

## Pemodelan Reduksi Limbah Konstruksi Untuk Mengurangi Dampak Negatif Dari Limbah Berlebih Dengan Pendekatan Sistem Dinamik

Pandu Mahendra<sup>1,\*</sup>, Moh Arif Rohman<sup>1</sup>, Mudjahidin<sup>1</sup>

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [mpandu2169@gmail.com](mailto:mpandu2169@gmail.com)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	16 Juli 2024	<i>Construction projects are a large contributor to construction waste. Efforts are needed to reduce waste because it affects the company's cash flow and environmental damage. This research aims to obtain a model for reducing construction project waste at the project implementation stage with a case study of construction projects in East Java. The modeling design in this research uses a system dynamics model approach. Data was collected from questionnaires and literature studies, then after statistical testing was carried out, the data was entered into the model. A model was prepared using a causal loop diagram which was then developed into a stock flow diagram to determine the level of influence of the model variables on waste reduction in real life. Next, scenario parameters and structures are carried out for policy making. The results of the parameter scenario by adding a mean value of 10% can reduce waste by 0.9982%, reducing the mean value by 10% can reduce waste by 0.9887%, and a structure scenario with the addition of government regulation variables can reduce construction waste from a value of 33,616 to 33,611.16 or 0.9988% in nine weeks of observation. Policy making is carried out by implementing the scenario of adding government regulation variables to reduce waste in construction project management applications at the implementation stage.</i>
Diperbaiki	23 Juli 2024	
Disetujui	25 Juli 2024	

*Keywords: construction waste reduction, waste management, system dynamics*

**Abstrak**  
*Proyek konstruksi merupakan penyumbang limbah konstruksi yang besar. Perlu adanya upaya untuk mengurangi limbah karena berpengaruh terhadap cash flow perusahaan dan kerusakan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model reduksi limbah proyek konstruksi pada tahap pelaksanaan proyek dengan studi kasus proyek konstruksi yang ada di Jawa Timur. Desain permodelan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan model system dynamics. Dilakukan pengambilan data dari kuisisioner dan studi literatur, yang selanjutnya setelah dilakukan pengujian statistik untuk dimasukkan ke dalam model. Dilakukan penyusunan model dengan causal loop diagram yang kemudian dikembangkan ke stock flow diagram untuk mengetahui tingkat pengaruh variabel model terhadap reduksi limbah pada kehidupan nyata. Selanjutnya dilakukan skenario parameter dan struktur untuk pengambilan kebijakan. Hasil skenario parameter dengan menambah nilai mean 10% dapat mereduksi limbah 0.9982%, menurunkan nilai mean 10% dapat mereduksi limbah 0.9887%, dan skenario struktur dengan penambahan variabel government regulation dapat mereduksi limbah konstruksi dari nilai 33.616 menjadi 33.611,16 atau sebesar 0.9988% pada sembilan minggu pengamatan. Pengambilan kebijakan dilakukan dengan menerapkan skenario penambahan variabel government regulation untuk mereduksi limbah dalam aplikasi manajemen proyek konstruksi pada tahap pelaksanaan.*

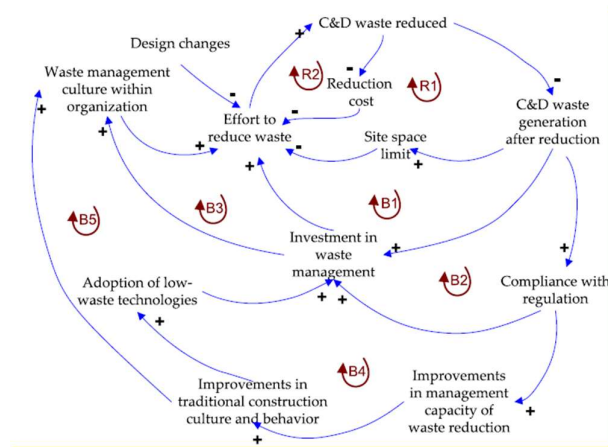
Kata kunci: reduksi limbah konstruksi, manajemen limbah, sistem dinamik

### 1. Pendahuluan

Limbah konstruksi diartikan sebagai bahan atau material yang tidak terpakai hasil dari proses konstruksi. Tidak dapat dipungkiri bahwa dalam dunia konstruksi, semakin banyaknya proyek yang terealisasi maka semakin sejahtera masyarakat di wilayah tersebut. Secara umum banyak yang mengakui bahwa sektor konstruksi adalah sektor yang kurang ramah lingkungan [1]. Semua kegiatan konstruksi dipastikan tidak hanya melibatkan sumber daya yang besar, material serta energi, tetapi juga menghasilkan limbah padat yang dapat menimbulkan efek negatif terhadap lingkungan [2].

