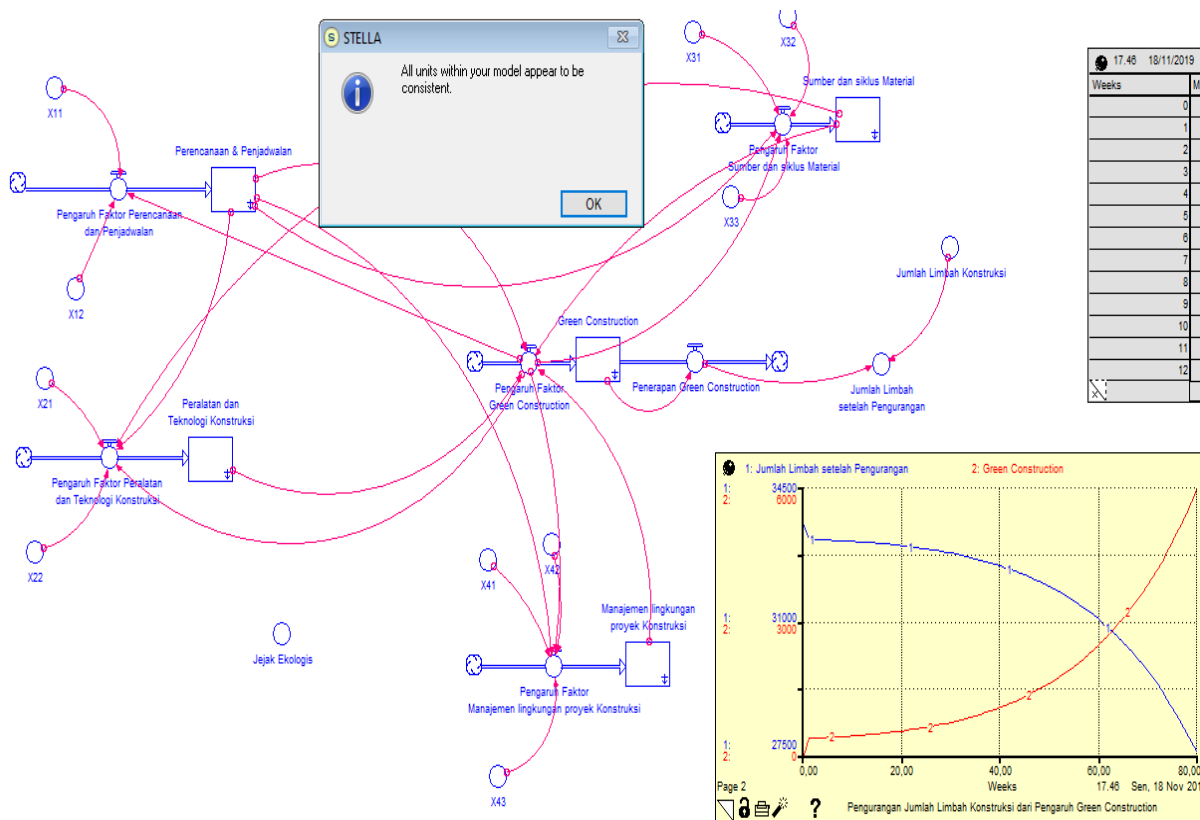
Seluruh informasi dan hubungan struktur model sistem dinamik yang didapatkan dari studi literatur kemudian dikonfirmasi melalui kuisisioner pendahuluan kepada para *expert* yang memiliki pengalaman di bidang konstruksi di atas 10 tahun. Tingkat persetujuan *expert* terhadap variabel dan indikator yang digunakan serta hubungan struktur model yang dikembangkan adalah di atas 60% (tabel 4.5 dan 4.6) sehingga dapat dikatakan bahwa struktur model penelitian ini valid dan sesuai dengan sistem nyata.

#### **4.6.1.2. Dimension Consistency Test**

*Dimension consistency test* adalah salah satu pengujian paling dasar untuk melakukan verifikasi terhadap konsistensi unit-unit dalam persamaan/formula model sistem dinamik (Sweeney and Sterman, 2000). Software stella yang digunakan dalam penelitian memiliki fungsi yang secara otomatis melakukan pengujian ini. Pada gambar 4.21 menunjukkan model penelitian ini telah diverifikasi dan unit-unit yang digunakan telah lulus pengujian ini.

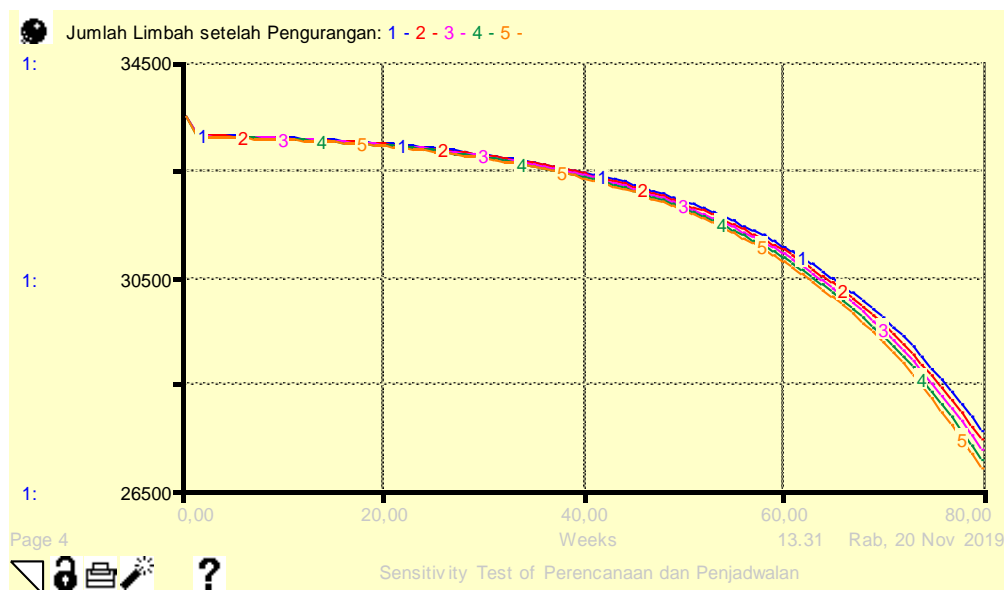
#### **4.6.1.3. Sensitivity Test**

*Sensitivity test* adalah prosedur pengujian yang digunakan untuk mengetahui bagaimana model yang diusulkan berjalan jika nilai variabelnya diubah (Maani and Cavana, 2000). Pengujian ini dilakukan dengan cara memastikan secara visual melalui grafik hasil simulasi bahwa ketidakpastian dan kesalahan perhitungan tidak akan mempengaruhi model secara signifikan.



Gambar 4.21 Hasil *Dimension Consistency Test*

Model dianggap valid jika perilakunya tidak berubah secara drastis ketika parameter diubah (Sweeney and Sterman, 2000). *Sensitivity test* dilakukan pada variabel – variabel kualitatif penelitian dengan cara mengubah nilai awal (*initial value*) mulai 0 kemudian secara berturut-turut menjadi 25%, 50%, 75% dan 100%.

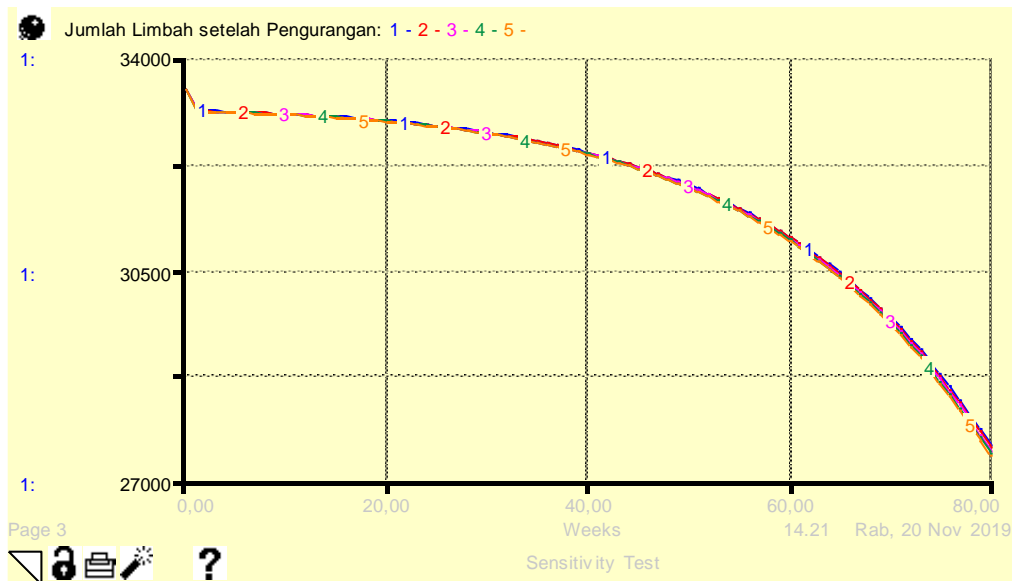


X1 : Initial value = 0 %      ---1-----1-----1-----1-----1-----1-----1-----1-----1-----1  
 X1 : Initial value = 25 %      ---2-----2-----2-----2-----2-----2-----2-----2-----2-----2  
 X1 : Initial value = 50 %      ---3-----3-----3-----3-----3-----3-----3-----3-----3-----3

X1 : Initial value = 75 %    ---4---4---4---4---4---4---4---4---4---4---4---4---4  
 X1 : Initial value = 100 % ---5---5---5---5---5---5---5---5---5---5---5---5---5

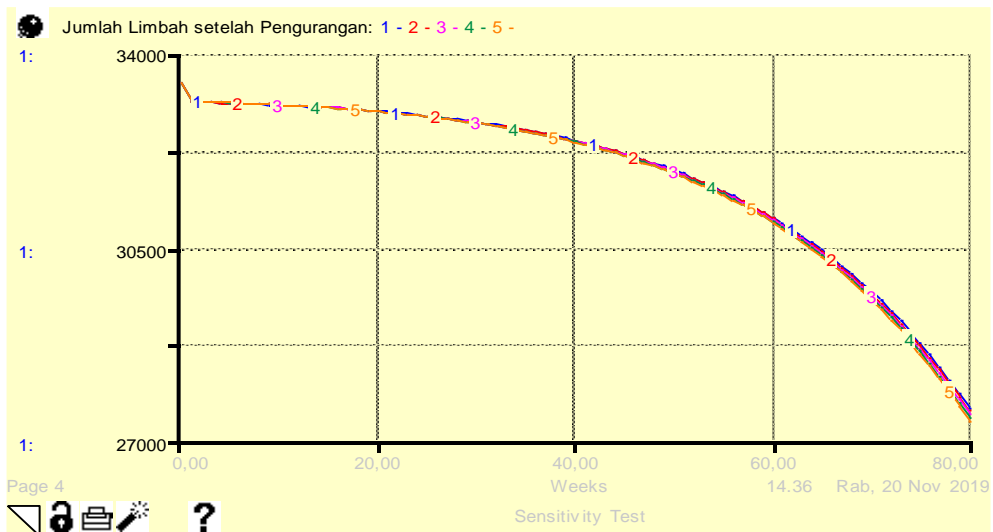
Gambar 4.22 Hasil *Sensitivity Test* Variabel Perencanaan dan Penjadwalan

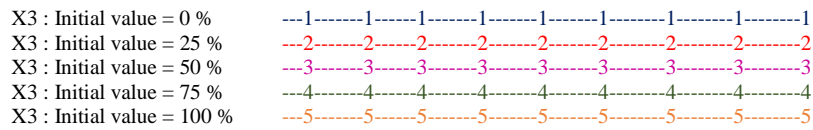
Hasil pengujian dari tiap-tiap variabel dapat dilihat pada gambar 4.22, 4.23, 4.24 dan 4.25, dimana menunjukkan bahwa perubahan nilai awal variabel – variabel dalam model yang dibentuk tidak mempengaruhi perilaku secara signifikan dari model penerapan *green construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi. Hal ini dibuktikan dengan pola garis yang sama dari setiap perubahan.



