

**OPTIMALISASI EMS–BMS BERBASIS DATA UNTUK
EFISIENSI ENERGI, KUALITAS DAYA LISTRIK,
DAN REDUKSI EMISI KARBON PADA
GEDUNG PERKANTORAN PREMIUM**

(STUDI KASUS: TRINITY TOWER JAKARTA)

TESIS

Oleh

TUNAS SIREGAR

2405190007



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

JAKARTA

2026

**OPTIMALISASI EMS–BMS BERBASIS DATA UNTUK
EFISIENSI ENERGI, KUALITAS DAYA LISTRIK, DAN
REDUKSI EMISI KARBON PADA GEDUNG
PERKANTORAN PREMIUM
(STUDI KASUS: TRINITY TOWER JAKARTA)**

TESIS

Diajukan untuk memenuhi persyaratan akademik guna memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.) Pada Program Studi Magister Teknik Elektro
Program Pascasarjana Universitas Kristen Indonesia

Oleh:

TUNAS SIREGAR

2405190007



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2026**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
PROGRAM PASCASARJANA

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Tunas Siregar

NIM: 2405190007

Program Studi: Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tesis yang berjudul:

**OPTIMALISASI EMS–BMS BERBASIS DATA UNTUK EFISIENSI ENERGI,
KUALITAS DAYA LISTRIK, DAN REDUKSI EMISI KARBON PADA GEDUNG
PERKANTORAN PREMIUM (STUDI KASUS: TRINITY TOWER JAKARTA)**

adalah benar-benar hasil karya ilmiah saya sendiri dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Tesis ini disusun dan diselesaikan secara mandiri berdasarkan hasil penelitian, pengumpulan data, analisis, pengolahan data, serta kajian ilmiah yang dilakukan oleh penulis dengan arahan dan bimbingan dosen pembimbing.
2. Tesis ini bukan merupakan hasil plagiarisme, duplikasi, ataupun penjiplakan terhadap karya ilmiah pihak lain, baik sebagian maupun seluruhnya. Semua sumber referensi, teori, data, gambar, tabel, dan kutipan yang digunakan telah dicantumkan secara jelas sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah.
3. Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari pihak mana pun.

Jakarta, Mei' 2026

Penulis,

Tunas Siregar

LEMBAR PENGESAHAN



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA PROGRAM PASCASARJANA

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menempuh pendidikan pada Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

Judul:

**OPTIMALISASI EMS–BMS BERBASIS DATA UNTUK EFISIENSI ENERGI,
KUALITAS DAYA LISTRIK, DAN REDUKSI EMISI KARBON PADA GEDUNG
PERKANTORAN PREMIUM (STUDI KASUS: TRINITY TOWER JAKARTA)**

Disusun oleh:

TUNAS SIREGAR

NIM: 2405190007

Telah diperiksa, diuji, dan disetujui dalam Sidang Tesis
Program Magister Teknik Elektro
Universitas Kristen Indonesia
Jakarta, 09 Mei 2026

Menyetujui:

Pembimbing I

Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D.

Pembimbing II

Dr. Rismen Sinambela, ST., MT., IPM

Mengetahui:

Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D.

Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. dr. Bernadetha Nadeak, M.Pd., P.A.

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI TESIS



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA PROGRAM PASCASARJANA

PERSETUJUAN TIM PENGUJI TESIS

Pada hari Sabtu, 09 Mei 2026, telah diselenggarakan Sidang Tesis Program Magister Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia, untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Magister Teknik atas nama:

Nama : Tunas Siregar
NIM : 2405190007
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Konsentrasi : Energi Terbarukan

dengan judul tesis:

**OPTIMALISASI EMS–BMS BERBASIS DATA UNTUK EFISIENSI ENERGI,
KUALITAS DAYA LISTRIK, DAN REDUKSI EMISI KARBON PADA GEDUNG
PERKANTORAN PREMIUM (STUDI KASUS: TRINITY TOWER JAKARTA)**

yang telah diuji dan disetujui oleh Tim Penguji Tesis sebagai berikut:

No	Nama Penguji	Jabatan Tim Penguji	Tanda Tangan
1	Dr. Ichsan, ST., B.Sc (H), M.Sc	Ketua Tim Penguji	
2	Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D.	Anggota Penguji	
3	Dr. Rismen Sinambela, ST., MT., IPM	Anggota Penguji	