Aktivitas konstruksi menghasilkan setidaknya 180 juta ton material sisa konstruksi. Dimana limbah konstruksi merupakan limbah dengan kapasitas timbulan yang terbesar ketiga setelah limbah pertambangan dan pertanian [3]. Kurangnya perhatian dari pelaku konstruksi terhadap limbah dan material sisa yang ditimbulkan ketika tahap pelaksanaan konstruksi berlangsung menjadi masalah yang serius dan perlu untuk ditangani. Pengurangan limbah konstruksi adalah prioritas tertinggi di antara semua opsi pengelolaan limbah, yang mencakup pengurangan sumber daya, daur ulang, dan pembuangan [2].

Pencegahan serta penanganan limbah konstruksi sangat penting diperhatikan oleh para pelaku konstruksi. Berbagai penelitian sudah mengenai limbah konstruksi sudah banyak dilakukan. Perlu adanya pengembangan model karena jumlah limbah konstruksi bersifat dinamis dari waktu ke waktu. Permodelan limbah konstruksi didasarkan pada beberapa tahap konstruksi dari perencanaan, pelaksanaan, dan dekonstruksi.



**Gambar 1.** Causal loop diagram pengurangan limbah

Dapat dilihat pada **Gambar 1**, dijelaskan bahwa manajemen limbah konstruksi dipengaruhi variabel seperti perubahan desain, biaya, budaya setempat, teknologi dan juga ketersediaan lahan. Pengembangan model dinamis diperlukan untuk mengevaluasi strategi pengurangan limbah konstruksi dalam berbagai skenario, sehingga manajemen pengelolaan limbah terbaik dapat diidentifikasi dan diimplementasikan. Berbagai penelitian telah dilakukan, penelitian dari perspektif dinamis lebih tepat diaplikasikan terhadap upaya mengurangi limbah konstruksi yang pada dasarnya selain bergantung dengan keseluruhan system dalam prosesnya [2].

Maka dari itu penelitian ini mengusulkan model yang dapat berfungsi sebagai referensi para pelaku konstruksi untuk mengurangi limbah konstruksi focus pada tahap pelaksanaan proyek dengan beberapa variabel pengaruh terhadap reduksi limbah konstruksi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pemodelan *system dynamics*, yang merupakan pendekatan sistematis dan berhubungan dengan kompleksitas, keterkaitan variabel, dan dinamika sistem.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif dengan pengambilan data menggunakan kuisioner. Data kuisioner kemudian diolah menggunakan aplikasi statistik. Data kuisioner yang sudah divalidasi kemudian digunakan

pada model untuk diimplementasikan pada *stock flow diagram* yang merupakan perkembangan dari model *casual loop diagram* reduksi limbah konstruksi, kemudian akan dilakukan validasi dan analisa sensitivitas, yang berikutnya akan dibuat skenario model yaitu penerapan skenario psimis, *moderate*, dan optimis terkait reduksi limbah konstruksi.

Pemodelan Sistem Dinamik

*System dynamic* memiliki lima tahapan dalam mengembangkan modelnya yaitu dimulai dari pendefinisian permasalahan (*problem articulation*) yang akan diangkat dengan membuat sistem dinamik. Tahap kedua adalah pembuatan hipotesa awal (*dynamics hypothesis*) dengan berbekal permasalahan pada tahap pertama. Tahap ketiga formulasi masalah (*formulation*). Tahap keempat adalah tahap pengujian dengan berbagai macam kombinasi atau skenario kebijakan (*testing*). Tahap kelima atau tahap yang terakhir adalah pengambilan kebijakan terbaik dari tahap sebelumnya dan melakukan evaluasi. [1]

### a. Menentukan kunci permasalahan

- 1) Pemilihan tema: Mengapa reduksi limbah konstruksi diperlukan?
- 2) *Key Variables*: Apa saja variabel kunci pada reduksi limbah konstruksi?
- 3) *Time Horizon*: Penelitian dilakukan dalam sembilan minggu pengamatan pelaksanaan proyek konstruksi.
- 4) Definisi masalah yang dinamis: Pertambahan jumlah limbah konstruksi yang dinamis tiap waktunya

### b. Menyusun hipotesis dinamik

- 1) Fokus endogen: Merumuskan hipotesis dinamis dimana beberapa variabel berpengaruh terhadap reduksi limbah konstruksi dalam siklus diagram umpan balik.
- 2) Model *boundary diagram*: Variabel utama dari model adalah aktivitas konstruksi, manajemen limbah, *site management*, ketepatan pelaksanaan.
- 3) Sub sistem diagram: Menyusun sub system diagram dari limbah konstruksi untuk menjadi model utama sistem dinamik.
- 4) *Causal loop diagram*: Menunjukkan gambaran hubungan kausalitas atau sebab akibat antar variabel, yang kemudian dilakukan simulasi terhadap model reduksi limbah yang sudah dibentuk.
- 5) *Policy structure diagram*: Digunakan oleh pengambil kebijakan untuk mengatur aliran dalam sebuah system dinamik.

### c. Memformulasikan model simulasi

- 1) Menentukan spesifikasi struktur model reduksi limbah konstruksi

- 2) Menentukan kondisi awal, melakukan perhitungan estimasi parameter, dan menentukan hubungan perilaku pada model.