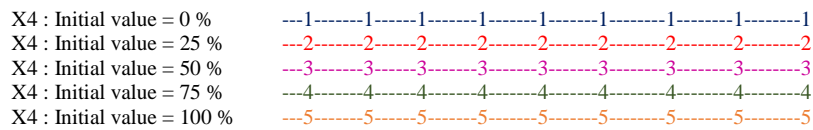
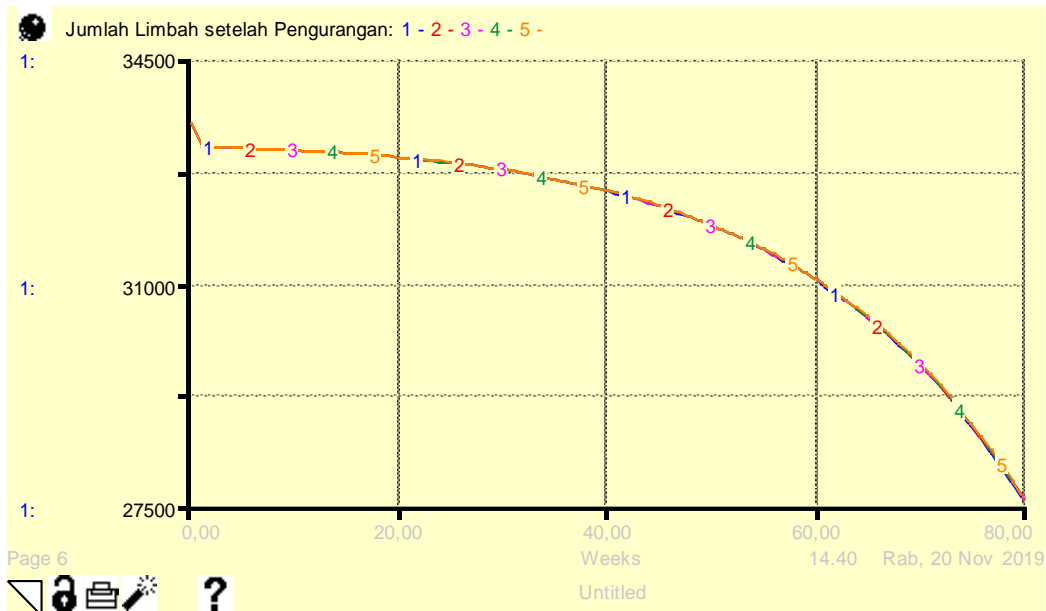
X2 : Initial value = 0 %    ---1---1---1---1---1---1---1---1---1---1---1---1---1  
 X2 : Initial value = 25 % ---2---2---2---2---2---2---2---2---2---2---2---2---2  
 X2 : Initial value = 50 % ---3---3---3---3---3---3---3---3---3---3---3---3---3  
 X2 : Initial value = 75 %    ---4---4---4---4---4---4---4---4---4---4---4---4---4  
 X2 : Initial value = 100 % ---5---5---5---5---5---5---5---5---5---5---5---5---5

Gambar 4.23 Hasil *Sensitivity Test* Variabel Peralatan dan Teknologi Konstruksi





Gambar 4.24 Hasil *Sensitivity Test* Variabel Sumber dan Siklus Material



Gambar 4.25 Hasil *Sensitivity Test* Variabel Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi

#### 4.6.1.4. *Yaman Barlas Test*

Validasi *Yaman Barlas* dapat ditentukan dengan menggunakan dua cara pengujian yaitu cara perbandingan rata-rata (*Means Comparison*) dan perbandingan variasi amplitude (*Amplitude Variation Comparison*) (Barlas, 1989).

➤ *Mean Comparison* (E1)

$$E1 = \frac{[S - A]}{A}$$

Dimana :

S = Nilai Rata-rata hasil simulasi

A = Nilai Rata-rata Data aktual

\* Model dianggap valid apabila nilai  $E1 \leq 5\%$

➤ *Amplitude Variation Comparison (E2)*

$$E2 = \frac{[Ss - Sa]}{Sa}$$

Dimana :

Ss = Standar Deviasi Model

Sa = Standar Deviasi Data aktual

\* Model dianggap valid apabila nilai  $E2 \leq 30\%$

Pengujian *Yaman Barlas* ini digunakan untuk menvalidasi variabel kuantitatif dalam penelitian yaitu jumlah limbah konstruksi pada proyek dari hasil simulasi model dibandingkan dengan data aktual yang diamati. Pengamatan data jumlah limbah konstruksi di lapangan yang diamati dan dicatat adalah hanya 9 minggu, hal ini dikarenakan pihak kontraktor tidak memiliki catatan aktual jumlah limbah konstruksi selama pelaksanaan proyek. Data hasil pengamatan aktual ini kemudian dibandingkan data hasil simulasi model untuk memastikan bahwa data hasil simulasi model sistem dinamik telah menggambarkan kondisi nyata. Berikut ini tabel hasil validasi data limbah konstruksi pada proyek yang dijadikan objek penelitian :

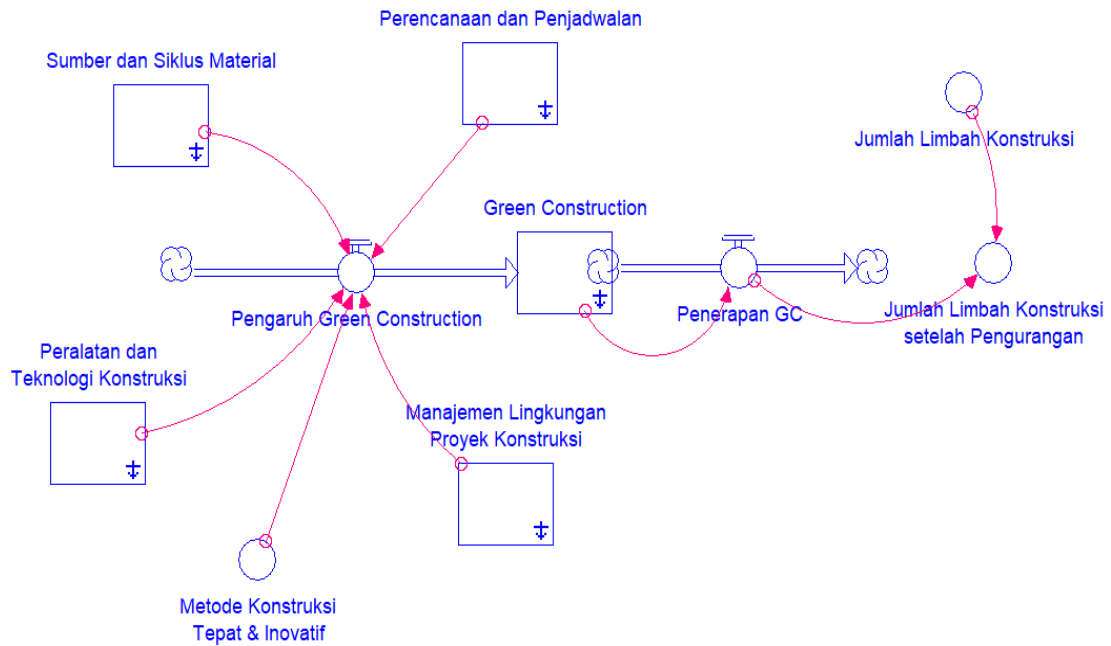
Tabel 4.8. Validasi Data Limbah Konstruksi

Weeks	Data Limbah Hasil Simulasi	Data Limbah Aktual
0	33.503,00	33.616,00
1	33.502,96	33.203,00
2	33.502,85	33.098,00
3	33.501,10	32.009,00
4	33.497,20	34.275,00
5	33.483,96	33.334,00
6	33.452,55	32.340,00
7	33.413,68	33.011,00
8	33.355,37	33.082,00
9	33.103,90	33.503,00
<b>Rata-rata</b>	<b>33431,66</b>	<b>33147,10</b>
<b>Standar Deviasi</b>	<b>125,21</b>	<b>120,96</b>
	<b>E1 (%)</b>	<b>0,86</b>
	<b>E2 (%)</b>	<b>3,51</b>

Berdasarkan hasil validasi data hasil simulasi jumlah limbah konstruksi setelah pengurangan dengan data aktual yang diamati di lapangan seperti yang ditampilkan pada tabel 4.7 di atas menunjukkan nilai E1 adalah 0,86% atau lebih kecil dari 5% sehingga dapat dikatakan valid, begitupun dengan nilai E2 yaitu 3,51% atau lebih kecil dari 30% yang berarti data hasil simulasi adalah valid. Dengan hasil tersebut maka dapat dikatakan keseluruhan data hasil simulasi model telah menggambarkan kondisi nyata atau telah mendekati sistem yang dipraktekan di lapangan.

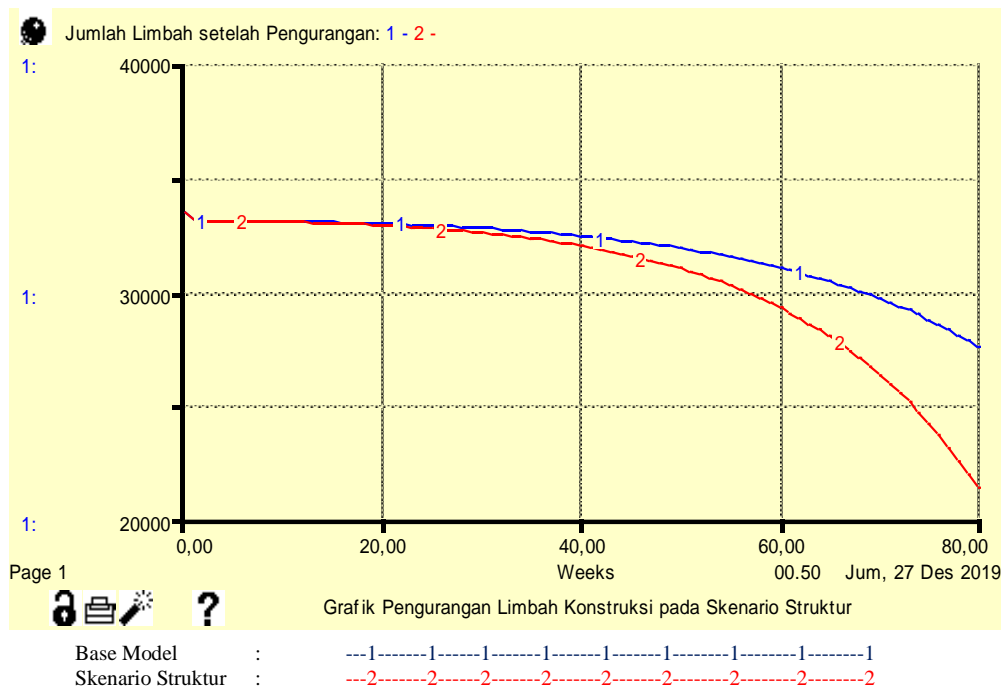
#### **4.7. Skenario Model**

Skenario yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu skenario struktur. Skenario struktur adalah skenario yang dilakukan pada struktur model awal dengan menambahkan atau mengurangi variabel yang berada dalam sistem model. Adapun skenario struktur yang dilakukan dalam penelitian adalah dengan menambahkan variabel baru yang masih berkaitan dan memiliki hubungan dengan model penerapan *green construction* serta berpengaruh terhadap pengurangan limbah konstruksi. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan maka didapatkan variabel yang akan dimasukkan dalam model yaitu metode konstruksi yang tepat dan inovatif (Yu et al., 2014). Menurut Yu et al., (2014), metode konstruksi yang tepat dalam konsep *green construction* adalah pemilihan metode konstruksi dan pengaturan urutan konstruksi yang sesuai dapat mengurangi permasalahan pada lokasi dan lingkungan sekitar proyek konstruksi terutama limbah dari pekerjaan konstruksi serta dapat juga mengurangi langkah-langkah proses pekerjaan konstruksi yang tidak diperlukan, penghematan sumber daya dan energi serta secara efektif mengurangi biaya konstruksi. Berdasarkan juga hasil diskusi/interview dengan *expert* bahwa variabel metode konstruksi yang tepat dan inovatif merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besar dan kecilnya jumlah limbah konstruksi dari aktivis proyek konstruksi. Oleh sebab itu dengan pertimbangan hal ini maka diharapkan dapat menekan jumlah limbah konstruksi yang ditimbulkan. SFD model baru berdasarkan skenario struktur dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.26.

