



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

**IMPLEMENTASI KONSEP *GREEN RETROFITTING* PADA
BANGUNAN SMELTER BERBASIS *HYBRID DYNAMICS*
UNTUK MENINGKATKAN KINERJA BIAYA**



TESIS

UNIVERSITAS
WYLLEM THOMAS ATOR
NIM: 55722110013
MERCU BUANA

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
2024**



**IMPLEMENTASI KONSEP *GREEN RETROFITTING* PADA
BANGUNAN SMELTER BERBASIS *HYBRID DYNAMICS*
UNTUK MENINGKATKAN KINERJA BIAYA**

TESIS

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Program Pascasarjana
Program Studi Magister Teknik Sipil

UNIVERSITAS

WYLLEM THOMAS ATOR

NIM: 55722110013

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
2024**

ABSTRAK

Nama : Wyllem Thomas Ator
NIM : 55722110013
Program Studi : Magister Teknik Sipil
Judul : “Implementasi Konsep *Green Retrofitting* Pada Bangunan Smelter Berbasis Hybrid Dynamics Untuk Meningkatkan Kinerja Biaya”
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Albert Eddy Husin, M.T.

Tembaga, material yang sering digunakan dalam industri, elektronik, transportasi, dan rumah tangga, merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat efisien dan memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Peningkatan permintaan dalam beberapa waktu terakhir sejalan dengan tren pada saat ini. Hal ini juga sejalan dengan tren peningkatan pembangunan Smelter di Indonesia. Isu lingkungan juga menjadi pertimbangan, oleh karena itu, peneliti bermaksud untuk menerapkan konsep *retrofitting* ramah lingkungan pada bangunan Pabrik Smelter Tembaga yang sudah ada agar lebih efisiensi dalam penggunaan sumber energi serta dapat mengurangi biaya pemeliharaan operasional. Inisiatif ini juga diupayakan untuk mengurangi kekhawatiran publik dan lingkungan mengenai dampak ekstraksi sumber daya alam, pemrosesan, dan pembangunan industri. Untuk meningkatkan kinerja biaya bangunan Smelter ini, peneliti bermaksud untuk menyelidiki penggunaan parameter LEED untuk mengevaluasi konsep *green retrofitting* melalui *hybrid* dinamika sistem. Faktor yang paling berpengaruh dari evaluasi yang diberikan oleh koresponden dianalisis menggunakan teknik SEM-PLS. Dan untuk mengatasi kendala biaya *green retrofitting* yang tinggi, dilakukan upaya peningkatkan efisiensi dan penerapan energi terbarukan sehingga peningkatan kinerja biaya didapat sebesar 3,88% untuk tingkat *Platinum*, tingkat *Gold* sebesar 3,75%, tingkat *Silver* sebesar 2,86%, dan *Basic* sebesar 2,28%.

Kata kunci : *Green retrofitting*, LEED, *system hybrid dynamics*, SEM-PLS, peningkatan biaya, energi terbarukan.

ABSTRACT

Name : Wyllem Thomas Ator
NIM : 55722110013
Study Program : Magister Teknik Sipil
Title : “Implementation of Green Retrofitting Concept in Smelter Building Based on Hybrid Dynamics to Improve Cost Performance”
Councillor : Dr. Ir. Albert Eddy Husin, M.T.

Copper, a material that is often used in industry, electronics, transportation, and households, is a very efficient conductor of heat and electricity and provides many benefits for human life. The increase in demand in recent times is in line with current trends. This is in line with the current increasing trend in smelter construction in Indonesia. Environmental issues are also taken into consideration; therefore, researchers intend to implement environmentally friendly retrofits on the Copper Smelting Plant building to be more energy efficient and it can reduce operational maintenance costs. This initiative also seeks to reduce public and environmental concerns regarding the impacts of natural resource extraction, processing, and industrial development. To increase the cost performance of the Smelter Construction Building, this research investigates the utilization of LEED parameters to evaluate green retrofit concepts through system dynamics. The most relevant elements of the evaluations given by participants were identified using the SEM-PLS technique. The Researcher found the increased cost of Green Retrofitting after enhancing efficiency and Implementing renewable energy against cost constraints achieved 3.88% for the Platinum level, Gold at 3.75%, Silver at 2.86%, and Basic at 2.28%.

Keywords: Green retrofitting, LEED, system hybrid dynamics, SEM-PLS, cost improved, renewable energy.

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa seluruh tulisan dan pernyataan dalam Tesis ini :

Judul : “Implementasi Konsep *Green Retrofitting* Pada Bangunan Smelter Berbasis *Hybrid Dynamics* Untuk Meningkatkan Kinerja Biaya”
Nama : Wyllem Thomas Ator
NIM : 55722110013
Program : Pascasarjana – Program Studi Magister Teknik Sipil
Tanggal : 28 Agustus 2024

Merupakan hasil studi pustaka, penelitian, dan karya saya sendiri dengan arahan pembimbing yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana.