#### d. Menguji Model

Dalam pengujian model dilakukan setidaknya dua pengujian. Pengujian *structural* model dan pengujian *behavior* model.

##### 1) Pengujian Struktural Model

Uji struktur model dilakukan untuk mengetahui apakah struktur yang dirancang sesuai dengan struktur system pada kondisi nyata. Pengujian ini dilakukan dengan mensimulasi variabel yang berpengaruh terhadap model reduksi limbah konstruksi. Hingga model dinyatakan OK

##### 2) Pengujian Perilaku Model

Pengujian perilaku model harus dilakukan sebelum analisis kebijakan. Pengujian dilakukan dengan perbandingan rata-rata (*means comparison*) dan pengujian perbandingan variasi amplitudo (*amplitude variations comparison*).

##### 1. Perbandingan rata – rata (*mean comparison*)

$$E1 = \frac{|S-A|}{A}$$

S = nilai rata – rata hasil simulasi

A = nilai rata – rata data

Model dianggap valid bila  $E1 \leq 5\%$

##### 2. Perbandingan Variasi Amplitudo

$$E2 = \frac{|Ss-Sa|}{Sa}$$

Ss = standard deviasi model

Sa = standard deviasi data

Model dianggap valid bila  $E2 \leq 30\%$

#### e. Policy Design and Evaluation

- 1) Menentukan spesifikasi skenario: kondisi lingkungan apa yang akan muncul Ketika penerapan model reduksi limbah?
- 2) *Policy Design*: Merepresentasikan hasil simulasi model dalam kenyataan
- 3) Melakukan *what if analysis* dan bagaimana dampak dari kebijakan tersebut?
- 4) Interaksi kebijakan: Bagaimana model reduksi limbah konstruksi berperan pada dunia nyata

### 3. Hasil dan Pembahasan

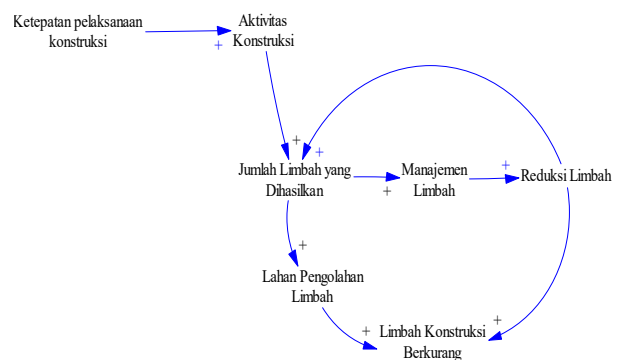
#### Pengumpulan Data

Pengumpulan data tahap pertama, atau data primer pada penelitian ini melalui 2 tahapan yakni penilaian dari responden ahli sebagai *expert* berupa survei pendahuluan dan responden survei utama yang merupakan stakeholders lingkungan proyek konstruksi gedung. Sehingga hasil

validasi tersebut dibentuk dalam diagram kausatik. Selain itu validasi bersifat kualitatif didapatkan dengan kuesioner. Selanjutnya pengumpulan data tahap kedua merupakan data sekunder bertujuan untuk memvalidasi data dari model reduksi limbah konstruksi [4].

#### Pengembangan Model Penelitian

Hipotesis dijelaskan dengan detail dalam diagram sebab akibat. Dapat dilihat pada **Gambar 2**, diagram tersebut merupakan *causal loop diagram* (CLD) akan menggambarkan tiruan model maupun nyata reduksi limbah konstruksi di lingkungan proyek konstruksi. diagram berisi hubungan antar variabel yang terjadi pada diagram kausatik diatas, menunjukkan bagaimana simbol bentuk (+) yakni untuk penambahan pengaruh sedangkan (-) menunjukkan penurunan pengaruh. Hal ini menunjukkan suksesnya suatu sistem dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu internal dan eksternal [5]



**Gambar 2.** *Boundary Diagram*

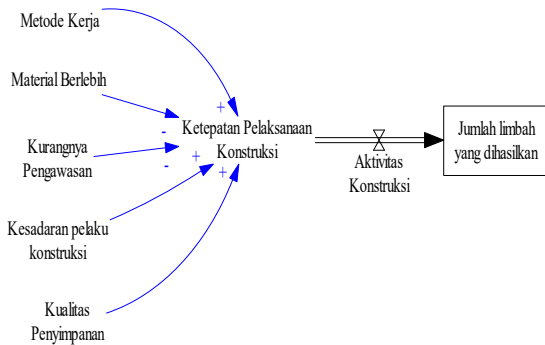
#### Pengolahan Data Model Penelitian

Model simulasi dibutuhkan cara untuk mengevaluasi secara numerik dari data yang telah dikumpulkan sebagai perkiraan rancangan sebenarnya untuk model tersebut Langkah-langkah pemodelan melibatkan penentuan hubungan dan persamaan untuk setiap variabel. Selanjutnya dilakukan pemodelan *stock and flow* diagram dari tiap submodel, dimaksudkan agar memudahkan perancangan skenario sebagai analisis keluaran model tersebut. Data informasi diinput dengan menggunakan simbol-simbol *software* vensim berupa penggolongan *level*, *rate* dan *auxiliary* serta konstanta. Pengelolaan informasi dimulai dari formulasi sub model limbah yang dihasilkan, sub model site management, sub model reduksi limbah konstruksi.