Jakarta, 09 Mei 2026



LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI

UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
PROGRAM PASCASARJANA

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: **Tunas Siregar**

NIM : **2405190007**

Program Studi: Magister Teknik Elektro, Pakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia

Judul Tesis:

**OPTIMALISASI EMS–BMS BERBASIS DATA UNTUK EFISIENSI ENERGI,
KUALITAS DAYA LISTRIK, DAN REDUKSI EMISI KARBON PADA GEDUNG
PERKANTORAN PREMIUM (STUDI KASUS: TRINITY TOWER JAKARTA)**

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Tesis ini bukan merupakan hasil plagiarisme ataupun duplikasi karya ilmiah pihak lain. Seluruh sumber data, teori, referensi, gambar, tabel, dan kutipan yang digunakan telah dicantumkan sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku.
2. Saya memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** kepada Universitas Kristen Indonesia untuk menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikan, serta mempublikasikan tesis ini untuk kepentingan pendidikan, penelitian, dan pengembangan ilmu pengetahuan dengan tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.
3. Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap Hak Kekayaan Intelektual (HKI) atau ketentuan akademik yang berkaitan dengan tesis ini, maka saya bersedia bertanggung jawab sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 9 Mei 2026

Yang menyatakan,


Tunas Siregar



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih, penyertaan, hikmat, dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik dan tepat pada waktunya.

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Elektro pada Program Pascasarjana Universitas Kristen Indonesia, dengan judul:

**OPTIMALISASI EMS–BMS BERBASIS DATA UNTUK EFISIENSI
ENERGI, KUALITAS DAYA LISTRIK, DAN REDUKSI EMISI KARBON
PADA GEDUNG PERKANTORAN PREMIUM (STUDI KASUS: TRINITY
TOWER JAKARTA)**

Penelitian ini membahas implementasi sistem *Energy Management System* (EMS) dan *Building Management System* (BMS) berbasis data operasional aktual dalam mendukung efisiensi energi, kualitas daya listrik, serta pengurangan emisi karbon pada gedung perkantoran premium. Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan *Integrated Data-Driven Energy Analysis Framework* melalui analisis konsumsi energi, kualitas daya listrik, metode *Artificial Intelligence* (KNN), metode statistik (CUSUM), dan evaluasi emisi karbon berdasarkan dataset operasional Gedung Trinity Tower Jakarta.

Dalam proses penyusunan tesis ini, penulis memperoleh banyak dukungan, bimbingan, bantuan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. dr. Bernadetha Nadeak, M.Pd., P.A. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Kristen Indonesia.
2. Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, masukan, dan dukungan selama proses penyusunan tesis ini.

3. Dr. Rismen Sinambela, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, masukan teknis, serta arahan akademik dalam penyempurnaan penelitian dan penulisan tesis ini.
4. Dr. Ichsan, S.T., B.Sc (H), M.Sc selaku Ketua Tim Penguji Tesis yang telah memberikan kritik, masukan, dan saran yang sangat membangun dalam penyempurnaan tesis ini.
5. Seluruh dosen dan staf Program Magister Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia atas ilmu, bimbingan, bantuan administrasi, serta dukungan selama penulis menjalani proses pendidikan.
6. Pihak manajemen Trinity Tower Jakarta dan Shimizu Corporation Indonesia yang telah memberikan izin penelitian, dukungan data operasional, serta bantuan teknis selama pelaksanaan penelitian ini.
7. Orang tua, keluarga, dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan doa, dukungan moral, semangat, dan motivasi kepada penulis selama proses studi dan penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan penelitian di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang sistem energi gedung, efisiensi energi, kualitas daya listrik, dan implementasi sistem EMS–BMS berbasis data.

Jakarta, Mei 2026

Tunas Siregar

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI TESIS	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kondisi Energi Nasional dan Global	3
1.3 Identifikasi Masalah	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Rumusan Masalah	5
1.6 Tujuan Penelitian	5
1.7 Manfaat Penelitian	5
1.8 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Sistem Energi pada Bangunan Gedung	7
2.2 Energy Management System (EMS) dan Building Management System (BMS) 8	
2.2.1 Konsep dan Fungsi EMS–BMS	8
2.3 Efisiensi Energi dan Indikator Kinerja.....	14
2.3.1 Energy Use Intensity (EUI)	15
2.3.2 Baseline Energi	16
2.3.3 Penghematan Energi.....	16