Tesis ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar magister (S2) pada program sejenis di perguruan tinggi lain. Semua informasi, data, serta hasil pengolahan dalam penulisan tesis ini, telah dinyatakan secara jelas sumbernya dan dapat diperiksa kebenarannya.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

28 Agustus 2024

(Wyllem Thomas Ator)

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : “Implementasi Konsep *Green Retrofitting* Pada Bangunan Smelter Berbasis *Hybrid Dynamics* Untuk Meningkatkan Kinerja Biaya”
Nama : Wyllem Thomas Ator
NIM : 55722110013
Program Studi : Magister Teknik Sipil
Tanggal :

Mengesahkan

Pembimbing



(Dr. Ir. Albert Eddy Husin, M.T.)

NIDN/NIK: 0309116504/116670547

Dekan
Fakultas Teknik

Ketua Program Studi
Magister Teknik Sipil



(Dr. Ir. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.)

NIDN/NIK: 0307037202/113720381



(Dr. Ir. Mawardi Amin, M.T.)

NIDN/NIK: 0024096701/192670076

SURAT KETERANGAN HASIL SIMILARITY

Menerangkan bahwa karya ilmiah atas nama:

Nama : Wyllem Thomas Ator

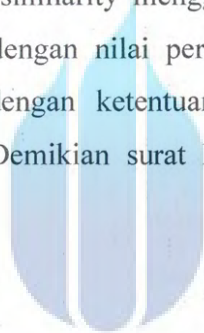
NIM : 55722110013

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Judul Tugas Akhir/Tesis :

“IMPLEMENTASI KONSEP *GREEN RETROFITTING* PADA BANGUNAN SMELTER BERBASIS *HYBRID DYNAMICS* UNTUK MENINGKATKAN KINERJA BIAYA”

telah dilakukan pengecekan similarity menggunakan aplikasi sistem turnitin pada tanggal 31 Agustus 2024, dengan nilai persentase sebesar 17% dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.



Jakarta, 31 Agustus 2024

Administrator Turnitin

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Saras Nur Pratica, S.Psi, MM

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala karunia dan ridho-Nya, sehingga tesis dengan judul ” Implementasi Konsep *Green Retrofitting* Pada Bangunan Smelter Berbasis *Hybrid Dynamics* Untuk Meningkatkan Kinerja Biaya” dapat selesai.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Mercu Buana dan diharapkan mampu memberikan kontribusi bagi tempat penelitian yang dilakukan dan juga untuk semua pihak.

Tesis ini bisa selesai tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari semua pihak, oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Albert Eddy Husin, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, koreksi untuk perbaikan serta dukungannya.
2. Bapak Dr. Ir. Mawardi Amin, M.T. selaku Dosen Penelaah dan Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Mercu Buana yang telah memberikan arahan, koreksi untuk perbaikan serta dukungannya.
3. Segenap Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Mercu Buana atas ilmu pengetahuan dan suri tauladan yang sudah diberikan.
4. Segenap Manajemen PT. XYZ yang sudah memberikan kesempatan bersama rekan-rekan kerja yang sudah meluangkan waktu selama penelitian yang sudah dilakukan.
5. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Mercu Buana Jakarta, khususnya angkatan XIV atas kebersamaan dan dukungannya.
6. Ayahanda Bapak Jantje Vincentius Ator dan Ibu tercinta (Alm. M. Mundung) atas doa dan dukungannya.
7. Istri tercinta Lannemei M. Kolamban bersama anak tersayang Louisa Ator, Katherine Ator, dan Marianna Ator, serta segenap keluarga Ator yang sudah tulus mendoakan dan memberikan dukungannya.

Penulis menyadari dalam menyusun laporan tesis ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis menerima saran dan kritik sebagai sarana perbaikan. Penulis berharap tesis ini dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut.

Jakarta, Agustus 2024

Wyllem Thomas Ator



DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN SIMILARITY CHECK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	11
1.3. Rumusan Masalah	12
1.4. Tujuan Penulisan	13
1.5. Batasan Penelitian	13
1.6. Manfaat dan Kegunaan Penelitian	14
1.7. Sistematika Penulisan	14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	16
2.1. Smelter	16
2.2. Konsep <i>Green Building</i>	18
2.3. Definisi <i>Green Building</i>	20
2.4. Kebijakan <i>Green Building</i>	21
2.5. <i>Green Retrofitting</i>	21
2.6. LEED (<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>)	22
2.7. Pemodelan Sistem dan Simulasi	25
2.7.1. Model Simulasi.....	26
2.8. <i>Hybrid Dynamics</i>	27
2.8.1. Simulasi Sistem Dinamik	27
2.8.2. Clausal Loop Diagram.....	29
2.8.3. <i>Stock Flow Diagram</i>	30