##### 1) Formulasi sub model limbah yang dihasilkan

Dari boundary diagram **Gambar 2**, dilakukan pengembangan variabel yang berpengaruh terhadap ketepatan pelaksanaan konstruksi. Ketepatan pelaksanaan

konstruksi berpengaruh besar terhadap timbulan limbah yang akan dihasilkan selama proses konstruksi berlangsung. Beberapa variabel. Metode pelaksanaan, penyimpanan material, pengawasan, kesadaran, kualitas material berpengaruh terhadap ketepatan pelaksanaan konstruksi. Dari pelaksanaan aktivitas konstruksi mempengaruhi jumlah limbah yang dihasilkan [7]



Gambar 3. Sub model jumlah limbah yang dihasilkan

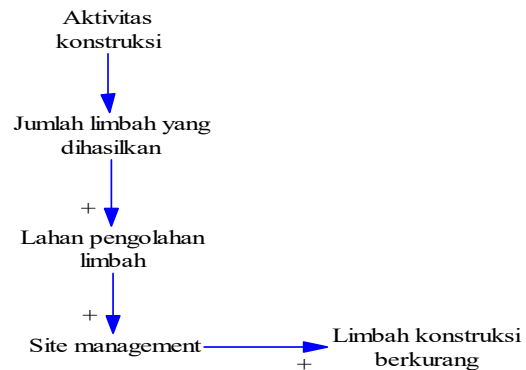
Dapat dilihat pada Gambar 3, ketika pelaksanaan metode kerja dengan tepat, maka akan memberikan keuntungan yang besar terhadap perusahaan. Dengan metode kerja yang tepat, hal tersebut akan mereduksi limbah konstruksi dengan signifikan [8]. Pengadaan material yang tidak sesuai akan menghambat laju proyek dan akan berdampak berkurangnya efektivitas pekerjaan karena adanya kelebihan material yang akan menimbulkan bertambahnya limbah konstruksi [9]. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, diperlukan konsultan pengawas untuk membatasi tingkat error atau kesalahan yang mungkin terjadi dalam sebuah proyek konstruksi. Dimana tujuan dari pengawasan adalah meminimasi kerugian perusahaan konstruksi [2].

2) Formulasi sub model *site management* limbah konstruksi

Dari boundary diagram Gambar 2, dilakukan pengembangan variabel yang berpengaruh terhadap *site management*. *Site management* berpengaruh besar terhadap berkurangnya limbah konstruksi. *waste inducing site*, human resource management merupakan elemen penting dari project management yang dapat mempengaruhi reduksi limbah konstruksi dalam tahap proses pelaksanaan konstruksi [10].

Dapat dilihat pada Gambar 4, saat proyek konstruksi atau pembongkaran berlangsung, dan semakin bertambahnya item pekerjaan sebuah proyek, hal tersebut akan berpengaruh besar terhadap bertambahnya jumlah timbulan limbah yang dihasilkan dari proses pelaksanaan proyek itu sendiri [11]. Penambahan jumlah limbah di lapangan, akan secara

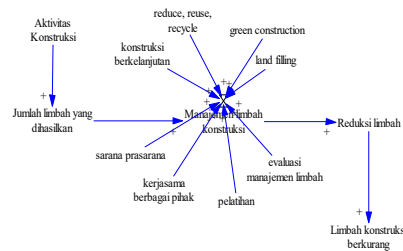
langsung berpengaruh terhadap ketersediaan lahan pengolahan atau penimbunan limbah [12]. Semakin bertambahnya ketersediaan lahan pengolahan atau timbunan limbah, hal tersebut akan memerlukan *site management* yang lebih guna mencegah terjadinya timbulnya limbah konstruksi yang berlebihan [13]. *Site management* yang tepat akan berpengaruh secara signifikan mengurangi jumlah limbah konstruksi [14].



Gambar 4, Sub model *site management* limbah konstruksi

3) Formulasi sub model reduksi limbah

Dari boundary diagram Gambar 2, dilakukan pengembangan variabel yang berpengaruh terhadap reduksi limbah. Upaya reduksi limbah berpengaruh terhadap harapan dari penulisan penelitian ini adalah untuk mendapatkan limbah konstruksi yang berkurang, sesuai dengan limbah konstruksi aktual dalam sebuah proyek. Beberapa variabel yang berpengaruh terhadap variabel manajemen limbah turut memberikan pengaruh yang besar terhadap upaya reduksi limbah konstruksi [15].