2.4	Sistem MVAC dan Variable Speed Drive (VSD).....	17
2.4.1	Sistem MVAC pada Bangunan Gedung.....	17
2.4.2	Karakteristik Beban dan Operasi Sistem MVAC.....	18
2.4.3	Teknologi Variable Speed Drive (VSD) dan Efisiensi Energi.....	18
2.4.4	Dampak VSD terhadap Kualitas Daya Listrik.....	19
2.5	Kualitas Daya Listrik.....	20
2.5.1	Parameter Kualitas Daya Listrik.....	20
2.5.2	Sumber dan Dampak Harmonisa.....	22
2.5.3	Standar Kualitas Daya Listrik (IEEE 519).....	22
2.5.4	Mitigasi dan Relevansi dalam Penelitian.....	23
2.6	Metode Analisis Data: CUSUM dan K-Nearest Neighbor (KNN).....	23
2.6.1	Konsep Data-Driven Analysis dalam Sistem Energi.....	23
2.6.2	Metode CUSUM (Konsep dan Prinsip Dasar).....	24
2.6.3	Baseline dan Interpretasi CUSUM.....	24
2.6.4	Estimasi Penghematan Energi dengan CUSUM.....	25
2.6.5	Metode K-Nearest Neighbor (KNN).....	25
2.6.6	Parameter Model KNN dan Validasi Data.....	26
2.6.7	Integrasi CUSUM dan KNN dalam Penelitian.....	27
2.7	Emisi Karbon, State of the Art, dan Kerangka Konseptual Penelitian..	27
2.7.1	Konsep Emisi Karbon dalam Sistem Energi Gedung.....	28
2.7.2	Faktor Emisi dan Perhitungan Emisi Karbon.....	29
2.7.3	Hubungan Efisiensi Energi dan Emisi Karbon.....	29
2.7.4	Kajian Penelitian Terdahulu.....	29
2.7.5	Research Gap dan Novelty Penelitian.....	30
2.7.6	Kerangka Konseptual Penelitian.....	31
2.7.7	Integrasi Kerangka dengan Struktur Penelitian.....	32
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		33
3.1	Pendekatan dan Desain Penelitian.....	33
3.1.1	Pendekatan Penelitian.....	33
3.1.2	Metode Studi Kasus.....	34
3.1.3	Pendekatan Data-Driven dan Time-Series Analysis.....	34
3.1.4	Pendekatan Multi-Metode Analisis.....	34

3.2	Lokasi, Objek, dan Waktu Penelitian	35
3.2.1	Lokasi Penelitian	35
3.2.2	Objek Penelitian	37
3.2.3	Waktu Penelitian	38
3.2.4	Keterkaitan Lokasi, Objek, dan Waktu dengan Metodologi	39
3.3	Variabel dan Ruang Lingkup Penelitian.....	40
3.3.1	Klasifikasi Variabel Penelitian	40
3.3.2	Model Relasi Variabel (Analytical Model)	41
3.3.3	Ruang Lingkup Penelitian.....	42
3.3.4	Keterkaitan Variabel dengan Metodologi dan Bab IV	43
3.4	Jenis dan Sumber Data	43
3.4.1	Jenis Data Penelitian	44
3.4.2	Sumber Data Penelitian.....	45
3.4.3	Metode Pengumpulan Data	46
3.4.4	Karakteristik dan Validitas Data.....	46
3.5	Instrumen dan Tools Penelitian	47
3.5.1	Sistem EMS–BMS sebagai Data Acquisition Layer	48
3.5.2	Power Quality Analyzer sebagai Measurement Layer	49
3.5.3	Python sebagai Data Processing dan Analytical Tools.....	49
3.5.4	MATLAB sebagai Validation Tools	50
3.6	Prosedur Penelitian.....	51
3.6.1	Tahapan Umum Penelitian	51
3.6.2	Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	52
3.6.3	Tahap Analisis dan Evaluasi Sistem.....	52
3.6.4	Tahap Interpretasi dan Keterkaitan dengan Bab IV	53
3.7	Metode Analisis Data	53
3.7.1	Tahap Preprocessing dan Analisis Dasar.....	54
3.7.2	Analisis Lanjutan Menggunakan KNN dan CUSUM.....	55
3.7.3	Analisis Emisi Karbon dan Integrasi Metode	56
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		58
4.1	Gambaran Umum Sistem Energi Gedung.....	58
4.1.1	Struktur Sistem Energi Gedung	59