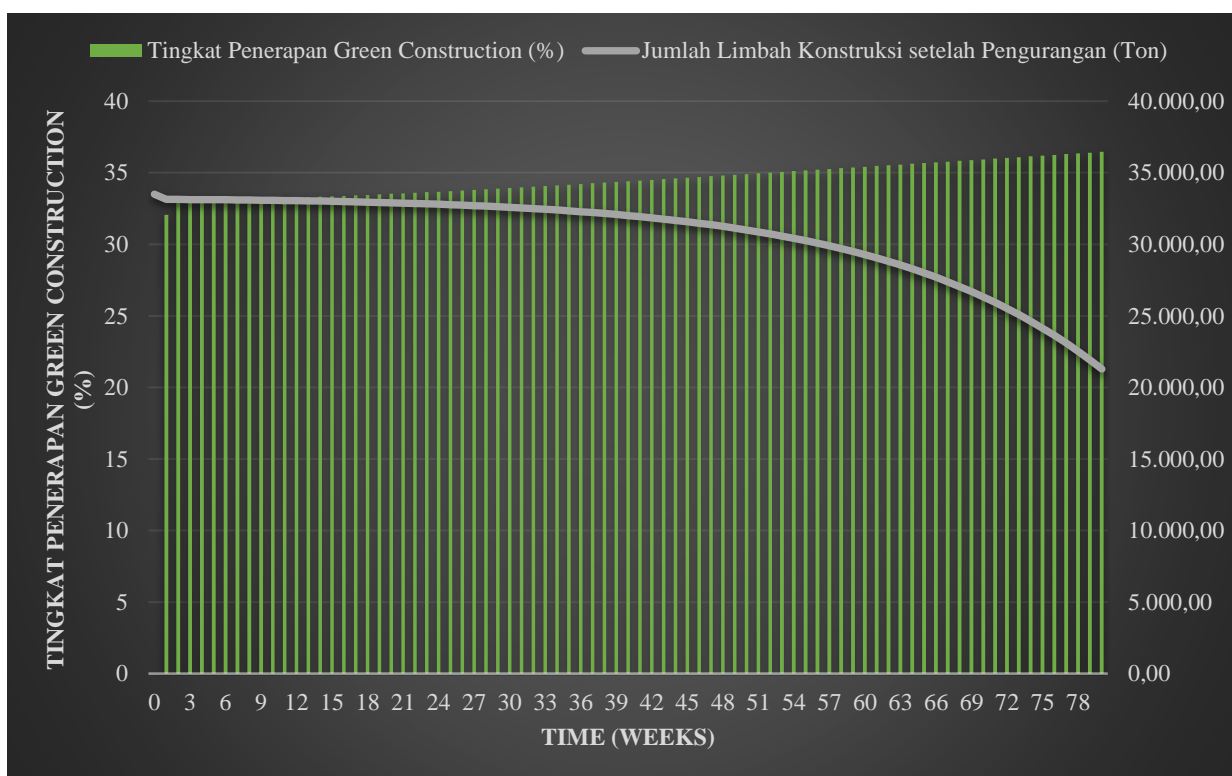


Gambar 4.26 SFD Model Baru (Skenario Struktur)

Penyebaran kuisisioner lanjutan yang ditujukan kepada responden kemudian dilakukan untuk mendapatkan data terkait struktur model SFD baru serta nilai parameter dari variabel metode konstruksi yang tepat/inovatif. Hasil tabulasi data kuisisioner skenario struktur dapat dilihat pada lampiran. Setelah model SFD awal telah dikembangkan menjadi SFD model sistem dinamik baru (gambar 4.26) maka kemudian dilakukan simulasi untuk melihat pengaruh dari struktur model baru tersebut terhadap pengurangan limbah konstruksi.



Gambar 4.27 Perbandingan Jumlah Limbah Konstruksi berdasarkan Simulasi Skenario Struktur



Gambar 4.28 Tingkat Penerapan Green Construction terhadap Pengurangan Jumlah Limbah Konstruksi Berdasarkan Simulasi Skenario Struktur

Berdasarkan hasil simulasi terhadap model baru dari skenario struktur yang ditampilkan pada grafik gambar 4.25 dan 4.26, menunjukkan tingkat penerapan green construction mengalami peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan model awal yaitu 17,703 % menjadi 36,453 % atau naik sebesar 17,631 %. Begitupun dengan tingkat pengurangan jumlah limbah konstruksi sebabkan naiknya performa penerapan green construction maka jumlah limbah konstruksi yang berkurang pun semakin besar dibandingkan model awal yaitu sebesar 5.930,91 ton menjadi 12.212,74 ton atau naik sebesar 5.906,95 ton (lampiran 5) yang menggambarkan bahwa variabel pemilihan metode konstruksi yang tepat, efektif dan inovatif memiliki pengaruh yang signifikan terhadap model yang dikembangkan. Sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yu et al., (2014) menyatakan bahwa metode konstruksi yang sesuai atau efektif sesuai dengan musim seharusnya dipilih selama konstruksi terutama untuk rekayasa beton, pekerjaan tanah dan pondasi yang dimaksudkan guna meminimalisir dampak lingkungan terutama pengurangan timbulan limbah konstruksi.



#### 4.8. Pembahasan

*Green construction* adalah perencanaan dan pengelolaan proyek konstruksi agar supaya pengaruh proses konstruksi terhadap lingkungan seminimal mungkin. Kontraktor adalah salah satu pihak yang harus berperan proaktif peduli terhadap lingkungan, selalu meningkatkan efisiensi dalam proses konstruksi, konservasi energi, efisiensi pemanfaatan air, dan sumberdaya lainnya selama masa konstruksi serta minimasi dan mengelola limbah konstruksi secara baik (Glavinich, 2008). *Green construction* merupakan ide konstruksi baru yang didasari konsep pembangunan berkelanjutan, *recycling* dan *low-carbon economy* yang diharapkan dapat mengurangi dampak limbah konstruksi dari proses pelaksanaan proyek konstruksi terhadap lingkungan (Yu et al., 2014).

Berdasarkan hasil analisa data pada penelitian yang telah diuraikan sebelumnya menunjukkan bahwa jumlah limbah konstruksi yang dapat dikurangi akibat dari pengaruh dari penerapan *green construction* mencapai 5.930,91 ton atau sekitar 17,703 % dari total limbah konstruksi yang tercatat saai itu, sehingga jumlah limbah konstruksi yang tersisa di akhir periode simulasi sebesar 27.572,09 ton. Semakin tinggi tingkat penerapan *green construction* pada suatu proyek maka semakin besar pula jumlah limbah konstruksi yang dapat dikurangi sehingga dampak negatif dari limbah tersebut terhadap lingkungan dapat diminimalisir dan sejalan dengan teori yang dikemukakan sebelumnya. Variabel yang sangat berperan signifikan mempengaruhi tingkat penerapan *green construction* adalah tingkat kinerja variabel manajemen lingkungan proyek konstruksi sebesar 43,094 %. Pendekatan yang dilakukan di lapangan oleh pihak kontraktor guna meningkatkan kinerja manajemen lingkungan proyek konstruksi yaitu (1) pengelolaan limbah konstruksi selama proses konstruksi dengan menyediakan tempat penampungan limbah konstruksi yang memadai, memilah limbah konstruksi sesuai jenisnya, kerjasama dengan pihak ketiga (pengumpul), dan memonitoring volume limbah yang dihasilkan selama proses konstruksi dan (2) mendorong pengurangan timbulan limbah konstruksi sehingga tidak membebani tempat penampungan sampah akhir dan daya dukung lingkungan dengan melakukan pemanfaatan kembali material sisa seperti contohnya sisa potongan besi beton < 1 m dan bekas bobokan/puing, menekankan konsep 3R (Reuse, Reduce dan Recycle) selama proses konstruksi

serta menggunakan vendor yang telah memiliki sertifikat SML ISO 14001 tentang Sistem Manajemen Lingkungan yang merupakan sistem manajemen perusahaan yang berfungsi untuk memastikan bahwa proses yang digunakan dan produk yang dihasilkan telah memenuhi komitmen terhadap lingkungan, terutama dalam upaya pemenuhan terhadap peraturan di bidang lingkungan, pencegahan pencemaran dan komitmen terhadap perbaikan berkelanjutan. Hasil tersebut juga didukung oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yuan, dkk (2012) dimana manajemen lingkungan proyek khususnya manajemen limbah konstruksi memiliki peran yang sangat signifikan dalam mengurangi limbah konstruksi.

Penelitian ini juga menunjukkan secara spesifik variabel dan indikator yang mempengaruhi penerapan *green construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi yaitu (1) perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi dengan dua indikator (a) rencana desain dan pelaksanaan yang efektif dan (b) pengawasan jadwal pelaksanaan yang komprehensif, (2) Peralatan/Teknologi Konstruksi dengan dua (a) Pelatihan operator peralatan dan teknologi konstruksi dan (b) Pemilihan Peralatan dan teknologi konstruksi yang tepat, (3) Sumber dan Siklus Material dengan tiga indikator (a) Penggunaan Material Bekas, (b) Material Ramah Lingkungan, (c) Material Prafabrikasi, dan (4) Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi dengan tiga indikator (a) Ahli di bidang Green Construction Sebagai Anggota Tim Proyek, (b) Pengendalian Polusi dari Aktivitas Konstruksi, (c) Manajemen Limbah Konstruksi. Sedangkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yu, dkk (2014) mengemukakan bahwa faktor atau indikator yang mempengaruhi *green construction* yang relevan dengan minimalisasi limbah konstruksi yaitu manajemen teknologi konstruksi, manajemen lingkungan proyek, metode konstruksi, pengendalian polusi, manajemen ilmiah dan kualitas. Selain itu juga pendapat lainnya dikemukakan oleh Kibert (2010) bahwa indikator pembentuk yang berpengaruh pada penerapan *green construction* yaitu rencana perlindungan lokasi proyek, program K3, pengelolaan limbah konstruksi, pelatihan bagi kontraktor, pengurangan jejak ekologis pada proses konstruksi dan penggunaan material. Hal ini memperlihatkan bahwa ada beberapa indikator variabel pada penelitian ini yang dapat melengkapi penelitian – penelitian sebelumnya tersebut

antara lain rencana desain, pengawasan jadwal dan penggunaan ahli green construction pada proyek.

Pada hasil simulasi skenario yang dilakukan menunjukkan bahwa variabel baru metode konstruksi yang tepat/inovatif yang ditambahkan ke dalam model sistem berpengaruh meningkatkan kinerja penerapan green construction secara signifikan dibandingkan model awal yaitu 17,703 % menjadi 36,453 % atau naik sebesar 17,631 %. Begitupun dengan tingkat pengurangan jumlah limbah konstruksi sebabkan naiknya performa penerapan green construction maka jumlah limbah konstruksi yang berkurang pun semakin besar dibandingkan model awal yaitu sebesar 5.930,91 ton menjadi 12.212,74 ton atau naik sebesar 5.906,95 ton. Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yu et al., (2014) menyatakan bahwa metode konstruksi yang sesuai atau efektif sesuai dengan musim seharusnya dipilih selama konstruksi terutama untuk rekayasa beton, pekerjaan tanah dan pondasi yang dimaksudkan guna meminimalisir dampak lingkungan terutama pengurangan timbulan limbah konstruksi. Pelaksanaan di lapangan yang dilakukan oleh pihak kontraktor (PT. PP Konstruksi) adalah melakukan terobosan metode konstruksi yang inovatif dalam penerapan *green construction* salah satu contohnya yaitu melakukan metode pengecoran dengan memodifikasi dudukan / pijakan pekerja, katrol beserta support penahannya dan melakukan pengecoran dari bawah ke atas dengan menggunakan bekisting “*slip form*” yang dapat dibongkar pasang dengan mudah dapat memberikan nilai tambah terhadap biaya, mutu, waktu, K3 dan lingkungan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ding, dkk (2018) yang secara spesifik melihat bagaimana manfaat lingkungan dari manajemen limbah konstruksi pada tahap desain dan konstruksi yang dimana penelitian ini juga menggunakan metode sistem dinamik mengemukakan bahwa penerapan dari manajemen limbah konstruksi yang dilakukan pada tahap mulai dari tahap desain dan konstruksi suatu proyek dapat mengurangi limbah konstruksi sebesar 40,63% dari total limbah yang ada. Sedangkan pada penelitian ini setelah dilakukan skenario guna meningkatkan kinerja sistem seperti yang telah dijelaskan di atas yaitu penerapan *green construction* yang berada tahap proses konstruksi suatu proyek dapat secara signifikan mengurangi jumlah limbah konstruksi sebesar 36,453 %. Hal ini

menunjukkan bahwa dengan menerapkan *green construction*, pada konstruksi saja dapat dilakukan pengurangan limbah yang begitu signifikan sehingga dengan mengkombinasikan kedua hal tersebut yaitu perencanaan/desain dan konsep konstruksi maka dapat lebih meningkatkan minimalisasi limbah konstruksi pada suatu proyek konstruksi.