Gambar 5. Sub model reduksi limbah konstruksi

Dapat dilihat pada Gambar 5, berkembang pesatnya sektor industri konstruksi di Indonesia, maka inovasi konstruksi harus semakin dikembangkan. Salah satunya adalah konsep konstruksi berkelanjutan, dalam konsep ini limbah konstruksi dapat dilakukan *recycling* untuk dapat dimanfaatkan kembali agar menjadi nilai guna [16]. Dengan

bertambahnya jumlah limbah konstruksi, dan upaya manajemen limbah konstruksi yang tepat, maka perlu adanya pelatihan untuk meningkatkan kualitas dan pengetahuan pekerja di lapangan untuk menunjang tercapainya manajemen limbah konstruksi yang optimal [17].

Prinsip 3R (*reduce, reuse, recycle*) digunakan dalam manajemen limbah konstruksi, selain untuk mereduksi, hal ini juga diharapkan dapat meminimasi sumber daya dari hasil pemanfaatan kembali limbah yang masih memiliki nilai guna [18]. *Green construction* juga merupakan salah satu alternatif untuk mereduksi limbah konstruksi, dimana penerapannya dapat dilakukan di berbagai sektor konstruksi terutama bangun gedung bertingkat [19].

**Validasi dan pengujian model penelitian (*validation and model testing*)**

Dapat dilihat pada **Gambar 6**, tahapan validasi serta pengujian model bertujuan untuk memeriksa nilai dari proses untuk mengerahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan proses yang ditirukan. Variabel yang sudah didapatkan dari literitur dan kuesioner disusun menjadi model utama. Disimulasikan untuk dapat mengetahui bahwa model sudah valid dan unit variabel juga dinyatakan valid. Apabila masih terdapat error pada model ataupun unit variabel, maka perlu dilakukan pengecekan ulang terhadap susunan variabel maupun unit pada setiap variabel yang berpengaruh dalam model penelitian. Hal ini merupakan metode yang digunakan untuk menentukan eksekusi atau transaksi kasus tertentu sudah benar, selain itu verifikasi bahwa model yang dihasilkan sudah sesuai, serta dalam prosesnya verifikasi dan validasi yang benar harus diikuti pada setiap tahap simulasi [6].

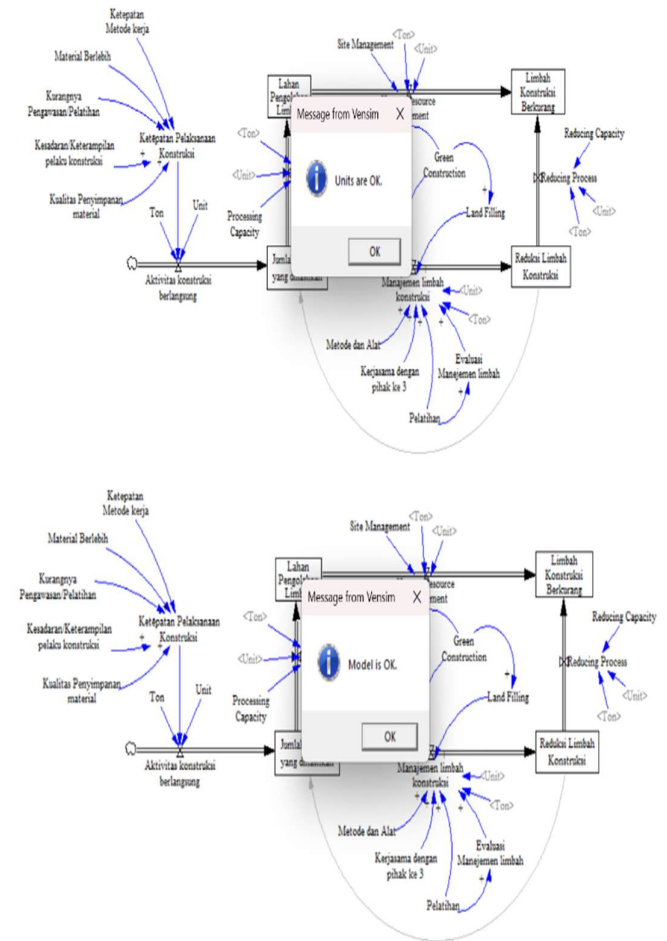
**1) Validasi struktural model penelitian (*structural validation*)**

*Structural validation* yaitu dengan membandingkan persamaan struktur hubungan *stock flow diagram* dengan struktur hubungan pada sistem nyata [20]. Menurut Pengujian struktur dapat dilakukan saat mulai membentuk model dimana setiap variabel harus sesuai dengan dunia nyata dan setiap persamaan harus diperiksa agar konsistensi secara dimensional [1]. Dalam *software* vensim, dapat dilakukan pengecekan model dan unit dari *software*. Jika terdapat pemberitahuan “*Model is OK*” dan “*Unit is OK*”, maka model tersebut dan satuan yang telah diinputkan secara struktur *software* telah benar [6].

