



**RANCANG BANGUN WEBSITE OPTIMASI BTS 4G
BERDASARKAN 5 ALGORITMA *MACHINE LEARNING***

SKRIPSI

**AISYAH ALHUMAIRO
2110314035**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
2026**



**RANCANG BANGUN WEBSITE OPTIMASI BTS 4G
BERDASARKAN 5 ALGORITMA *MACHINE LEARNING***

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik**

**AISYAH ALHUMAIRO
2110314035**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
2026**

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi yang diajukan oleh:

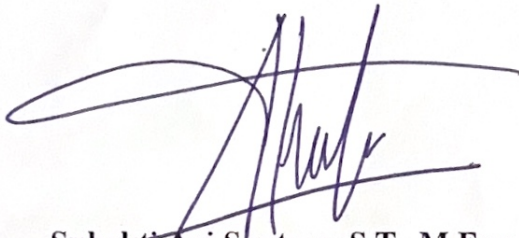
Nama : Aisyah Alhumairo
NIM : 2110314035
Program Studi : S1 – Teknik Elektro
Judul Skripsi : RANCANG BANGUN WEBSITE OPTIMASI BTS 4G
BERDASARKAN 5 ALGORITMA *MACHINE
LEARNING*

telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



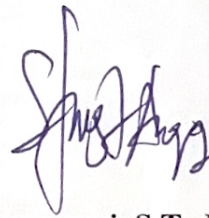
Ayu Mika Sherila, S.T., M.T.

Penguji Utama



Subekti Ari Santoso, S.T., M.Eng.

Penguji Lembaga



Silvia Anggraeni, S.T., M.Sc., Ph.D

Penguji I (Pembimbing)



Dr. Eng. Jr. Teguh Firmansyah, S.T.,
M.T., IPM

Dekan Fakultas Teknik



Luh Krisnawati, S.T., M.T.

Koordinator Program Studi
Teknik Elektro

Ditetapkan di: Jakarta

Tanggal Ujian: 13 Januari 2026

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI

**RANCANG BANGUN WEBSITE OPTIMASI BTS 4G
BERDASARKAN 5 ALGORITMA *MACHINE LEARNING***

Aisyah Alhumairo

NIM. 2110314035

Disetujui oleh,

Pembimbing I



Silvia Anggraeni, S.T., M.Sc., Ph.D.

Pembimbing II



Dr. M. Alif Razi, S.Pi, M.Sc.

Mengetahui,

Kepala Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta



Luh Krisnawati. S.T., M.T.

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan semua sumber yang dikutip ataupun digunakan sebagai rujukan telah saya nyatakan benar.

Nama : Aisyah Alhumairo
NIM : 2110314035
Program Studi : S1 – Teknik Elektro

Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 13 Januari 2026

Yang menyatakan,



Aisyah Alhumairo

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai *civitas academica* Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta,
saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aisyah Alhumairo

NIM : 21103104035

Program Studi : S1 – Teknik Elektro

menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

RANCANG BANGUN WEBSITE OPTIMASI BTS 4G BERDASARKAN 5 ALGORITMA MACHINE LEARNING

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola (dalam bentuk pangkalan data, merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 13 Januari 2026