4.1.2	Karakteristik Beban Energi	61
4.1.3	Aliran Energi dan Losses Sistem	64
4.1.4	Analisis Permasalahan dan Keterbatasan Sistem:	65
4.2	Analisis Konsumsi Energi	67
4.2.1	Pendekatan Baseline dan Validasi	68
4.2.2	Evaluasi Konsumsi Energi	72
4.2.3	Analisis Pola Konsumsi Energi (Time-Series Analysis).....	73
4.2.4	Analisis Intensitas Energi (EEI) dan Dampak Ekonomi.....	74
4.2.5	Distribusi Beban Energi	75
4.2.6	Analisis Energi terhadap Okupansi	76
4.3	Analisis Kualitas Daya Listrik	78
4.3.2	Evaluasi terhadap Standar IEEE 519	79
4.3.3	Analisis Sumber Harmonisa.....	83
4.3.4	Dampak & Risk Assessment Sistem Kelistrikan	85
4.3.5	Strategi Mitigasi Harmonisa	87
4.4	Analisis Artificial Intelligence (K-Nearest Neighbors)	89
4.4.1	Model KNN dan Formulasi Matematis.....	89
4.4.2	Dataset dan Feature Engineering	90
4.4.3	Hasil Klasifikasi dan Cluster Energi	92
4.4.4	Evaluasi Model dan Akurasi	95
4.4.5	Analisis Engineering dan Peran KNN dalam EMS.....	96
4.5	Analisis CUSUM (Cumulative Sum Control Chart).....	97
4.5.1	Hasil Analisis CUSUM	98
4.5.2	Analisis Fase Kinerja Sistem	100
4.5.3	Analisis Change Point Detection	101
4.5.4	Analisis Engineering dan Peran CUSUM.....	103
4.6	Analisis Emisi Karbon (Scope 2).....	103
4.6.1	Hasil Analisis Emisi Karbon	104
4.6.2	Analisis Intensitas Emisi Karbon (Carbon Intensity).....	106
4.6.3	Analisis Hubungan Energi dan Emisi Karbon	108
4.6.4	Implikasi terhadap Sustainability, ESG, dan SDGs	109
4.7	Sintesis dan Evaluasi Sistem.....	111

4.7.1	Integrasi Hasil Analisis Multi-Dimensi.....	111
4.7.2	Evaluasi Kinerja Sistem Terintegrasi	113
4.7.3	Roadmap Pengembangan Sistem Energi	114
4.7.4	Perbandingan Hasil Penelitian dan Publikasi Awal.....	115
BAB 5 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI		117
5.1	Kesimpulan	117
5.2	Rekomendasi.....	119
DAFTAR PUSTAKA		122
LAMPIRAN.....		124



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Struktur Sistem Energi Gedung Trinity Tower.....	61
Tabel 4. 2 Perbandingan Baseline dan Konsumsi Energi Aktual Gedung Trinity Tower.....	69
Tabel 4. 3 Rekapitulasi Hasil Pengukuran Kualitas Daya Listrik Gedung Trinity Tower.....	78
Tabel 4. 4 Evaluasi Hasil Pengukuran terhadap Standar IEEE 519 dan Kriteria Engineering.	79
Tabel 4. 5 Risk Assessment Sistem Kelistrikan	87
Tabel 4. 6 Konfigurasi Model KNN.....	89
Tabel 4. 7 Fitur Input Model KNN.....	90
Tabel 4. 8 Klasifikasi kondisi Energi Berbasis KNN (R3)	92
Tabel 4. 9 Confusion Matrix dan Evaluasi Akurasi Model KNN	95
Tabel 4. 10 Identifikasi Change Point Berdasarkan Kurva CUSUM.....	101
Tabel 4. 11 Perhitungan Reduksi Emisi Karbon Bulanan Berdasarkan Saving Energi	104
Tabel 4. 12 Benchmark Intensitas Emisi Karbon (R3)	107
Tabel 4. 13 SDGs Contribution.....	109
Tabel 4. 14 Hasil Analisis Multi Dimensi	111
Tabel 4. 15 Hasil Analisis.....	112
Tabel 4. 16 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Publikasi Awal.....	116