**2) Validasi perilaku model dalam penelitian (*behavior validation test*)**

*Behavior validity test* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus dengan variabel yang perlu divalidasi

dalam simulasi yakni limbah konstruksi tereduksi dibandingkan dengan data aktual lapangan. Dalam tahap ini dapat diketahui apakah model sudah sesuai dengan kondisi nyata atau belum. Variabel yang divalidasi adalah simulasi Sembilan minggu pengamatan dari total pelaksanaan proyek konstruksi 88 minggu kalender pembangunan gedung di Bondowoso Jawa Timur. Hal ini menunjukkan bahwa model dapat diaplikasikan di lapangan.



**Gambar 6.** Model dan Unit *is OK*

Dapat dilihat pada **Tabel 1**, perbandingan data aktual dengan hasil simulasi dengan *system dynamic*.

$$E1 = \left| \frac{33613,92 - 33619,7}{33619,7} \right| \times 100\% = 0,01719\% \leq \text{syarat} = 5\%$$

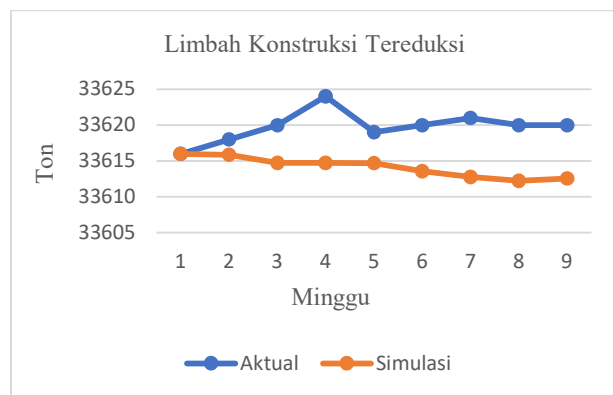
$$E2 = \left| \frac{1,481278 - 2,057507}{2,057507} \right| \times 100\% = 28,0062\% \leq \text{syarat} = 30\%$$



**Tabel 1.** Perbandingan data aktual dan simulasi

Minggu	Aktual	Simulasi
0	33616	33616
1	33618	33615,88
2	33620	33614,74
3	33624	33614,74
4	33619	33614,69
5	33620	33613,59
6	33621	33612,76
7	33620	33612,23
8	33620	33612,54
9	33619	33612,06
Mean	33619,7	33613,92
Mean Comparison	0,01719%	valid
St.Dev	2,057507	1,481278
St.Dev Comparison	28,0062%	valid

Dari nilai *mean* aktual 33619,7 dengan *mean* simulasi 33613,92 didapatkan *mean comparison* 0,01719%. Dari standar deviasi aktual 2,057507 dengan standar deviasi simulasi 1,481278 didapatkan standar deviasi *comparison* 28,0062%. Nilai E1= 0,01719% (OK) dan Nilai E2= 28,0062% (OK).

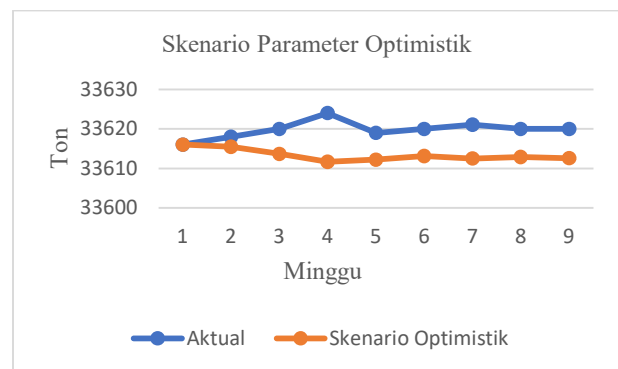
**Gambar 7.** Grafik perbandingan aktual dengan simulasi

Dapat dilihat pada **Gambar 7**, perbandingan data aktual dan simulasi pada grafik dijelaskan bahwa data minggu pertama di lapangan dan simulasi adalah nilai yang sama yaitu 33.616 pada minggu ke 68. Minggu pertama aktual hingga minggu ke empat grafik cenderung menunjukkan kenaikan dengan nilai 33.634 pada minggu ke empat. Sedangkan pada hasil simulasi, grafik cenderung menurun

dengan nilai 33.614,7 pada minggu ke empat. Grafik data aktual mengalami penurunan di minggu ke lima dengan nilai 33.619. Grafik simulasi cenderung landai hingga minggu ke lima dengan nilai 33.614,7. Selanjutnya grafik data aktual mengalami kenaikan hingga minggu ke tujuh dengan nilai 33.621, sedangkan grafik simulasi cenderung menurun hingga minggu ke tujuh dengan nilai 33.612,8. Dari minggu ke tujuh hingga minggu ke delapan, grafik aktual dan simulasi cenderung menurun. Minggu ke sembilan grafik aktual cenderung landai hingga nilai 33.620. sedangkan grafik simulasi mengalami kenaikan dari minggu ke delapan hingga minggu ke sembilan dengan nilai 33.612,5.