Yang menyatakan,



Aisyah Alhumairo

RANCANG BANGUN WEBSITE OPTIMASI BTS 4G BERDASARKAN 5 ALGORITMA MACHINE LEARNING

Aisyah Alhumairo

ABSTRAK

Peningkatan trafik data di wilayah Jabodetabek menuntut infrastruktur jaringan 4G LTE yang stabil dan andal. Namun, penanganan gangguan jaringan (*network fault*) secara manual sering kali lambat dan tidak efisien. Penelitian ini bertujuan merancang sistem rekomendasi berbasis *Artificial Intelligence* (AI) untuk mendukung otomatisasi *Self-Healing* dalam kerangka kerja *Self-Organizing Network* (SON). Sistem dikembangkan dalam bentuk *website* interaktif menggunakan *framework* Streamlit yang mengintegrasikan data *Coverage Monitoring* (CovMo), *Incident Logs*, dan *Metadata* BTS. Penelitian ini membandingkan performa lima algoritma *Machine Learning*, yaitu *Logistic Regression*, *Support Vector Machine* (SVM), *K-Nearest Neighbors* (KNN), *Random Forest*, dan XGBoost, dengan penerapan teknik *resampling* untuk mengatasi ketidakseimbangan data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa XGBoost merupakan model terbaik dengan skor komposit 0,853, AUC-ROC sebesar 0,976, dan *Recall* 0,864. Dari total 2.668 data observasi, sistem berhasil mengidentifikasi 597 situs (22,4%) yang membutuhkan optimasi dan menghasilkan 1.819 rekomendasi tindakan teknis. Mayoritas rekomendasi berfokus pada optimasi cakupan (*coverage*) sebesar 40,7%, di mana 68% dari total tindakan dapat dieksekusi secara otomatis atau jarak jauh (*remote*). Implementasi sistem ini menunjukkan efektivitas dalam memprioritaskan penanganan gangguan kritis dan mendukung efisiensi operasional jaringan.

Kata Kunci: *4G LTE, Machine Learning, Self-Healing, Self-Organizing Network (SON), Streamlit, XGBoost.*

DESIGN AND DEVELOPMENT OF 4G BTS OPTIMIZATION WEBSITE BASED ON 5 MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Aisyah Alhumairo

ABSTRACT

The surge in data traffic within the Jabodetabek area demands a stable and reliable 4G LTE network infrastructure. However, manual handling of network faults is often slow and inefficient. This study aims to design an AI-based recommendation system to support Self-Healing automation within the Self-Organizing Network (SON) framework. The system is developed as an interactive website using the Streamlit framework, integrating Coverage Monitoring (CovMo) data, Incident Logs, and BTS Metadata. This research compares the performance of five Machine Learning algorithms: Logistic Regression, Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN), Random Forest, and XGBoost, utilizing resampling techniques to address data imbalance. The results demonstrate that XGBoost is the champion model, achieving a composite score of 0.853, an AUC-ROC of 0.976, and a Recall of 0.864. Out of 2,668 observations, the system successfully identified 597 sites (22.4%) requiring optimization and generated 1,819 technical action recommendations. The majority of recommendations focused on coverage optimization (40.7%), with 68% of total actions being executable automatically or remotely. The implementation of this system has proven effective in prioritizing critical fault resolution and enhancing network operational efficiency.

Keywords: *4G LTE, Machine Learning, Self-Healing, Self-Organizing Network (SON), Streamlit, XGBoost.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis diberikan kekuatan, kesabaran, dan kemudahan untuk menyelesaikan skripsi yang berjudul "Rancang Bangun Website Optimasi BTS 4G Berdasarkan 5 Algoritma Machine Learning". Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang menjadi suri teladan bagi umat manusia.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta. Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Kedua Orang Tua tercinta, Ayah dan Ibu. Terima kasih yang tak terhingga atas doa yang tidak pernah putus di setiap sujudnya, kasih sayang, kesabaran, serta dukungan materi dan moril yang luar biasa. Kalian adalah alasan utama penulis untuk terus berjuang menyelesaikan pendidikan ini.
2. Ibu Silvia Anggraeni, S.T., M.Sc., Ph.D dan Bapak Dr. M. Alif Razi, S.Pi, M.Sc selaku dosen pembimbing. Terima kasih atas waktu, ilmu, kesabaran, dan bimbingannya dalam mengarahkan penulis mulai dari awal hingga selesainya penelitian ini.
3. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi Teknik Elektro UPN "Veteran" Jakarta yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bantuan administrasi selama masa perkuliahan.
4. Keluarga besar penulis, terima kasih atas semangat dan doa yang selalu menyertai langkah penulis.
5. Teman-teman seperjuangan dan tempat berkeluh kesah: Launy, Pupi, Alifah, Shafa Erin, Shafira Izzati, Chattelin, Iul, Rania, Raissa, Cantika, teman-teman Machaem ID serta kawan Aliansi. Terima kasih sudah

menjadi pendengar setia drama pengerjaan skripsi ini, atas tawa, dukungan, dan kewarasan yang kalian jaga.