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Arsitektur EMS–BMS Gedung Trinity Tower.....	12
Gambar 4. 1	Diagram Alur Sistem Energi (Energy Flow Diagram). Sumber: Hasil Analisis Data Sheet Trinity Tower R3(2026)	58
Gambar 4. 2	Profil Beban Harian.....	64
Gambar 4. 3	Grafik Perbandingan Baseline dan Konsumsi Energi Aktual Gedung Trinity Tower.....	70
Gambar 4. 4	Grafik Rasio Konsumsi Energi terhadap Okupansi	71
Gambar 4. 5	Distribusi Beban Energi Gedung Trinity Tower.....	75
Gambar 4. 6	Hubungan Konsumsi Energi terhadap Okupansi Gedung Trinity Tower	76
Gambar 4. 7	Perbandingan Nilai THDv dan THDi terhadap Batas Standar IEEE 519.....	80
Gambar 4. 8	Monitoring Aktual THDv dan THDi pada Panel PF Controller.....	81
Gambar 4. 9	Perbandingan Nilai Power Factor terhadap Kriteria Engineering....	82
Gambar 4. 10	Diagram Sumber Harmonisa (Block Diagram).....	84
Gambar 4. 11	Diagram Dampak Harmonisa terhadap Sistem Energi.....	85
Gambar 4. 12	Visualisasi Cluster Konsumsi Energi Berbasis KNN.....	93
Gambar 4. 13	Integrasi KNN dalam EMS (System Diagram.	97
Gambar 4. 14	Grafik CUSUM Saving Kumulatif Energi Trinity Tower (Jan–Dec 2025).	99
Gambar 4. 15	Grafik Emisi Karbon Aktual vs Baseline	106
Gambar 4. 16	Benchmark Carbon Intensity (Bar Chart).	107
Gambar 4. 17	Grafik Korelasi Energi vs Emisi (Scatter Plot).....	109
Gambar 4. 18	Framework Integrasi Analisis Energi.	113
Gambar 4. 19	Roadmap Pengembangan Sistem Energi.....	115

DAFTAR SINGKATAN

AI	Artificial Intelligence
AHU	Air Handling Unit
BMS	Building Management System
CCE	Cost of Conserved Energy
CO ₂	Carbon Dioxide
COP	Coefficient of Performance
CUSUM	Cumulative Sum
DDC	Direct Digital Control
EEI	Energy Efficiency Index
EMS	Energy Management System
ESG	Environmental, Social, and Governance
EUI	Energy Use Intensity
ESDM	Energi dan Sumber Daya Mineral
GHG	Greenhouse Gas
GRK	Gas Rumah Kaca
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol
ISO	International Organization for Standardization
KNN	K-Nearest Neighbor
KPI	Key Performance Indicator
MVAC	Mechanical Ventilation and Air Conditioning
MVMDB	Medium Voltage Main Distribution Board
NDC	Nationally Determined Contribution
OA	Outside Air
PF	Power Factor
PLC	Programmable Logic Controller

PLN	Perusahaan Listrik Negara
PQ	Power Quality
R3	Revision 3 Dataset
RMS	Root Mean Square
RT	Refrigeration Ton
RUEN	Rencana Umum Energi Nasional
SDGs	Sustainable Development Goals
THDi	Total Harmonic Distortion Current
THDv	Total Harmonic Distortion Voltage
VAV	Variable Air Volume
VSD	Variable Speed Drive



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Site Plan dan Elevasi Gedung Trinity Tower.....	124
Lampiran 2. SLD dan Legend BMS Gedung Trinity Tower Jakarta	125
Lampiran 3. Diagram Kontrol BMS – FCU, AHU, PAU, dan Chiller System Gedung Trinity Tower Jakarta.....	126
Lampiran 4. Diagram Kontrol BMS - Cooling Tower, Fan, Plumbing dan Water Tank System Gedung Trinity Tower Jakarta	127
Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian di Ruang Kontrol EMS-BMS Trinity Tower	128
<i>Lampiran 6. Main Single Line Diagram - Electrical System Gedung Trinity Tower Jakarta.....</i>	<i>129</i>
Lampiran 7. Dokumentasi Ruang Utilitas Gedung Trinity Tower Jakarta.....	130
Lampiran 8. Dokumentasi Chiller Room Gedung Trinity Tower Jakarta	131
Lampiran 9. AHU System – Ground Floor Services Trinity Tower Jakarta	132
Lampiran 10. PLN Bill Trinity Tower Desember 2025	133
Lampiran 11. Electricity Bill Tenant Shimizu Corporation	134
Lampiran 12. Rekapitulasi Data Building Utility (R3) dan VSD Log Desember 2025.....	135
Lampiran 13. Rekapitulasi Data Operasional MVAC, Temperature & Humidity, and Hourly Report MVMDB (R3).....	136
Lampiran 14. Analisis Energi dan Daya Listrik - R3 (Trinity Tower) Januari 2025 – Desember 2025.....	137
Lampiran 15. Daily Electricity Consumption Chart	138