#### Skenario Parameter

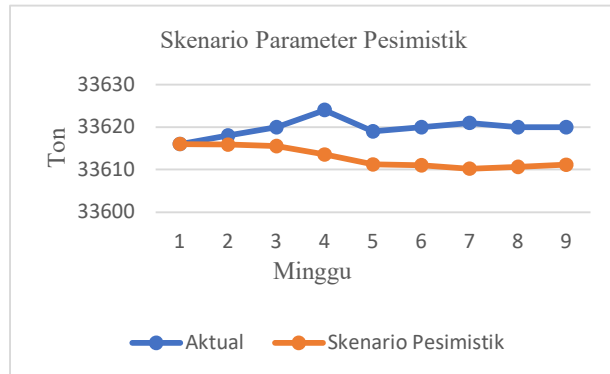
Skenario parameter ini menjelaskan perilaku model yang tidak berubah secara drastis saat parameter dirubah, menunjukkan model tersebut valid. Skenario parameter dilakukan dengan penerapan skenario optimistik dan skenario pesimistik. [20]

**Gambar 8.** Grafik Skenario Parameter Optimistik

Dapat dilihat pada **Gambar 8**, skenario parameter optimistik pada penelitian ini dilakukan dengan menambah 10% nilai *mean* pada variable yang berpengaruh terhadap manajemen limbah konstruksi. Pada grafik data aktual menunjukkan kenaikan hingga minggu ke empat, mengalami penurunan pada minggu ke lima, kenaikan hingga minggu ke tujuh dan seterusnya landai hingga minggu ke sembilan. Sedangkan grafik scenario menunjukkan adanya penurunan hingga minggu ke empat, kemudian landau hingga minggu ke sembilan. Perilaku model yang tidak berubah secara signifikan saat parameter dirubah, menunjukkan model tersebut valid.

Dapat dilihat pada **Gambar 9**, skenario parameter pesimistik pada penelitian ini dilakukan dengan mengurangi 10% nilai *mean* pada variable yang berpengaruh terhadap manajemen limbah konstruksi. Pada grafik data aktual menunjukkan kenaikan hingga minggu ke empat, mengalami penurunan pada minggu ke lima, kenaikan hingga minggu ke

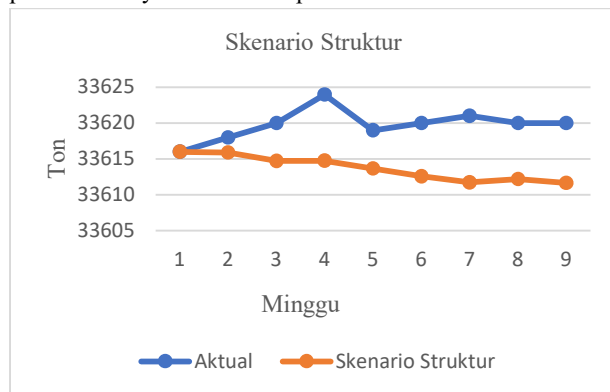
tujuh dan seterusnya landai hingga minggu ke sembilan. Sedangkan grafik skenario menunjukkan adanya penurunan hingga minggu ke empat, kemudian landai hingga minggu ke sembilan. Perilaku model yang tidak berubah secara drastis saat parameter dirubah, menunjukkan model tersebut valid. Skenario Struktur



**Gambar 9.** Grafik Skenario Parameter Pesimistik

Skenario struktur ini bertujuan untuk mendapatkan validasi dimana merubah structural model diharapkan tidak merubah hasil dari simulasi. Sehingga model tetap dapat diterapkan dalam kondisi nyata terkait dengan peraturan pemerintah nomor 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan dan pengelolaan lingkungan hidup dalam perspektif konstruksi membahas mengenai dampak kerusakan lingkungan yang timbul akibat aktivitas konstruksi maka pada penelitian ini dilakukan penambahan variabel *government regulation* yang dianggap berpengaruh terhadap variabel manajemen limbah konstruksi.

Perilaku model yang tidak berubah secara drastis saat parameter dirubah, menunjukkan model tersebut valid. Grafik perbandingan antara aktual dengan skenario struktural dibuat untuk mengetahui pola perilaku dari variabel yang ada pada model system dinamik penelitian ini.



**Gambar 10.** Grafik Skenario Struktur

Dapat dilihat pada **Gambar 10**, hasil dari penerapan skenario struktur dengan menambahkan variabel *government regulation* dapat berpengaruh terhadap model. Dari hasil skenario struktur pada kondisi nyata di lapangan, dapat menambahkan faktor *government regulation* untuk upaya reduksi limbah konstruksi yang optimal dengan tetap memperhatikan kondisi dan waktu pelaksanaan proyek.

Dari perbandingan **Gambar 7** dengan **Gambar 10** dapat dijelaskan bahwa pada simulasi tanpa skenario, grafik pada minggu ke 4 menuju minggu ke 5 masih cenderung landai. Namun dengan adanya penambahan variabel *government regulation*, pada grafik minggu ke 4 menuju ke 5 dengan nilai 33.613,68 menjadi 33.612,56 atau sebesar 0,998% dan terus mengalami penurunan hingga minggu ke 7 dengan nilai 33.611,78 atau sebesar 0,997%. Diharapkan dengan adanya variabel tambahan, upaya reduksi limbah konstruksi dapat optimal untuk mengurangi limbah konstruksi berlebih pada kondisi nyata.