Implikasi dari penelitian ini antara lain adalah memberikan kontribusi terhadap penerapan konsep *green construction* yang memiliki peranan penting dalam mengurangi dampak lingkungan negatif terutama yang berasal dari limbah konstruksi, menunjukkan fakta empiris dari besaran jumlah limbah konstruksi yang dapat dikurangi dengan menerapkan konsep pembangunan *green construction* dan dapat membantu pihak yang terkait dalam penerapan *green construction* pada proyek konstruksi seperti kontraktor, owner/developer dan konsultan perencanaan/pengawas dalam mengelola serta meningkatkan performa pelaksanaan dari konsep *green construction* sehingga dapat memberikan nilai tambah juga meningkatkan kualitas dari pembangunan suatu proyek dan memiliki manfaat positif bagi lingkungan dan ekosistem alam.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

1. Ada empat variabel/faktor utama dan 10 indikator yang mempengaruhi tingkat penerapan *green construction* dalam hubungannya dengan pengurangan limbah konstruksi. Keempat variabel utama tersebut adalah perencanaan dan penjadwalan proyek, peralatan dan teknologi konstruksi, sumber dan siklus material, dan manajemen lingkungan proyek konstruksi. Penerapan *green construction* khususnya yang berhubungan pengurangan limbah konstruksi tidak dapat terlepas dari keempat variabel tersebut.
2. Berdasarkan hasil pengembangan dan analisa data simulasi model penelitian maka dapat diuraikan sebagai berikut :
  - a. Hasil simulasi dari sub sistem model menunjukkan bahwa variabel/faktor manajemen lingkungan proyek konstruksi memberikan kontribusi pengaruh yang cukup besar dan signifikan terhadap peningkatan penerapan *green construction* dibandingkan dengan variabel lainnya yaitu sebesar 48,453 %. Hal ini menggambarkan bahwa dengan meningkatkan kinerja pengelolaan lingkungan proyek (*on-site*) khususnya manajemen limbah konstruksi dapat memberikan implikasi yang positif terhadap penerapan *green construction* dan menurun jumlah limbah konstruksi yang ditimbulkan pada suatu proyek.
  - b. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengurangan jumlah limbah konstruksi meningkat sejalan dengan peningkatan penerapan *green construction* pada suatu proyek konstruksi.
  - c. Hasil simulasi pada *base model* memperlihatkan bahwa penerapan *green construction* dapat mengurangi jumlah limbah konstruksi sebesar 17,703 % dari total limbah konstruksi yang ada.

- d. Berdasarkan hasil dari berbagai tahap pengujian yang dilakukan guna melakukan verifikasi dan validasi terhadap model yang dikembangkan untuk menganalisis pengaruh penerapan *green construction* terhadap pengurangan limbah konstruksi didapatkan bahwa model yang dikembangkan tersebut telah merepresentasikan sistem atau kondisi nyata yang ada lapangan sehingga dianggap valid dan dapat digunakan.
- e. Hasil simulasi skenario struktur yang dilakukan terhadap model awal menunjukkan bahwa penambahan variabel baru yaitu metode konstruksi tepat/inovatif memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penerapan *green construction* dalam mengurangi jumlah limbah konstruksi yaitu sebesar 36,453 %.

## 5.2. Saran

Adapun saran dan masukan yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Agar penelitian di masa mendatang dapat mengembangkan penelitian ini dengan melihat hubungan dari tiap-tiap variabel/faktor secara spesifik dalam meningkatkan penerapan *green construction* dalam mengurangi limbah konstruksi serta menambahkan indikator – indikator yang bersifat kuantitatif lebih banyak sehingga dapat menggambarkan lebih empiris dari kuantitas pengurangan jumlah limbah konstruksi.
2. Penelitian selanjutnya agar dapat memperluas lingkup tinjauan dari konsep *green construction* dengan memperhatikan aspek/dimensi lainnya seperti konservasi energi, konservasi air dan peningkatan *value* dari proyek konstruksi sehingga dapat memberikan kontribusi yang lebih banyak dan bermanfaat terhadap ilmu pengetahuan di bidang konstruksi berkelanjutan dan pelaksanaannya di lapangan.

## Daftar Pustaka

- Abduh, M., Ervianto, W.I., Chomistriana, D. and Rahardjo, A. (2014), “Green Construction Assessment Model for Improving Sustainable Practices of the Indonesian Government Construction Projects”, *International Group for Lean Construction*, No. 20, hal. 111–122.
- Ahn, Y.H. and Pearce, A.R. (2010), “Green Construction: Contractor Experiences, Expectations, and Perceptions”, *Journal of Green Building*, Vol. 2, No. 3, hal. 106–122.
- Akhund, M.A., Memon, A.H., Memon, N.A., Ali, T.H. and Raza, A. (2019), “Exploring Types of Waste Generated : A Study of Construction Industry of Pakistan”, Vol. 11, hal. 1–9.
- Barlas, Y. (1989), “Multiple Tests for Validation of System Dynamics Type of Simulation Models”, *European Journal of Operational Research*, available at:[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(89\)90059-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(89)90059-3).
- Bon-Gang, H. (2018), “Productivity Performance and Improvement of Green Construction Projects”, *Performance and Improvement of Green Construction Projects*, hal. 181–210.
- Bossink, B.A.G. and Brouwers, H.J.H. (2002), “Construction Waste: Quantification and Source Evaluation”, *Journal of Construction Engineering and Management*, available at:[https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(1996\)122:1\(55\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(1996)122:1(55)).
- Cavana, R. and Maani, K. (2000), “A Methodological Framework for Integrating Systems Thinking and System Dynamics”, *Technology*.
- Chiemchaisri, C., Juanga, J.P. and Visvanathan, C. (2007), “Municipal Solid Waste Management in Thailand and Disposal Emission Inventory”, *Environmental Monitoring and Assessment*, available at:<https://doi.org/10.1007/s10661-007-9707-1>.
- Cochran, K., Townsend, T., Reinhart, D. and Heck, H. (2007), “Estimation of Regional Building-Related C&D Debris Generation and Composition: Case Study for Florida, US”, *Waste Management*, available

at:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.03.023>.

- Demirkesen, S. and Ozorhon, B. (2017a), “Impact of Integration Management on Construction Project Management Performance”, *International Journal of Project Management*, Elsevier Ltd and Association for Project Management and the International Project Management Association, Vol. 35, No. 8, hal. 1639–1654.
- Demirkesen, S. and Ozorhon, B. (2017b), “Impact of Integration Management on Construction Project Management Performance”, *International Journal of Project Management*, available at:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.09.008>.
- Ding, Z., Yi, G., Tam, V.W.Y. and Huang, T. (2016), “A System Dynamics-Based Environmental Performance Simulation of Construction Waste Reduction Management in China”, *Waste Management*, Elsevier Ltd, Vol. 51, hal. 130–141.
- Ding, Z., Zhu, M., Tam, V.W.Y., Yi, G. and Tran, C.N.N. (2018), “A System Dynamics-Based Environmental Benefit Assessment Model of Construction Waste Reduction Management at the Design and Construction Stages”, *Journal of Cleaner Production*, Elsevier Ltd, Vol. 176, hal. 676–692.
- Erma, S. (2006), *Pemodelan Dan Simulasi, Graha Ilmu*.
- Ervianto, W.I. (2014), “Perception of Green Construction Based on Contractor ’s Perspectives in Indonesia”, *International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials*, No. 2014, hal. 1–7.
- Ervianto, W.I. (2015), “Capaian Green Construction Dalam Proyek Bangunan Gedung Menggunakan Model Assessment Green Construction”, *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, Vol. 9, hal. 1–8.
- Eurostat. (2017), “Eurostat - Statistics Explained 2017”, *Glossary: Renewable Energy Sources*.
- F. Hendriks, H.S.P. (2000), *Sustainable Raw Materials: Construction and Demolition Waste: Construction and Demolition Waste, Report 22*.
- Fini, A.A.F. and Akbarnezhad, A. (2019), “Sustainable Procurement and Transport of Construction Materials”, *Sustainable Construction Technologies*, hal. 161–209.



- Forrester, J.W. (1994), “System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR”, *System Dynamics Review*, available at: <https://doi.org/10.1002/sdr.4260100211>.
- Glasshusain, W., Davidsen, P.I., Ford, D.N. and Mashayekhi, A.N. (2000), *Introduction to System Dynamics Modeling*, 1st ed., MIT Press, Massachusetts, USA.
- Glavinich, T.E. (2008), “Elements of Green Construction”, *Contractor’s Guide to Green Building Construction*, hal. 15–32.
- Green Building Council Indonesia. (2014), “GREENSHIP Rating Tools Untuk Bangunan Baru”, Vol. 2014, No. April 2013.
- Herrmann, H. and Bucksch, H. (2014), “Demolition Waste”, *Dictionary Geotechnical Engineering/Wörterbuch GeoTechnik*, hal. 353–353.
- Hosmer, D.W. and Lemeshow, S. (2004), *Applied Logistic Regression Second Edition*, *Applied Logistic Regression*, available at: <https://doi.org/10.1002/0471722146>.
- Hossain, M.F. (2018), “Sustainable Technology for Energy and Environmental Benign Building Design”, *Journal of Building Engineering*.
- Huang, W. (2016), “Reflections on the Development of Green Construction”, *ICCREM American Society of Civil Engineers*, hal. 1311–1317.
- Hwang, B.G. and Ng, W.J. (2013), “Project Management Knowledge and Skills for Green Construction: Overcoming Challenges”, *International Journal of Project Management*, Association for Project Management and the International Project Management Association and Elsevier Ltd, Vol. 31, No. 2, hal. 272–284.
- Jiang, J. and Li, D. (2013), “Research on the Control System of Green Construction”, *ICCREM American Society of Civil Engineers*, No. 2007, hal. 169–176.
- Khaleel, T. and Al-Zubaidy, A. (2018), “Major Factors Contributing to the Construction Waste Generation in Building Projects of Iraq”, *MATEC Web of Conferences*, Vol. 162, hal. 02034.
- Kibert, C.J. (2010), “Net-Zero Energy Buildings: The Next Shift in Green Building?”, *PORTUGAL SB10: SUSTAINABLE BUILDING AFFORDABLE*

*TO ALL - LOW COST SUSTAINABLE SOLUTION.*

- Komiyama, H. and Kraines, S. (2009), “Comment on ‘Review of Vision 2050’: Fostering an Enlightened Dialogue on Sustainability”, *Journal of Industrial Ecology*, available at:<https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00181.x>.
- Korol, E. and Shushunova, N. (2017), “Green Roofs: Standardization and Quality Control of Processes in Green Construction”, *MATEC Web of Conferences*, Vol. 106, hal. 06014.
- Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi Nasional. (2007), “Konstruksi Indonesia 2030 Untuk Kenyamanan Lingkungan Terbangun”, *Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi Nasional*, Jakarta.
- Li, Y. and Liang, X. (2016), “In-Depth Study on the Evaluation of Green Construction Based on TOPSIS”, *ICCREM American Society of Civil Engineers*, hal. 593–599.
- Lu, W., Chen, X., Peng, Y. and Liu, X. (2018), “The Effects of Green Building on Construction Waste Minimization: Triangulating ‘Big Data’ with ‘Thick Data’”, *Waste Management*, Elsevier Ltd, Vol. 79, hal. 142–152.
- de Magalhães, R.F., Danilevicz, Â. de M.F. and Saurin, T.A. (2017), “Reducing Construction Waste: A Study of Urban Infrastructure Projects”, *Waste Management*, Vol. 67, hal. 265–277.
- Manowong, E. (2012), “Investigating Factors Influencing Construction Waste Management Efforts in Developing Countries: An Experience from Thailand”, *Waste Management and Research*, available at:<https://doi.org/10.1177/0734242X10387012>.
- Marzouk, M. and Azab, S. (2014), “Environmental and Economic Impact Assessment of Construction and Demolition Waste Disposal Using System Dynamics”, *Resources, Conservation and Recycling*, Elsevier B.V., Vol. 82, hal. 41–49.
- Miao, Z. and Li, L. (2018), “Research on the Development Trend and Methods of Green Construction in China”, *ICCREM American Society of Civil Engineers*, hal. 45–58.
- Nagapan, S., Abdul Rahman, I. and Asmi, A. (2013), “Factors Contributing to Physical and Non-Physical Waste Generation in Construction Industry”,

- International Journal of Advances in Applied Sciences*, available at:<https://doi.org/10.11591/ijaas.v1i1.476>.
- Nahmens, I. (2009), “From Lean to Green Construction: A Natural Extension”, *ICCREM American Society of Civil Engineers*, hal. 776–785.
- Ng, L.S., Tan, L.W. and Seow, T.W. (2017), “Current Practices of Construction Waste Reduction through 3R Practice among Contractors in Malaysia: Case Study in Penang”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, available at:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012039>.
- Nwokoro, I. and Onukwube, H.N. (2011), “Sustainable or Green Construction in Lagos, Nigeria: Principles, Attributes and Framework”, *Journal of Sustainable Development*, Vol. 4, No. 4, hal. 166–174.
- Obiozo, R.N. and Smallwood, J.J. (2014), “Biophilic Construction Site Model: Enhancing the Motivational and Humanistic Value of the Green Construction Site”, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 141, No. 3, hal. 05014018.
- Ofek, S., Akron, S. and Portnov, B.A. (2018), “Stimulating Green Construction by Influencing the Decision-Making of Main Players”, *Sustainable Cities and Society*.
- Pinto, T. and Agopyan, V. (1994), “Construction Wastes as Raw Materials for Low-Cost Construction Products”, *Sustainable Construction Technologies*, hal. 335–342.
- Du Plessis, C. (2001), “Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries - First Discussion Document”, *CSIR*, available at:<https://doi.org/90-6363-015-8>.
- Qudrat-Ullah, H. (2010), “Perceptions of the Effectiveness of System Dynamics-Based Interactive Learning Environments: An Empirical Study”, *Computers and Education*, available at:<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.025>.
- Rajendran, P. and Pathrose, C. (2012), “Implementing BIM for Waste Minimisation in the Construction Industry: A Literature Review”, *International Conference on Construction Management*, Vol. 2nd, hal. 557–570.
- Razali, N.M. and Wah, Y.B. (2011), “Power Comparisons of Shapiro-Wilk , Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests”, *Journal of*