ABSTRAK

OPTIMALISASI EMS–BMS BERBASIS DATA UNTUK EFISIENSI ENERGI, KUALITAS DAYA LISTRIK, DAN REDUKSI EMISI KARBON PADA GEDUNG PERKANTORAN PREMIUM (STUDI KASUS: TRINITY TOWER JAKARTA)

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi implementasi sistem Energy Management System (EMS) yang terintegrasi dengan Building Management System (BMS) terhadap efisiensi energi, kualitas daya listrik, dan reduksi emisi karbon pada Gedung Trinity Tower Jakarta. Penelitian dilakukan menggunakan data operasional aktual gedung selama periode Januari–Desember 2025 dengan pendekatan analisis berbasis data (data-driven analysis). Metode penelitian meliputi analisis konsumsi energi, kualitas daya listrik, KNN, CUSUM, dan evaluasi emisi karbon berbasis data operasional aktual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi EMS–BMS mampu menghasilkan penghematan energi sebesar $\pm 1.356.577$ kWh/tahun dengan efisiensi energi sekitar ± 14 – 15% . Nilai Energy Efficiency Index (EEI) gedung tercatat sebesar ± 106 kWh/m²/tahun yang menunjukkan kategori efficient building. Analisis kualitas daya menunjukkan nilai THDv sebesar 3–5%, THDi sebesar 5–8%, dan Power Factor sebesar $\pm 0,95$ yang masih memenuhi standar IEEE 519. Penghematan energi tersebut memberikan dampak ekonomi berupa pengurangan biaya listrik sekitar \pm Rp 1,5 miliar per tahun dan reduksi emisi karbon sebesar ± 1.153 ton CO₂ per tahun. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi EMS–BMS berbasis data mampu meningkatkan efisiensi energi, menjaga kualitas daya listrik tetap stabil, serta mendukung strategi keberlanjutan dan dekarbonisasi pada gedung perkantoran modern.

Kata Kunci: EMS–BMS, Efisiensi Energi, Kualitas Daya, KNN, CUSUM, Emisi Karbon.

ABSTRACT

DATA-DRIVEN EMS–BMS OPTIMIZATION FOR ENERGY EFFICIENCY, POWER QUALITY, AND CARBON EMISSION REDUCTION IN A PREMIUM OFFICE BUILDING (CASE STUDY: TRINITY TOWER JAKARTA)

This research aims to evaluate the implementation of an Energy Management System (EMS) integrated with a Building Management System (BMS) toward energy efficiency, electrical power quality, and carbon emission reduction in Trinity Tower Jakarta. The study was conducted using actual building operational data from January to December 2025 through a data-driven analysis approach. The research methods include energy consumption analysis, power quality evaluation (THDv, THDi, and Power Factor), KNN classification, CUSUM analysis, and carbon emission evaluation based on actual operational data. In addition, the impact of energy efficiency on carbon emission reduction was evaluated using the PLN electricity emission factor. The results indicate that the implementation of EMS–BMS achieved energy savings of approximately $\pm 1,356,577$ kWh/year with an energy efficiency improvement of about ± 14 – 15% . The building's Energy Efficiency Index (EEI) was approximately 106 kWh/m²/year, indicating an efficient building category. Power quality analysis showed THDv values of 3 – 5% , THDi values of 5 – 8% , and a Power Factor of approximately ± 0.95 , which still comply with IEEE 519 standards. The achieved energy savings also generated economic benefits through electricity cost reduction of approximately \pm Rp 1.5 billion per year and carbon emission reduction of approximately $1,153$ tons CO₂ per year. This research demonstrates that data-driven EMS–BMS integration supports energy efficiency improvement, power quality stability, and carbon reduction strategies in modern office buildings.

Keywords: EMS–BMS, Energy Efficiency, Power Quality, KNN, CUSUM, Carbon Emission.