#### 4. Simpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dan penerapan skenario dalam pengambilan kebijakan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Variabel yang paling berpengaruh terhadap reduksi limbah konstruksi adalah ketepatan pelaksanaan konstruksi, manajemen limbah, *site management*, dan aktivitas konstruksi.
2. Hasil skenario parameter dengan menambah nilai *mean* 10% dapat mereduksi limbah 0.9982%, menurunkan nilai *mean* 10% dapat mereduksi limbah 0.9887%, dan skenario struktur dengan penambahan variabel *government regulation* dapat mereduksi limbah konstruksi dari nilai 33.616 menjadi 33.611,16 atau sebesar 0.9988% pada sembilan minggu pengamatan. Hasil skenario dapat menurunkan grafik produksi limbah konstruksi sehingga dapat diterapkan pada kondisi nyata sesuai hasil penerapan skenario struktural dan parameter yang telah dilakukan dengan tetap memperhatikan kondisi actual di lapangan.

#### Daftar Pustaka

- [1] Yahya, K. and Boussabaine, A.H. 2004. Eco-cost of sustainable construction waste management. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Postgraduate Research Conference, Salford, pp. 142-150
- [2] 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*,
- [3] Zalaya, Y., Handayani, P. and Lestari, I.W., 2019a. Pengelolaan Limbah Hasil Konstruksi Pada. *Forum Ilmiah*,
- [4] Ishaq, H, 2017, Metode Penelitian Hukum dan Penulisan Skripsi, Tesis, serta Disertasi, ALFABETA, Bandung.
- [5] da Silva, S.L.C. and Amaral, F.G., 2019. Critical factors of success and barriers to the implementation of occupational health and safety management systems: A systematic review of literature. *Safety Science*, 117(November 2018), pp.123–132.
- [6] Sterman, J.D., 2000. *Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. United ' States of America: Jeffrey J. Shelsfud.
- [7] Adutya, Rio 2015. Pengaruh Manajemen Material Dalam Meminimalisasi Limbah Konstruksi Pada Proyek Kontruksi Bangunan Bertingkat. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta
- [8] Aldana, J.C. and Serpell, A., 2016. Methodology for the preparation of construction project waste management plans based on innovation and productive thinking processes: A case study in Chile. *Revista de la Construcción*, 15(1), pp.32–41.
- [9] Donyavi, F. and, 2015. Crecimiento financiero Opinión | Portafolio. *Agosto 30*, [online] (September), p.1
- [10] Fitriani, H. and Ajayi, S., 2025. Analysis of the Underlying Causes of Waste Generation in Indonesia ' s Construction Industry. pp.1–18.
- [11] Zerlita, N.F. and Rini, T.S., 2019. Identifikasi Penyebab Timbulnya Limbah Proyek Konstruksi Dikota Surabaya. ... : *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, [online] 7(1), pp.75–82.
- [12] Cdw, A., 2020. Construction and demolition waste – Major challenges ahead
- [13] Siddiqua, A., Hahladakis, J.N. and Al-Attiya, W.A.K.A., 2022. An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research*, [online] 29(39), pp.58514–58536.
- [14] Putri, L.D., Soehardi, F. and Dinata, M., 2021. Identifikasi Material Sisa dan Penanganan Pada Pekerjaan Kontruksi Jalan. 2.
- [15] Harefa, Mei Brilian. 2020. “Dalam Mewujudkan Green Construction ( Studi Kasus : Pembangunan Transmart Carrefour Padang ).” 4(1):20–30.
- [16] Islam, N., Sandanayake, M. and Muthukumar, S., 2024. Review on Sustainable Construction and Demolition Waste Management — Challenges and Research Prospects.
- [17] Imoro, A.Z. and Cobbina, S.J., 2021. Waste Management Practices of Construction Companies at the Airport Hills and Sakumono Areas in Accra , Ghana. (June).
- [18] Umar, U.A., Shafiq, N. and Ahmad, F.A., 2021. Civil Engineering A case study on the effective implementation of the reuse and recycling of construction & demolition waste management practices in Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*, [online] 12(1), pp.283–291.
- [19] Mak, T.M.W., Chen, P.C., Wang, L., Tsang, D.C.W., Hsu, S.C. and Poon, C.S., 2019. A system dynamics approach to determine construction waste disposal charge in Hong Kong. *Journal of Cleaner Production*, [online] 241, p.118309.
- [20] Widowati, E., Rachmawati, F., & M. (2021), 2011. Pemodelan Work Rate Pada Proyek Konstruksi Gedung Di Surabaya Dengan System Dynamic Untuk Pengoptimuman Kinerja Biaya Dan Waktu.