- Statistical Modeling and Analytics*, available at:<https://doi.org/doi:10.1515/bile-2015-0008>.
- Shapiro, S.S. and Francia, R.S. (1972), “An Approximate Analysis of Variance Test for Normality”, *Journal of the American Statistical Association*, available at:<https://doi.org/10.1080/01621459.1972.10481232>.
- Shi, Q., Zuo, J., Huang, R., Huang, J. and Pullen, S. (2013), “Identifying the Critical Factors for Green Construction - An Empirical Study in China”, *Habitat International*, Elsevier Ltd, Vol. 40, hal. 1–8.
- Sugiyono. (2014), *Metode Penelitian Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*, Penerbit Alfabeta, Bandung.
- Suryani, E., Chou, S.Y. and Chen, C.H. (2012), “Dynamic Simulation Model of Air Cargo Demand Forecast and Terminal Capacity Planning”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, available at:<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2012.05.012>.
- Sweeney, L.B. and Sterman, J.D. (2000), “Bathtub Dynamics: Initial Results of a Systems Thinking Inventory”, *System Dynamics Review*, available at:<https://doi.org/10.1002/sdr.198>.
- Tam, C.M., Tam, V.W.Y. and Tsui, W.S. (2004), “Green Construction Assessment for Environmental Management in the Construction Industry of Hong Kong”, *International Journal of Project Management*, Vol. 22, No. 7, hal. 563–571.
- Tam, V.W.Y. and Tam, C.M. (2012), “Construction and Demolition Waste”, *International Encyclopedia of Housing and Home*, available at:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047163-1.00596-8>.
- United States Protection Agency. (2014), “Basic Information | Green Building |US EPA”, *Www.Epa.Gov*.
- Vierra, S. (2014), “Green Building Standards and Certification Systems | Whole Building Design Guide”, *Whole Building Design Guide*.
- Wang, J.Y., Touran, A., Christoforou, C. and Fadlalla, H. (2004), “A Systems Analysis Tool for Construction and Demolition Wastes Management”, *Waste Management*, available at:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.07.010>.
- You, W. and Xiao, X. (2015), “Study on the Development Situation and Prospects for Green Construction”, *ICCREM*, hal. 272–281.

- Yu, Z., Lu, C. and San, B. (2014), “Application of Green Construction Technology in Construction Projects”, *ICCREM 2014: Smart Construction and Management in the Context of New Technology*, Vol. 368–370, hal. 1139–1142.
- Yuan, H. (2011), *A Dynamic Model for Assessing the Effectiveness of Construction and Demolition Waste Management*, *ProQuest Dissertations and Theses*.
- Yuan, H. (2013), “Key Indicators for Assessing the Effectiveness of Waste Management in Construction Projects”, *Ecological Indicators*, available at:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.022>.
- Yuan, H., Chini, A.R., Lu, Y. and Shen, L. (2012), “A Dynamic Model for Assessing the Effects of Management Strategies on the Reduction of Construction and Demolition Waste”, *Waste Management*, Elsevier Ltd, Vol. 32, No. 3, hal. 521–531.
- Yuan, H., Lu, W. and Jianli Hao, J. (2013), “The Evolution of Construction Waste Sorting On-Site”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, available at:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.012>.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## LAMPIRAN 1 – KUISIONER PENDAHULUAN



### **MANAJEMEN PROYEK KONSTRUKSI PASCASARJANA INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

#### **Kuisisioner bagi Pakar/Expert**

Kepada Yth. ....

Saya mahasiswa pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang saat ini sedang mengerjakan penelitian yang membahas : **MODEL PENGARUH GREEN CONSTRUCTION TERHADAP PENGURANGAN LIMBAH KONSTRUKSI BERBASIS SISTEM DINAMIK.**

Memohon kesediaan Bapak untuk bersedia meluangkan sedikit waktu guna menjawab pertanyaan dalam kuisisioner ini yang nantinya akan saya butuhkan dalam melengkapi bahan penelitian saya, sebelumnya saya ucapkan terima kasih atas kesediaan bapak untuk meluangkan waktunya.

Kuisisioner ini bertujuan untuk mengetahui variabel-variabel *green construction* pada proyek konstruksi yang berfokus pada limbah konstruksi dan seberapa besar pengaruh tiap variabel pada hubungan antar variabelnya, sehingga nantinya dapat dilakukan formulasi nilai input agar dapat dilakukan simulasi.

Hormat saya,

**Contact Person:**

Muhammad Zulfikar

(082316208609 / Email : [ace.erick@gmail.com](mailto:ace.erick@gmail.com))

Manajemen Proyek Konstruksi

Pascasarjana

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

## Lampiran : Kuisisioner Pendahuluan

### INFORMASI RESPONDEN

1. Nama Responden (boleh dikosongkan) : .....
2. Jabatan Responden : ( beri tanda ✓ pada kotak yang tersedia )
  - Project Manager
  - Tenaga Ahli
  - ...
3. Usia Responden :
  - 19 – 30 Tahun
  - 31 – 40 Tahun
  - 41 – 50 Tahun
  - > 50
4. Tingkat Pendidikan :
  - S1/DIV/Diploma
  - Pascasarjana
3. Pengalaman di bidang konstruksi : ..... Tahun

### KETERANGAN TATA CARA PENGISIAN

- Bapak/Ibu dapat memberikan pendapatnya terhadap indikator dari suatu variabel yang ada dengan memberikan tanda (✓) pada kolom kuisisioner yang telah disediakan dengan skala penilaian sebagai berikut :
  - a. **Sangat Setuju/Berpengaruh bernilai 5 (Lima),**
  - b. **Setuju/Berpengaruh bernilai 4 (Empat),**
  - c. **Cukup Setuju/Berpengaruh bernilai 3 (Tiga),**
  - d. **Tidak Setuju/Berpengaruh bernilai bernilai 2 (Dua)**
  - e. **Sangat Tidak Setuju/Berpengaruh bernilai 1 (Satu).**
- Bapak/Ibu dapat menambahkan variabel atau indikator jika tidak terdapat pada kuisisioner di tempat yang telah disediakan, apabila nantinya Bapak/Ibu menambahkan variabel, itu artinya variabel yang Bapak/Ibu tambahkan secara otomatis telah Bapak/Ibu setujui dengan tingkat relevansi sesuai persepsi Bapak/Ibu.



### Kuisisioner Pendahuluan : Bagian 1

No	Setujukah Anda bahwa Indikator dari Variabel Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi di bawah ini berpengaruh terhadap penerapan <i>Green Construction</i> dalam mengurangi limbah konstruksi ?		Tingkat Persetujuan				
	Indikator	Penjelasan	1	2	3	4	5
A.1	Rencana desain dan pelaksanaan yang efektif	Perencanaan desain dan pelaksanaan proyek yang telah memperhitungkan prinsip green yang efektif serta efisien.					
A.2	Pengawasan jadwal pelaksanaan yang komprehensif	Memastikan bahwa perencanaan jadwal konstruksi aktual dan sumber daya secara detail menyeluruh serta dipantau dan ditinjau secara serius sehingga kinerja sesuai dengan yang direncanakan.					
No	Setujukah Anda bahwa Indikator dari Variabel Peralatan/Teknologi Konstruksi di bawah ini berpengaruh terhadap penerapan <i>Green Construction</i> dalam mengurangi limbah konstruksi ?		Tingkat Persetujuan				
	Indikator	Penjelasan	1	2	3	4	5
B.1	Pelatihan operator peralatan dan teknologi konstruksi	Memberikan pelatihan metode maupun teknik pengoperasian yang berbasis konsep green kepada operator yang akan mengoperasikan alat serta teknologi.					
B.2	Pemilihan Peralatan dan teknologi konstruksi yang tepat	Menggunakan peralatan dan teknologi konstruksi yang sesuai konsep ramah lingkungan					
No	Setujukah Anda bahwa Indikator dari Variabel Sumber dan siklus Material di bawah ini berpengaruh terhadap penerapan <i>Green Construction</i> dalam mengurangi limbah konstruksi ?		Tingkat Persetujuan				
	Indikator	Penjelasan	1	2	3	4	5
C.1	Penggunaan Material Bekas	Penggunaan material bekas bangunan lama dan/atau dari tempat lain untuk mengurangi penggunaan bahan mentah yang baru.					
C.2	Material Ramah Lingkungan	Menggunakan material yang memiliki label sistem manajemen lingkungan (3R) dan material yang bahan baku utamanya berasal dari sumber daya (SD) terbarukan dengan masa panen jangka pendek					
C.3	Material Prefabrikasi	Desain yang menggunakan material modular atau prefabrikasi					

No	Setujukah Anda bahwa Indikator dari Variabel Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi di bawah ini berpengaruh terhadap penerapan <i>Green Construction</i> dalam mengurangi limbah konstruksi ?		Tingkat Persetujuan				
	Indikator	Penjelasan	1	2	3	4	5
D.1	Ahli di bidang <i>Green Construction</i> Sebagai Anggota Tim Proyek	Melibatkan tenaga ahli yang sudah bersertifikat GREENSHIP Professional (GP), yang bertugas untuk memandu proyek hingga mendapatkan sertifikat GREENSHIP.					
D.2	Pengendalian Polusi dari Aktivitas Konstruksi	Pencegahan dan penanggulangan polusi dari aktivitas konstruksi agar sesuai dengan baku mutu lingkungan.					
D.3	Manajemen Limbah Konstruksi	Memiliki rencana pengelolaan limbah khususnya limbah padat akibat kegiatan konstruksi dan pembongkaran bangunan dengan menyediakan area pengumpulan, pemisahan, dan sistem pencatatan serta hal ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan berbagai sumber material bangunan, memakai kembali, dan mendaur ulang.					
<b>Variabel dan Indikator Tambahan (Mohon diisi Bila Ada)</b>							
	.....	.....					
	.....	.....					
	.....	.....					
	.....	.....					
	.....	.....					
	.....	.....					

**Kuisiener Pendahuluan : Bagian 2**

No	Pendapat Anda tentang Pengaruh antar masing - masing Variabel maupun Indikator <i>Green Construction</i> dan Pengurangan Limbah		Tingkat Pengaruh					
			1	2	3	4	5	
G1	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	terhadap	Peralatan/teknologi konstruksi					
G2	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	terhadap	Sumber dan siklus material					
G3	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi	terhadap	Manajemen lingkungan proyek konstruksi					
G4	Sumber dan siklus Material	terhadap	Peralatan/teknologi konstruksi					
G5	Penerapan <i>Green Construction</i>	terhadap	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi					
G6	Penerapan <i>Green Construction</i>	terhadap	Peralatan/teknologi konstruksi					
G7	Penerapan <i>Green Construction</i>	terhadap	Sumber dan siklus material					
G8	Penerapan <i>Green Construction</i>	terhadap	Manajemen lingkungan proyek konstruksi					
<b>Hubungan antar Variabel maupun Indikator <i>Green Construction</i> dan Pengurangan Limbah Konstruksi Lainnya (Mohon Tuliskan Bila Ada)</b>								
G9	.....	terhadap	.....					
G10	.....	terhadap	.....					
G11	.....	terhadap	.....					

Halaman ini sengaja dikosongkan

## LAMPIRAN 2 – KUISIONER UTAMA



### MANAJEMEN PROYEK KONSTRUKSI PASCASARJANA INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

#### Kuisisioner Utama

Kepada Yth. ....

Saya mahasiswa pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang saat ini sedang mengerjakan penelitian yang membahas : **MODEL PENGARUH GREEN CONSTRUCTION TERHADAP PENGURANGAN LIMBAH KONSTRUKSI BERBASIS SISTEM DINAMIK.**

Memohon kesediaan Bapak untuk bersedia meluangkan sedikit waktu guna menjawab pertanyaan dalam kuisisioner ini yang nantinya akan saya butuhkan dalam melengkapi bahan penelitian saya, sebelumnya saya ucapkan terima kasih atas kesediaan bapak untuk melungkan waktunya.