2.8.4. Verifikasi dan Validasi	30
2.8.5. <i>Discrete Event Simulation</i> (DES).....	31
2.9. Penelitian Terdahulu.....	33
2.10. Bahasan Penelitian Terdahulu	41
2.11. Kerangka Berpikir	42
2.12. Hipotesis Penelitian	43
2.13. Keaslian Penelitian	43
2.14. <i>Research Gap</i>	43
2.15. <i>State Of The Arts</i>	44
2.16. <i>Research Novelty</i>	44
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	51
3.1. Desain Penelitian	51
3.2. Obyek Penelitian.....	51
3.3. Data Penelitian.....	52
3.4. Jenis dan Sumber Data	52
3.5. Teknik Pengumpulan Data.....	53
3.6. Langkah Penelitian.....	55
3.7. Penjelasan Langkah Penelitian	56
3.7.1. Studi Literatur.....	56
3.7.2. Variabel Penelitian.....	58
3.7.3. Perancangan Kuisisioner.....	67
3.7.4. Metode Pengolahan dan Analisis Data.....	68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	73
4.1. Gambaran Umum.....	73
4.2. Faktor-faktor Berpengaruh.....	73
4.3. Pengumpulan Data	74
4.4. Kriteria Penilaian SEM-PLS.....	81
4.5. Analisa SEM-PLS.....	83
4.6. Analisa Studi Kasus.....	98
4.6.1. Model Dinamis Analisis Studi Kasus.....	99
4.6.2. Model Secara Konseptual dan Penerapan.....	99

4.6.2.1.... Pekerjaan RAB Non Bangunan <i>Green Retrofitting</i> (BGR)	114
4.6.2.2. Pekerjaan RAB Menjadi Bangunan <i>Green Retrofitting</i> ..	116
4.6.2.3. Pekerjaan RAB Menjadi BGR dengan Hybrid System Dynamics ..	116
4.7. Pembahasan Temuan Penelitian	119
4.7.1. Temuan Utama	119
4.7.2. Perbedaan Temuan Utama dengan Temuan Sebelumnya	119
4.7.3. Implikasi Penulisan Ini dengan Manajemen Konstruksi .	120
4.7.4. Keterbatasan dalam Penelitian Ini	120
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	121
5.1. Kesimpulan.....	121
5.2. Saran	122
DAFTAR PUSTAKA	123
LAMPIRAN.....	130



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Produksi Mineral Dunia	2
Gambar 1. 2 Produksi Mineral Indonesia	2
Gambar 1. 3 Realisasi Investasi Pembangunan Smelter	3
Gambar 1. 4 Realisasi Pembangunan Smelter (2012-2024)	4
Gambar 1. 5 Proses Bisnis dan Rantai pasok PT. Vale.....	4
Gambar 1. 6 <i>Sustainable Development Goals 2030 - Green Building</i>	6
Gambar 1. 7 Score Environmental Performance Index Indonesia.....	8
Gambar 1. 8 Polusi dari Operasional Smelter.....	9
Gambar 2.1 Pabrik Smelter PT. Vale Indonesia.....	17
Gambar 2.2 Sebaran Pabrik Smelter di Indonesia	17
Gambar 2.3 Tanda sertifikasi LEED.....	25
Gambar 2.4 Klasifikasi Pemodelan.....	26
Gambar 2.5 Tahap Pengembangan Model Sistem Dinamik	28
Gambar 2.6 Contoh Casual Loop Diagram.....	29
Gambar 2.7 Simulasi DES	33
Gambar 2.8 Model CLD Sistem Dinamik.....	41
Gambar 2.9 Kerangka Berpikir.....	42
Gambar 2.10 <i>State of The Art</i>	49
Gambar 3.1 Obyek Penelitian.....	51
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian	52
Gambar 3.3 Diagram Alur Penelitian.....	56
Gambar 3.4 Diagram Alur Implementasi.....	57
Gambar 3.5 Diagram dan Metode Pengolahan Data Structural Equation Modeling (SEM).....	69
Gambar 4.1 Persentase Pengembalian Kuesioner.....	80
Gambar 4.2 Data Responden.....	81
Gambar 4.3 <i>Background</i> Pendidikan dan Gambar 4.4 Pengalaman Kerja Responden.....	81
Gambar 4.5 Diagram Pemodelan dengan SEM-PLS.....	84