6. Teman-teman seperjuangan S1 Teknik Elektro Angkatan 2021, terima kasih atas solidaritas, diskusi, dan bantuan teknisnya selama kita berjuang bersama di kampus tercinta.
7. *Last but not least*, untuk seluruh sumber kebahagiaan dan distraksi terbaikku (*my fangirl hyperfixations*). Terima kasih kepada para musisi, penulis buku, dan atlet favorit yang karyanya telah menemani malam-malam panjang *coding* dan menulis laporan. Musik, buku, dan pertandingan kalian adalah *mood booster* terbaik yang menjaga kewarasan penulis agar tetap semangat ("*keep me going*") hingga garis finis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang telekomunikasi dan kecerdasan buatan.

Jakarta, Januari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI.....	ii
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terkait.....	7
2.1.1 Analisis Penelitian Terdahulu.....	10
2.2 Konsep Jaringan 4G LTE dan Arsitektur BTS	15
2.2.1 Struktur Dasar Jaringan LTE	15
2.2.2 Parameter Kualitas Sinyal: RSRP, RSRQ, SINR.....	19
2.2.3 Masalah Operasional pada BTS 4G.....	20
2.3 Self Healing berbasis Self-Organizing Network (SON).....	22
2.3.1 Konsep dan Pilar Self-Organizing Network (SON)	23
2.3.2 Tantangan Implementasi SON di Indonesia	24
2.5 Pendekatan Berbasis Data dan Tantangan Ketidakseimbangan Kelas	24
2.5.1 Aset Data Operasional: CovMo, Incident Logs, dan Metadata	24
2.5.2 Ketidakseimbangan Kelas (Imbalanced Data).....	25
2.5.3 Teknik Resampling	25
2.6 Algoritma dan Evaluasi <i>Machine Learning</i>	27
2.6.1 Algoritma <i>Machine Learning</i>	27

2.6.2 Evaluasi Performa (F1, G-mean, AUC)	33
2.7 Arsitektur dan Teknologi <i>Website</i> untuk Sistem Rekomendasi.....	34
2.7.1 Arsitektur Website dan Integrasi Machine Learning	34
2.7.2 <i>Website</i> sebagai Sarana Operasionalisasi Sistem	35
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	36
3.1 Alur Penelitian	36
3.2 Identifikasi Masalah.....	37
3.3 Studi Literatur	37
3.4 Input Data	37
3.4.1 Sumber Data	38
3.4.2 Sintesis Data	38
3.5 Arsitektur Sistem dan Alur Data.....	39
3.6 <i>Preprocessing</i> Data.....	42
3.6.1 Pembersihan dan Persiapan Data.....	42
3.6.2 Pembersihan dan Penambahan Fitur.....	43
3.6.3 Normalisasi, Resampling, dan Anonimisasi.....	43
3.7 Pengembangan Sistem	44
3.7.1 Proses Training Machine Learning Model	44
3.7.2 Sistem Rekomendasi Berdasarkan Aturan.....	45
3.8 Desain <i>Website</i>	46
3.9 Analisis Hasil.....	47
3.9.1 Analisis Hasil Prediksi ML.....	48
3.9.2 Analisis Rekomendasi Optimasi.....	48
3.9.3 Analisis Komparasi Performa Model	49
3.10 Pengumpulan Data.....	50
3.10.1 Data BTS yang Perlu Dioptimasi	50
3.10.2 Data BTS yang Tidak Perlu Dioptimasi	51
3.10.3 Data Hasil Rekomendasi Optimasi.....	52
3.11 Tempat dan Waktu Penelitian.....	53
3.12 Jadwal Penelitian	53
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
4.1 Gambaran Umum Pipeline Sistem.....	54