Kuisisioner ini bertujuan untuk mengetahui variabel-variabel *green construction* pada proyek konstruksi yang berfokus pada pengurangan limbah konstruksi dan seberapa besar pengaruh tiap variabel serta hubungan antar variabelnya, sehingga nantinya dapat dilakukan formulasi nilai input agar dapat dilakukan simulasi.

Hormat saya,

**Contact Person:**

Muhammad Zulfikar

(082316208609 / Email : [ace.erick@gmail.com](mailto:ace.erick@gmail.com))

Manajemen Proyek Konstruksi

Pascasarjana

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### **INFORMASI RESPONDEN**

1. Nama Responden (boleh dikosongkan) : .....

2. Jabatan Responden : ( beri tanda ✓ pada kotak yang tersedia )

- Project Manager
- Site Manager
- Konsultan Perencana
- Konsultan Pengawas
- ...

3. Usia Respoden :

- 30 – 40 Tahun
- 41 – 50 Tahun
- > 50

4. Tingkat Pendidikan :

- S1/DIV/Diploma
- Pascasarjana

3. Pengalaman di bidang konstruksi : ..... Tahun

### **KETERANGAN TATA CARA PENGISIAN**

- Bapak/Ibu dapat memberikan pendapatnya terhadap indikator dari suatu variabel yang ada dengan memberikan tanda (✓) pada kolom kuisisioner yang telah disediakan dengan skala penilaian sebagai berikut :
  - a. **Sangat Penting/Berpengaruh/Bermanfaat bernilai 5 (Lima),**
  - b. **Penting/Berpengaruh/Bermanfaat bernilai 4 (Empat),**
  - c. **Cukup Penting/Berpengaruh/Bermanfaat bernilai 3 (Tiga),**
  - d. **Tidak Penting/Berpengaruh/Bermanfaat bernilai bernilai 2 (Dua)**
  - e. **Sangat Tidak Penting/Berpengaruh/Bermanfaat bernilai 1 (Satu).**

### Kuisiener Utama : Bagian 1

X.1	Pendapat/Persepsi Anda terkait dengan indikator dari pembentuk <i>Green Construction</i> terhadap kinerja Perencanaan dan Penjadwalan Proyek Konstruksi		Skala Penilaian				
			1	2	3	4	5
X.1.1	Rencana desain dan pelaksanaan yang efektif	Menurut Anda, Apakah rencana desain yang efektif, komprehensif dan cermat berpengaruh dalam meningkatkan kinerja perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi dalam penerapan <i>green construction</i> ?					
		Menurut Anda, seberapa penting pelaksanaan proyek yang efektif serta memperhitungkan prinsip-prinsip green pada proyek konstruksi ?					
X.1.2	Pengawasan jadwal pelaksanaan yang komprehensif	Menurut Anda, Apakah dengan memastikan bahwa perencanaan jadwal konstruksi aktual dan sumber daya secara detail menyeluruh dapat meningkatkan kinerja perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi dalam penerapan <i>green construction</i> ?					
		Menurut Anda, seberapa bermanfaat pemantauan dan evaluasi secara komprehensif dalam meningkatkan kinerja pelaksanaan proyek konstruksi ?					
X.2	Pendapat/Persepsi Anda terkait dengan indikator dari pembentuk <i>Green Construction</i> terhadap kinerja Peralatan/Teknologi Konstruksi		Skala Penilaian				
			1	2	3	4	5
X.2.1	Pelatihan operator peralatan dan teknologi konstruksi	Menurut Anda, seberapa penting pelatihan terkait metode maupun teknik pengoperasian peralatan/teknologi konstruksi yang berbasis konsep green kepada operator ?					
		Menurut Anda, bagaimana manfaat pelatihan metode dan teknik pengoperasian peralatan/teknologi konstruksi berbasis green kepada operator ?					
X.2.2	Pemilihan Peralatan dan teknologi konstruksi yang tepat	Menurut Anda, seberapa pentingkah pemilihan peralatan/teknologi konstruksi yang ramah lingkungan dalam mendukung kinerja peralatan/teknologi konstruksi guna penerapan <i>green construction</i> ?					
		Menurut Anda, apakah dengan penggunaan peralatan dan teknologi konstruksi yang tepat dapat berpengaruh terhadap kinerja peralatan/teknologi konstruksi dalam penerapan <i>green construction</i> ?					

X.3	Pendapat/Persepsi Anda terkait dengan indikator dari pembentuk <i>Green Construction</i> terhadap kinerja variabel Sumber dan Siklus Material		Skala Penilaian				
			1	2	3	4	5
X.3.1	Penggunaan Material Bekas	Menurut Anda, seberapa bermanfaat penggunaan material bekas bangunan lama dan/atau dari tempat lain dalam penerapan <i>green construction</i> ?					
X.3.2	Material Ramah Lingkungan	Menurut Anda, seberapa penting penggunaan material ramah lingkungan dalam proyek yang menerapkan <i>green construction</i> ?					
X.3.3	Material Prafabrikasi	Menurut Anda, seberapa penting penggunaan material modular atau prafabrikasi dalam <i>green construction</i> ?					
X.4	Pendapat/Persepsi Anda terkait dengan indikator dari pembentuk <i>Green Construction</i> terhadap kinerja Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi		Skala Penilaian				
			1	2	3	4	5
X.4.1	Ahli di bidang <i>Green Construction</i> Sebagai Anggota Tim Proyek	Menurut Anda, seberapa penting pelibatan tenaga ahli bersertifikat GREENSHIP dalam pelaksanaan proyek ?					
		Menurut Anda, bagaimana pengaruh adanya anggota tim proyek yang ahli dalam <i>green construction</i> terhadap kinerja manajemen lingkungan proyek konstruksi ?					
X.4.2	Pengendalian Polusi dari Aktivitas Konstruksi	Menurut Anda, bagaimana pengaruh pencegahan dan penanggulangan polusi dari aktivitas konstruksi dapat membantu manajemen lingkungan proyek konstruksi ?					
X.4.3	Manajemen Limbah Konstruksi	Menurut Anda, seberapa penting memiliki rencana pelaksanaan manajemen limbah pada proses pelaksanaan proyek konstruksi ?					
		Menurut Anda, apakah dengan pelaksanaan pengelolaan limbah konstruksi sesuai prosedur pada proses pelaksanaan proyek dapat meningkatkan kinerja manajemen lingkungan proyek konstruksi ?					



**Kuisisioner Utama : Bagian 2**

No	Menurut Pendapat Anda, bagaimana pengaruh variabel di bawah ini terhadap tingkat penerapan <i>Green Construction</i> dalam proyek konstruksi ?	Skala Pengaruh				
		1	2	3	4	5
1	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi					
2	Peralatan/teknologi konstruksi					
3	Sumber dan siklus material					
4	Manajemen lingkungan proyek konstruksi					

**Kuisisioner Utama : Bagian 3**

Pertanyaan	Skala Pengaruh				
	1	2	3	4	5
Menurut Pendapat Anda, bagaimana pengaruh penerapan <i>Green Construction</i> terhadap pengurangan limbah material dalam proyek konstruksi ?					

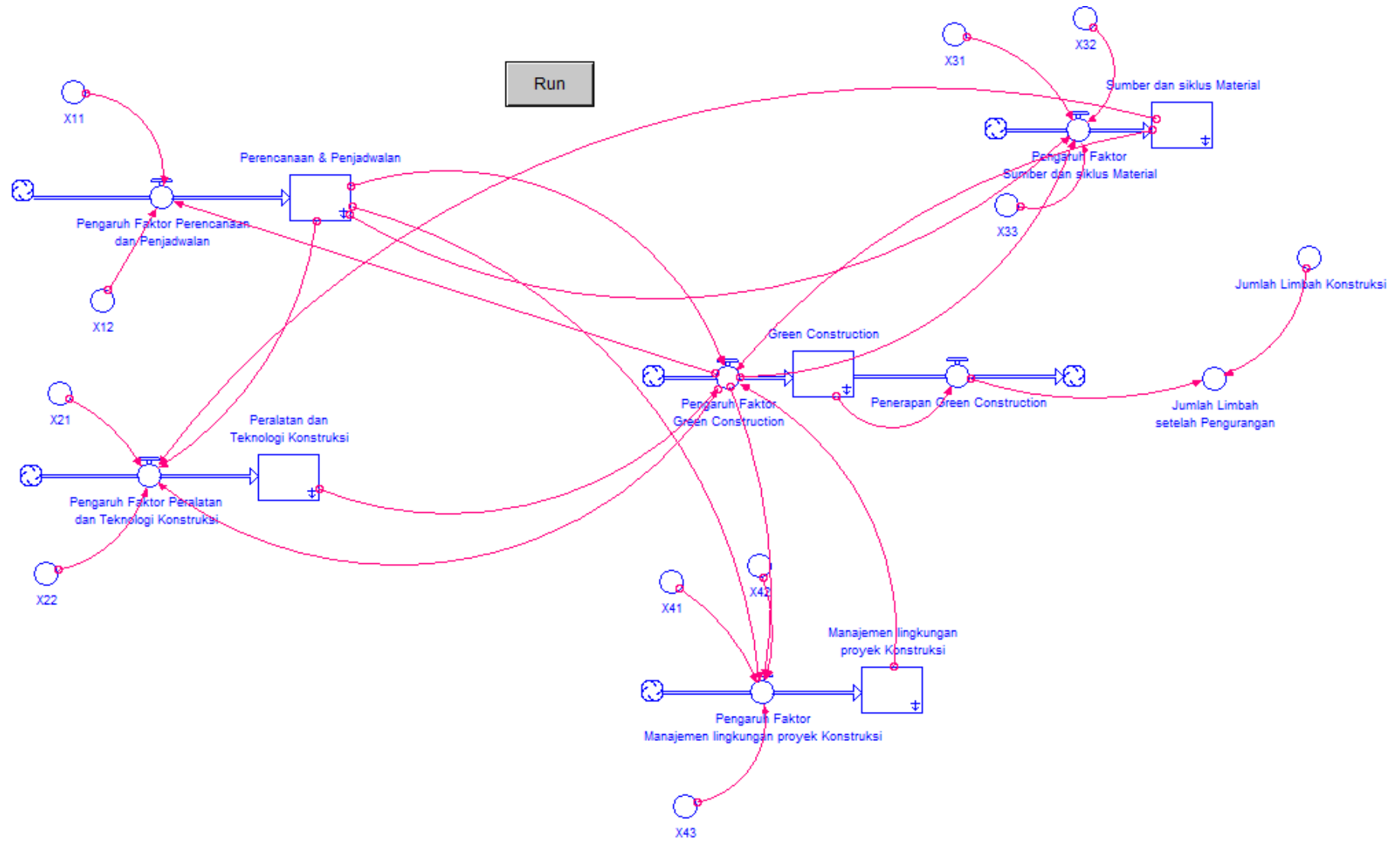
**Kuisisioner Utama : Bagian 4**

No	Pertanyaan	Skala Kinerja				
		1	2	3	4	5
1	Menurut Pendapat Anda, bagaimana tingkat pelaksanaan perencanaan dan penjadwalan pada proyek saat ini					
2	Menurut Pendapat Anda, bagaimana tingkat kinerja peralatan/teknologi konstruksi saat ini					
3	Menurut Pendapat Anda, bagaimana tingkat penggunaan material yang sesuai dengan konsep <i>green construction</i> saat ini					
4	Menurut Pendapat Anda, bagaimana tingkat pelaksanaan manajemen lingkungan proyek konstruksi saat ini					

### Kuisisioner Utama : Bagian 5

Pertanyaan	Skala Pengaruh				
	1	2	3	4	5
Menurut Pendapat Anda, bagaimana pengaruh pemilihan metode konstruksi terhadap penerapan <i>Green Construction</i> ?					