Gambar 4.6 <i>Average Variance Extracted (AVE)</i>	89
Gambar 4.7 <i>Composite Reliability</i>	90
Gambar 4.8 <i>Cronbach's Alpha</i>	90
Gambar 4.9 Diagram SEM P-Value dan T Statistik	95
Gambar 4.10 CLD Asesmen Proses Integratif.....	100
Gambar 4.11 CLD Asesmen Transportasi dan Lokasi.....	100
Gambar 4.12 CLD Asesmen Lapangan Berkelanjutan	101
Gambar 4.13 CLD Asesmen Energi dan Atmosfer.....	101
Gambar 4.14 CLD Asesmen Efisiensi Air.....	102
Gambar 4.15 CLD Asesmen Bahan dan Sumber.....	102
Gambar 4.16 CLD Asesmen Kualitas Lingkungan dalam Ruang.....	103
Gambar 4.17 CLD Asesmen Inovasi	103
Gambar 4.18 CLD Asesmen Prioritas Regional	104
Gambar 4.19 SFD Asesmen Proses Integratif.....	105
Gambar 4.20 SFD Asesmen Prioritas Lokasi dan Transportasi serta Lapangan Berkelanjutan	105
Gambar 4.21 SFD Asesmen Efisiensi Air Transportasi serta Efisiensi Air.....	106
Gambar 4.22 SFD Asesmen Bahan dan Sumber	106
Gambar 4.23 SFD Asesmen Kualitas Lingkungan dalam Ruang	107
Gambar 4.24 SFD Asesmen Inovasi dan Prioritas Regional	107
Gambar 4.25 SFD Asesmen dan <i>slider</i>	108
Gambar 4.26 Asesmen <i>Slider hybrid</i> dengan DES <i>software Anylogic 8.8.5</i> ...	109
Gambar 4.27 Akses ke transit berkualitas. (a) akses dengan kanopi, (b) Fasilitas Halte.....	115
Gambar 4.28 Penggunaan energi terbarukan Solar Panel di atas bangunan	115

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Jurnal Polusi dari Operasional Smelter.....	10
Tabel 2.1 LEED v4.1 <i>building cheaklist</i>	23
Tabel 2.2 Tinjauan Penelitian Terdahulu (1/7)	34
Tabel 2.3 Tinjauan Penelitian Terdahulu (2/7)	35
Tabel 2.4 Tinjauan Penelitian Terdahulu (3/7)	36
Tabel 2.5 Tinjauan Penelitian Terdahulu (4/7)	37
Tabel 2.6 Tinjauan Penelitian Terdahulu (5/7)	38
Tabel 2.7 Tinjauan Penelitian Terdahulu (6/7)	39
Tabel 2.8 Tinjauan Penelitian Terdahulu (7/7)	40
Tabel 2.9 <i>Research Gap</i> (1/4).....	45
Tabel 2.10 <i>Research Gap</i> (2/4).....	46
Tabel 2.11 <i>Research Gap</i> (3/4).....	47
Tabel 2.12 <i>Research Gap</i> (4/4).....	48
Tabel 2.13 <i>Research Novelty</i>	50
Tabel 3.1 Daftar Variabel Penelitian (1/9).....	59
Tabel 3.2 Daftar Variabel Penelitian (2/9).....	60
Tabel 3.3 Daftar Variabel Penelitian (3/9).....	61
Tabel 3.4 Daftar Variabel Penelitian (4/9).....	62
Tabel 3.5 Daftar Variabel Penelitian (5/9).....	63
Tabel 3.6 Daftar Variabel Penelitian (6/9).....	64
Tabel 3.7 Daftar Variabel Penelitian (7/9).....	65
Tabel 3.8 Daftar Variabel Penelitian (8/9).....	66
Tabel 3.9 Daftar Variabel Penelitian (9/9).....	67
Tabel 4.1 Distribusi Z	78
Tabel 4.2 Distribusi Kuesioner	79
Tabel 4.3 Daftar Data Responden	79
Tabel 4.4 <i>Background</i> Pendidikan Responden	80
Tabel 4.5 Pengalaman Kerja Responden	80
Tabel 4.6 Kriteria Penilaian Model PLS-SEM	82

Tabel 4.7 Jalur Hubungan Pemodelan Utama SEM-PLS	85
Tabel 4.8 Analisa Jalur Utama Pemodelan	85
Tabel 4.9 Evaluasi Model Pengukuran	88
Tabel 4. 10 Nilai <i>Path Coefficient</i>	93
Tabel 4.11 Hasil Nilai <i>R Square</i>	96
Tabel 4.12 Hasil Nilai <i>f</i>	97
Tabel 4.13 Sub Faktor yang Paling Berpengaruh	98
Tabel 4.14 <i>Green Retrofitting Assessment</i> Bangunan Smelter dengan LEED..	110
Tabel 4.15 Rencana Anggaran Biaya sub item pekerjaan.....	117
Tabel 4.16 Rencana Anggaran Biaya Implementasi <i>Green Retrofitting</i> dengan Sistem <i>Hybrid Dynamics</i>	118