4.2 Hasil Resampling Data Incident	55
4.3 Hasil Resampling Data Coverage Monitoring (CovMo).....	57
4.4 Hasil Anonimisasi Data	58
4.5 Hasil <i>Feature Engineering</i>	59
4.6 Hasil <i>Iterative Validation Loop</i>	60
4.7 Hasil Perbandingan Model Machine Learning	61
4.7.1 <i>Confusion Matrix</i> Model XGBoost	62
4.7.2 ROC Curve Model XGBoost.....	64
4.8 Distribusi Hasil Prediksi	66
4.9 Distribusi Priority Tier Rekomendasi	67
4.10 Kategori Rekomendasi Optimasi	67
4.10 Hasil Integrasi Sistem	69
4.11 <i>Dashboard</i> Visualisasi.....	69
BAB 5 PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Logistic Regression	29
Gambar 2.2 K-Nearest Neighbors (KNN).....	30
Gambar 2.3 Support Vector Machine	30
Gambar 2.4 Random Forest	31
Gambar 2.5 XGBoost.....	32
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	36
Gambar 3.2 Diagram Alur Data	40
Gambar 3.3 Desain Website.....	47
Gambar 4.1 Confusion Matrix Model XGBoost.....	62
Gambar 4.2 ROC Curve Model XGBoost dengan $AUC = 0,987$	64
Gambar 4.3 Tampilan Halaman Overview	70
Gambar 4.4 Tampilan Halaman Analysis	71
Gambar 4.5 Tampilan Halaman Recommendation	71
Gambar 4.6 Tampilan Halaman Report	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	7
Tabel 2.2 Karakteristik Teknis Jaringan LTE	16
Tabel 2.3 Fungsi Komponen Utama Jaringan LTE	17
Tabel 2.4 Perbandingan Karakteristik Cell Types pada LTE.....	18
Tabel 2.5 Rentang Nilai Parameter Kualitas Sinyal LTE	20
Tabel 2.6 Perbandingan Model	32
Tabel 3.1 Sumber dan Karakteristik Data	38
Tabel 3.2 Aturan dan Rekomendasi Berbasis Pakar	46
Tabel 3.3 Tabel Evaluasi Metrik	48
Tabel 3.4 Tabel Evaluasi Metrik Rekomendasi	49
Tabel 3.5 BTS Perlu dioptimasi	50
Tabel 3.6 BTS Tidak Perlu dioptimasi.....	51
Tabel 3.7 Hasil Rekomendasi Optimasi.....	52
Tabel 3.8 Jadwal Penelitian.....	53
Tabel 4.1 Ringkasan Tahapan Pipeline dan Fungsinya	54
Tabel 4.2 Hasil Resampling Data Incident November 2023.....	56
Tabel 4.3 Hasil Resampling Data CovMo dengan Rolling Window Evaluation .	57
Tabel 4.4 Hasil Tahapan Anonimisasi Data Terintegrasi	58
Tabel 4.5 Distribusi dan Kategori Feature Engineering.....	59
Tabel 4.6 Hasil Iterative Validation Loop.....	60
Tabel 4.7 Perbandingan Performa Model Machine Learning dengan Composite Score.....	61
Tabel 4.8 Distribusi Hasil Prediksi Binary Classification	66
Tabel 4.9 Distribusi Priority Tier dengan SLA Response Time	67
Tabel 4.10 Distribusi Kategori Rekomendasi dengan Automation Status.....	68
Tabel 4.11 Complete Output File Structure dari Integrated System	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Main Pipeline Orchestrator.....	81
Lampiran 2. Covmo Analysis Module.....	87
Lampiran 3. Incident Analysis Module.....	92
Lampiran 4. Data Integration Module.....	98
Lampiran 5. Anonymization Module.....	102
Lampiran 6. Feature Engineering.....	108
Lampiran 7. Machine Learning Pipeline.....	113
Lampiran 8. Recommendation Engine.....	119
Lampiran 9. Hasil Eksperimen.....	126