### Lampiran 3 - Model SFD Utama Penelitian



Halaman ini sengaja dikosongkan

## Lampiran 4

### SURVEY PENELITIAN TESIS DATA LIMBAH MATERIAL PROYEK KONSTRUKSI

**Nama Proyek** : Superblock Grand Sungkono Lagoon (Tower Caspian & Mall)  
**Luas Areal Proyek (m2)** : 199.500  
**Durasi Proyek** : 88 Weeks  
**Waktu Pengamatan** : Week 71 - Week 80 (01 September - 05 November 2019)

No.	Jenis Limbah Material Konstruksi	Satuan	Progress Pekerjaan (%)	Volume Limbah	Konversi (Ton)
1	Besi	Kg	87	5.695.510,00	5.695,51
2	Beton	Kg	88	5.257.625,79	5.257,63
3	Baja	Kg	89	1.675.150,00	1.675,15
4	Keramik	Kg	77	1.835.294,34	1.835,29
5	Kayu	Kg	92	6.365.570,00	6.365,57
6	Semen	Kg	87	2.010.180,00	2.010,18
7	Aggregat	m3	88	9.853,82	7.035,63
8	Gypsum/Kalsiboard	Kg	75	804.072,00	804,07
9	Cat	ltr	65	3.015,27	3,02
10	Kaca	Kg	56	837.575,00	837,58
11	Bata	Kg	91	1.983.377,60	1.983,38
<b>Total</b>					<b>33.503,00</b>

Surabaya, 18 November 2019

Diketahui oleh,

TTD

**Yudi Asta Indra**  
Project Manager

Halaman ini sengaja dikosongkan

## Lampiran 5 – Data Hasil Kuisisioner Pendahuluan

### Kuisisioner Pendahuluan Bagian I

No. Responden	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi		Peralatan/teknologi konstruksi		Sumber dan siklus Material			Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi		
	A.1	A.2	B.1	B.2	C.1	C.2	C.3	D.1	D.2	D.3
1	5	3	4	5	5	3	3	4	3	4
2	5	5	5	5	3	4	5	5	5	5
3	4	5	5	4	5	5	5	5	4	5

### Analisa Hasil Kuisisioner Pendahuluan Bagian I

Skala Likert	Perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi		Peralatan/teknologi konstruksi		Sumber dan siklus Material			Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi		
	A.1	A.2	B.1	B.2	C.1	C.2	C.3	D.1	D.2	D.3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0
4	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1
5	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Skala Likert	Skor									
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	3	0	0	3	3	3	0	3	0
4	4	0	4	4	0	4	0	4	4	4
5	10	10	10	10	10	5	10	10	5	10
<b>Total Skor</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>14</b>
<b>Persentase (%)</b>	<b>93,33</b>	<b>86,67</b>	<b>93,33</b>	<b>93,33</b>	<b>86,67</b>	<b>80,00</b>	<b>86,67</b>	<b>93,33</b>	<b>80,00</b>	<b>93,33</b>

#### Keterangan :

Skor Maks. 15

Skor Min. 3

Interval Kontinum :

- 0-20% Sangat Tidak Setuju
- 21-40% Tidak Setuju
- 41-60% Cukup Setuju
- 61-80% Setuju
- 81-100% Sangat Setuju

### Kuisisioner Pendahuluan Bagian II

No. Responden	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
1	4	4	4	3	2	2	4	4
2	5	5	5	5	5	4	5	5
3	5	5	5	5	5	4	4	4

### Analisa Hasil Kuisisioner Pendahuluan Bagian II

Skala Likert	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	1	0	0
3	0	0	0	1	1	0	0	0
4	1	1	1	0	0	2	2	2
5	2	2	2	2	1	0	1	1
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
Skala Likert	Skor							
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	2	2	0	0
3	0	0	0	3	0	0	0	0
4	4	4	4	0	0	8	8	8
5	10	10	10	10	10	0	5	5
<b>Total Skor</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
<b>Persentase (%)</b>	<b>93,33</b>	<b>93,33</b>	<b>93,33</b>	<b>86,67</b>	<b>80,00</b>	<b>66,67</b>	<b>86,67</b>	<b>86,67</b>

#### Keterangan :

Skor Maks.                    15

Skor Min.                      3

Interval Kontinum :    0-20%        Sangat Tidak Setuju

                                  21-40%        Tidak Setuju

                                  41-60%        Cukup Setuju

                                  61-80%        Setuju

                                  81-100%       Sangat Setuju



**Lampiran 6 – Data Hasil Kuisisioner Utama**

No. Responden	Y	X1	X2	X3	X4
1	5	5	4	4	5
2	4	5	5	4	4
3	3	4	5	4	5
4	5	3	4	3	3
5	4	5	4	4	4
6	4	4	5	4	4
7	4	4	3	3	4
8	4	4	5	5	5
9	4	3	3	3	4
10	4	4	4	5	3
11	3	5	4	3	4
12	3	4	4	4	4
13	3	5	4	3	4
14	3	5	5	5	4
15	3	4	4	4	4
16	2	4	3	3	3
17	3	5	4	4	4
18	2	3	5	5	3
19	3	4	3	3	4
20	3	4	5	5	5
21	4	5	5	5	4
22	3	4	4	4	4
23	4	4	4	4	4
24	5	5	5	5	4
25	1	4	4	4	4
26	2	3	4	4	4
27	2	3	4	3	4
28	3	4	4	4	4
29	4	3	3	3	3
30	5	4	4	3	4
<b>Total</b>	<b>102</b>	<b>119</b>	<b>120</b>	<b>119</b>	<b>117</b>
<b>Bobot</b>	<b>0,680</b>	<b>0,250</b>	<b>0,253</b>	<b>0,250</b>	<b>0,247</b>

No. Responden	Perencanaan dan Penjadwalan					
	RDMP			P3K		
	X.1.1	X.1.1.1	X.1.1.2	X.1.2	X.1.2.1	X.1.2.2
1	5	5	5	5	5	4
2	5	5	4	5	5	5
3	5	4	5	3	4	2
4	3	3	2	4	3	4
5	5	5	4	5	5	4
6	4	4	4	5	4	5
7	4	3	5	4	3	5
8	5	5	4	4	5	2
9	4	2	5	3	2	4
10	3	4	2	4	4	4
11	5	5	4	5	5	5
12	4	3	4	4	3	4
13	5	4	5	5	4	5
14	5	5	4	5	5	4
15	4	4	3	4	4	3
16	4	3	4	4	3	5
17	5	4	5	5	5	4
18	4	5	2	3	2	3
19	4	3	4	5	4	5
20	5	5	5	4	5	2
21	5	5	5	5	5	4
22	4	4	4	3	3	3
23	4	4	4	4	4	4
24	5	4	5	5	5	4
25	4	4	3	5	5	5
26	5	5	4	2	2	2
27	3	2	3	4	4	4
28	4	3	5	5	5	4
29	3	3	3	4	3	4
30	3	3	2	5	4	5
<b>Total</b>	<b>118</b>			<b>119</b>		<b>237</b>
<b>Bobot</b>	<b>0,498</b>			<b>0,502</b>		<b>1,000</b>

No. Responden	Peralatan/teknologi konstruksi					
	POP			PPTK		
	X.2.1	X.2.1.1	X.2.1.2	X.2.2	X.2.2.1	X.2.2.2
1	4	4	4	5	5	5
2	5	5	4	5	5	4
3	5	4	5	5	4	5
4	4	3	4	4	3	4
5	4	5	3	4	5	3
6	5	4	5	5	4	5
7	3	3	3	3	3	3
8	5	5	5	5	5	5
9	3	2	4	4	2	5
10	5	4	5	4	4	4
11	4	5	2	4	5	3
12	4	3	4	4	3	4
13	4	4	4	4	4	4
14	5	5	5	5	5	5
15	4	4	4	4	4	4
16	3	3	3	3	3	3
17	4	4	4	5	5	4
18	5	5	5	5	4	5
19	3	3	3	4	4	3
20	5	5	5	5	5	5
21	5	5	5	5	5	5
22	3	3	3	4	4	4
23	4	4	4	4	3	5
24	4	4	4	5	5	5
25	4	4	4	4	4	4
26	4	5	3	4	5	3
27	4	2	5	4	2	5
28	4	3	4	4	3	4
29	3	3	3	3	3	3
30	4	3	5	4	3	5
<b>Total</b>	<b>119</b>			<b>123</b>		<b>241</b>
<b>Bobot</b>	<b>0,492</b>			<b>0,508</b>		<b>1,000</b>

No. Responden	Sumber dan siklus Material			
	PGM	MRL	MP	
	X.3.1	X.3.2	X.3.3	
1	4	5	5	
2	5	4	4	
3	4	5	4	
4	3	4	3	
5	5	3	5	
6	4	5	4	
7	3	3	3	
8	5	5	5	
9	2	4	4	
10	4	5	5	
11	5	2	2	
12	3	4	5	
13	4	4	2	
14	5	5	4	
15	4	4	4	
16	3	3	3	
17	4	4	4	
18	5	5	5	
19	3	3	3	
20	5	5	5	
21	5	5	5	
22	4	4	3	
23	4	5	4	
24	5	5	5	
25	3	5	4	
26	4	2	5	
27	3	4	2	
28	5	5	3	
29	3	3	3	
30	2	4	3	
<b>Total</b>	<b>118</b>	<b>124</b>	<b>116</b>	<b>358</b>
<b>Bobot</b>	<b>0,330</b>	<b>0,346</b>	<b>0,324</b>	<b>1,000</b>

No. Responden	Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi							
	GATP			PAK	MLK			
	X.4.1	X.4.1.1	X.4.1.2	X.4.2	X.4.3	X.4.3.1	X.4.3.2	
1	5	5	5	5	5	5	4	
2	5	5	4	4	5	4	5	
3	5	4	5	5	5	5	4	
4	4	3	4	2	3	2	3	
5	4	5	3	4	5	4	5	
6	5	4	5	4	4	4	4	
7	3	3	3	5	4	5	3	
8	5	5	5	4	5	4	5	
9	3	2	4	5	4	5	2	
10	5	4	5	2	3	2	4	
11	4	5	2	4	5	4	5	
12	4	3	4	4	4	4	3	
13	4	4	4	5	5	5	4	
14	4	3	5	4	5	4	5	
15	4	4	4	3	4	3	4	
16	3	3	3	4	4	4	3	
17	3	1	4	5	5	5	5	
18	5	5	5	2	2	2	2	
19	3	3	3	4	4	4	4	
20	4	2	5	5	5	5	5	
21	4	4	4	5	4	4	4	
22	3	3	3	3	4	4	4	
23	4	4	4	4	4	4	4	
24	4	4	4	4	5	5	4	
25	4	4	4	3	4	4	4	
26	3	3	3	4	4	5	3	
27	5	5	5	3	4	2	5	
28	4	4	4	5	4	3	4	
29	3	3	3	3	3	3	3	
30	5	5	5	2	4	3	5	
<b>Total</b>	<b>117</b>			<b>116</b>	<b>118</b>			<b>350,5</b>
<b>Bobot</b>	<b>0,332</b>			<b>0,331</b>	<b>0,337</b>			<b>1</b>

### Tabulasi Data Kuisisioner Model Skenario

No. Responden	Metode Konstruksi yang Tepat & Inovatif
1	4
2	5
3	4
4	4
5	3
6	5
7	3
8	5
9	2
10	5
11	5
12	3
13	5
14	5
15	5
16	2
17	5
18	4
19	5
20	5
21	4
22	3
23	4
24	5
25	3
26	4
27	4
28	5
29	2
30	3
<b>Total</b>	<b>121</b>
<b>Bobot</b>	<b>0,807</b>

## Lampiran 7 - Regresi Linier Model Penelitian

### Regresi Linier Model Awal Penelitian

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2,143	1,669		1,284	,211
	X1	,335	,301	,238	1,113	,276
	X2	,125	,465	,085	,270	,789
	X3	-,159	,397	-,120	-,401	,692
	X4	-,003	,394	-,002	-,008	,993

a. Dependent Variable: Y

### Regresi Linier Model Skenario Struktur Penelitian

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2,095	1,710		1,225	,232
	X1	,359	,319	,254	1,124	,272
	X2	,175	,509	,119	,345	,733
	X3	-,160	,404	-,121	-,395	,696
	X4	,000	,402	,000	,001	,999
	MKTI	-,066	,247	-,068	-,269	,790

a. Dependent Variable: Y

### Regression 1

Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,912 <sup>a</sup>	,832	,812	,309	1,628

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-,682	,441		-1,548	,134
	X11	,556	,079	,577	7,041	,000
	X12	,511	,073	,593	6,953	,000
	Y	,068	,060	,096	1,142	,264

**Regression 2****Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,940 <sup>a</sup>	,884	,859	,256	1,703

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-,069	,376		-,183	,856
	X21	,486	,115	,508	4,212	,000
	X22	,406	,130	,381	3,115	,005
	X1	,017	,074	,018	,229	,821
	X3	,111	,096	,124	1,160	,257
	Y	-,008	,049	-,012	-,160	,874



### Regression 3

Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,959 <sup>a</sup>	,919	,903	,237	1,839

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,356	,321		1,108	,279
	X31	,350	,061	,436	5,708	,000
	X32	,273	,053	,337	5,182	,000
	X33	,379	,052	,503	7,345	,000
	X1	-,033	,076	-,031	-,427	,673
	Y	-,086	,047	-,114	-1,834	,079

### Regression 4

Model Summary<sup>b</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,870 <sup>a</sup>	,756	,705	,302	1,862

a. Predictors: (Constant), Y, X42, X41, X1, X43

b. Dependent Variable: X4

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,064	,463		2,299	,031
	X41	,255	,081	,351	3,132	,005
	X42	,197	,081	,357	2,427	,023
	X43	,593	,130	,812	4,553	,000
	X1	-,342	,118	-,438	-2,913	,008
	Y	,007	,059	,013	,122	,904

a. Dependent Variable: X4

## Lampiran 8

### Tabulasi Data Hasil Simulasi *Base Model* SFD Penelitian

<b>Weeks</b>	<b>Tingkat Penerapan Green Construction (%)</b>	<b>Jumlah Pengurangan Limbah Konstruksi (Ton)</b>	<b>Jumlah Limbah Konstruksi (Ton)</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
0	0,00	0	33.503,00
1	8,99	0,04	33.502,96
2	9,99	0,15	33.502,85
3	10,73	1,9	33.501,10
4	11,65	5,8	33.497,20
5	12,32	19,04	33.483,96
6	13,02	50,45	33.452,55
7	13,64	89,32	33.413,68
8	14,07	147,63	33.355,37
9	14,47	399,1	33.103,90
10	15,10	413,79	33.089,21
11	15,14	421,94	33.081,06
12	15,15	430,67	33.072,33
13	15,18	440,01	33.062,99
14	15,20	449,97	33.053,03
15	15,22	460,6	33.042,40
16	15,24	471,91	33.031,09
17	15,27	483,95	33.019,05
18	15,29	496,74	33.006,26
19	15,32	510,31	32.992,69
20	15,34	524,71	32.978,29
21	15,37	539,97	32.963,03
22	15,40	556,12	32.946,88
23	15,43	573,21	32.929,79
24	15,46	591,28	32.911,72
25	15,49	610,37	32.892,63
26	15,52	630,53	32.872,47
27	15,55	651,8	32.851,20
28	15,58	674,24	32.828,76
29	15,62	697,89	32.805,11
30	15,65	722,81	32.780,19
31	15,69	749,05	32.753,95
32	15,72	776,67	32.726,33
33	15,76	805,74	32.697,26
34	15,79	836,32	32.666,68

1	2	3	4
35	15,83	868,47	32.634,53
36	15,87	902,26	32.600,74
37	15,90	937,76	32.565,24
38	15,94	975,06	32.527,94
39	15,98	1014,23	32.488,77
40	16,02	1055,35	32.447,65
41	16,06	1098,51	32.404,49
42	16,10	1143,79	32.359,21
43	16,14	1191,31	32.311,69
44	16,18	1241,14	32.261,86
45	16,22	1293,4	32.209,60
46	16,26	1348,18	32.154,82
47	16,30	1405,62	32.097,38
48	16,34	1465,81	32.037,19
49	16,38	1528,89	31.974,11
50	16,42	1594,98	31.908,02
51	16,46	1664,22	31.838,78
52	16,50	1736,75	31.766,25
53	16,54	1812,71	31.690,29
54	16,59	1892,26	31.610,74
55	16,63	1975,55	31.527,45
56	16,67	2062,75	31.440,25
57	16,71	2154,05	31.348,95
58	16,76	2249,62	31.253,38
59	16,80	2349,64	31.153,36
60	16,84	2454,34	31.048,66
61	16,88	2563,9	30.939,10
62	16,93	2678,55	30.824,45
63	16,97	2798,52	30.704,48
64	17,01	2924,04	30.578,96
65	17,05	3055,37	30.447,63
66	17,10	3192,76	30.310,24
67	17,14	3336,49	30.166,51
68	17,18	3486,85	30.016,15
69	17,23	3644,13	29.858,87
70	17,27	3808,63	29.694,37
71	17,31	3980,7	29.522,30
72	17,36	4160,66	29.342,34
73	17,40	4348,87	29.154,13
74	17,44	4545,71	28.957,29
75	17,49	4751,57	28.751,43

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
76	17,53	4966,84	28.536,16
77	17,57	5191,95	28.311,05
78	17,62	5427,36	28.075,64
79	17,66	5673,51	27.829,49
<b>Final</b>	<b>17,703</b>	<b>5930,91</b>	<b>27.572,09</b>

Halaman ini sengaja dikosongkan

## Lampiran 9

### Tabulasi Data Hasil Simulasi Model SFD Skenario Struktur

Weeks	Base Model			Skenario Struktur		
	Tingkat Penerapan Green Construction (%)	Jumlah Pengurangan Limbah Konstruksi (Ton)	Jumlah Limbah Konstruksi (Ton)	Tingkat Penerapan Green Construction (%)	Jumlah Pengurangan Limbah Konstruksi (Ton)	Jumlah Limbah Konstruksi (Ton)
1	2	3	4	5	6	7
0	0,00	0	33.503,00	0	0	33.503,00
1	8,99	0,04	33.502,96	32,07	362,34	33.140,66
2	9,99	0,15	33.502,85	33,07	367,14	33.135,86
3	10,73	1,9	33.501,10	33,08	372,55	33.130,45
4	11,65	5,8	33.497,20	33,10	378,61	33.124,39
5	12,32	19,04	33.483,96	33,11	385,35	33.117,65
6	13,02	50,45	33.452,55	33,13	392,81	33.110,19
7	13,64	89,32	33.413,68	33,15	401,03	33.101,97
8	14,07	147,63	33.355,37	33,17	410,03	33.092,97
9	14,47	399,1	33.103,90	33,19	419,86	33.083,14
10	15,10	413,79	33.089,21	33,21	430,56	33.072,44
11	15,14	421,94	33.081,06	33,24	442,18	33.060,82
12	15,15	430,67	33.072,33	33,27	454,76	33.048,24
13	15,18	440,01	33.062,99	33,29	468,36	33.034,64
14	15,20	449,97	33.053,03	33,32	483,01	33.019,99
15	15,22	460,6	33.042,40	33,35	498,78	33.004,22
16	15,24	471,91	33.031,09	33,38	515,72	32.987,28
17	15,27	483,95	33.019,05	33,42	533,9	32.969,10
18	15,29	496,74	33.006,26	33,45	553,37	32.949,63
19	15,32	510,31	32.992,69	33,49	574,21	32.928,79
20	15,34	524,71	32.978,29	33,52	596,47	32.906,53
21	15,37	539,97	32.963,03	33,56	620,24	32.882,76
22	15,40	556,12	32.946,88	33,60	645,6	32.857,40
23	15,43	573,21	32.929,79	33,64	672,62	32.830,38
24	15,46	591,28	32.911,72	33,68	701,39	32.801,61

1	2	3	4	5	6	7
25	15,49	610,37	32.892,63	33,72	732,01	32.770,99
26	15,52	630,53	32.872,47	33,76	764,56	32.738,44
27	15,55	651,8	32.851,20	33,80	799,15	32.703,85
28	15,58	674,24	32.828,76	33,85	835,89	32.667,11
29	15,62	697,89	32.805,11	33,89	874,89	32.628,11
30	15,65	722,81	32.780,19	33,94	916,26	32.586,74
31	15,69	749,05	32.753,95	33,98	960,14	32.542,86
32	15,72	776,67	32.726,33	34,03	1.006,65	32.496,35
33	15,76	805,74	32.697,26	34,07	1.055,93	32.447,07
34	15,79	836,32	32.666,68	34,12	1.108,13	32.394,87
35	15,83	868,47	32.634,53	34,17	1.163,40	32.339,60
36	15,87	902,26	32.600,74	34,21	1.221,91	32.281,09
37	15,90	937,76	32.565,24	34,26	1.283,83	32.219,17
38	15,94	975,06	32.527,94	34,31	1.349,33	32.153,67
39	15,98	1014,23	32.488,77	34,36	1.418,62	32.084,38
40	16,02	1055,35	32.447,65	34,41	1.491,88	32.011,12
41	16,06	1098,51	32.404,49	34,46	1.569,35	31.933,65
42	16,10	1143,79	32.359,21	34,51	1.651,22	31.851,78
43	16,14	1191,31	32.311,69	34,56	1.737,76	31.765,24
44	16,18	1241,14	32.261,86	34,61	1.829,19	31.673,81
45	16,22	1293,4	32.209,60	34,66	1.925,80	31.577,20
46	16,26	1348,18	32.154,82	34,71	2.027,84	31.475,16
47	16,30	1405,62	32.097,38	34,76	2.135,62	31.367,38
48	16,34	1465,81	32.037,19	34,81	2.249,45	31.253,55
49	16,38	1528,89	31.974,11	34,86	2.369,65	31.133,35
50	16,42	1594,98	31.908,02	34,91	2.496,55	31.006,45
51	16,46	1664,22	31.838,78	34,96	2.630,54	30.872,46
52	16,50	1736,75	31.766,25	35,01	2.771,97	30.731,03
53	16,54	1812,71	31.690,29	35,06	2.921,27	30.581,73
54	16,59	1892,26	31.610,74	35,11	3.078,85	30.424,15



<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
55	16,63	1975,55	31.527,45	35,16	3.245,15	30.257,85
56	16,67	2062,75	31.440,25	35,21	3.420,66	30.082,34
57	16,71	2154,05	31.348,95	35,26	3.605,87	29.897,13
58	16,76	2249,62	31.253,38	35,32	3.801,30	29.701,70
59	16,80	2349,64	31.153,36	35,37	4.007,51	29.495,49
60	16,84	2454,34	31.048,66	35,42	4.225,08	29.277,92
61	16,88	2563,9	30.939,10	35,47	4.454,62	29.048,38
62	16,93	2678,55	30.824,45	35,52	4.696,79	28.806,21
63	16,97	2798,52	30.704,48	35,57	4.952,27	28.550,73
64	17,01	2924,04	30.578,96	35,63	5.221,78	28.281,22
65	17,05	3055,37	30.447,63	35,68	5.506,09	27.996,91
66	17,10	3192,76	30.310,24	35,73	5.805,99	27.697,01
67	17,14	3336,49	30.166,51	35,78	6.122,34	27.380,66
68	17,18	3486,85	30.016,15	35,83	6.456,02	27.046,98
69	17,23	3644,13	29.858,87	35,88	6.807,98	26.695,02
70	17,27	3808,63	29.694,37	35,94	7.179,22	26.323,78
71	17,31	3980,7	29.522,30	35,99	7.570,76	25.932,24
72	17,36	4160,66	29.342,34	36,04	7.983,74	25.519,26
73	17,40	4348,87	29.154,13	36,09	8.419,30	25.083,70
74	17,44	4545,71	28.957,29	36,14	8.878,67	24.624,33
75	17,49	4751,57	28.751,43	36,19	9.363,16	24.139,84
76	17,53	4966,84	28.536,16	36,25	9.874,12	23.628,88
77	17,57	5191,95	28.311,05	36,30	10.413,00	23.090,00
78	17,62	5427,36	28.075,64	36,35	10.981,31	22.521,69
79	17,66	5673,51	27.829,49	36,40	11.580,66	21.922,34
<b>Final</b>	<b>17,703</b>	<b>5930,91</b>	<b>27.572,09</b>	<b>36,453</b>	<b>12.212,74</b>	<b>21.290,26</b>

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kendari salah satu kota yang terletak di Provinsi Sulawesi Tenggara pada tanggal 31 Maret 1991. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara atas pasangan Bapak Muniru dan Ibu Ajaemi. Penulis mulai menempuh pendidikan formal mulai dari Sekolah Dasar Negeri (SDN) 34 Kendari, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Kendari, dan Sekolah Menengah Atas (SMAN) 1 Kendari di Kendari.

Setelah lulus dari SMA pada tahun 2009, kemudian penulis melanjutkan keperguruan tinggi pada jenjang Strata satu (S1) Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo. Selama menempuh pendidikan jenjang sarjana tersebut penulis aktif di beberapa kegiatan organisasi kampus, maupun non kampus. Pada Nopember 2013 penulis menyelesaikan Pendidikan S1. Setelah lulus S1, tepatnya pada tahun 2014 penulis diterima dan berkesempatan untuk mengabdikan sebagai Aparatur Sipil Negara (ASN) pada Instansi Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara. Pada pertengahan tahun 2017 kemudian penulis melanjutkan pendidikan Magister (S2). Penulis menempuh pendidikan Pascasarjana (S2) Bidang Manajemen Konstruksi, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya yang tercatat sebagai mahasiswa dengan nomor identitas NRP 03111750030021. Penulis menyelesaikan tesis ini dan disidangkan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi Magister (S2) pada tanggal 14 Januari 2020.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya tesis ini. Tentunya besar harapan penulis agar tesis ini dapat memberikan inspirasi dan manfaat bagi orang lain.

***Muhammad Zulfikar (Mr)***

*Civil Engineering*

*Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS),*

*Surabaya*

*CP. 082316208609 & ace.erick@gmail.com*