



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PERANCANGAN SIMULASI PROSES HANDOVER
JARINGAN SELULER 4G LTE MENGGUNAKAN METODE
MACHINE LEARNING BERBASIS MATLAB GUI**

TUGAS AKHIR

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**AHMAD GILMAN
NIM : 2303332025**

**PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PERANCANGAN SIMULASI PROSES HANDOVER
JARINGAN SELULER 4G LTE MENGGUNAKAN METODE
MACHINE LEARNING BERBASIS MATLAB GUI**

**“PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ALGORITMA DECISION
TREE BERBASIS MACHINE LEARNING UNTUK
KEPUTUSAN HANDOVER PADA JARINGAN SELULER 4G LTE”**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Diploma Tiga (D3)**

AHMAD GILMAN

NIM: 2303332025

**PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



HALAMAN PERNYATAAN ORISINIL

Tugas Akhir adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Ahmad Gilman

NIM : 2303332025

Tanda Tangan :

Tanggal : 7 Juli 2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

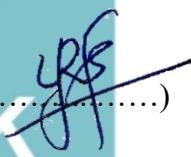
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Ahmad Gilman
NIM : 2303332025
Program Studi : Telekomunikasi
Judul Tugas Akhir : Perancangan Simulasi Proses *Handover* Jaringan Seluler 4G LTE Menggunakan Metode *Machine Learning* Berbasis MATLAB GUI “Perancangan Dan Implementasi Algoritma *Decision Tree* Berbasis *Machine Learning* Untuk Keputusan *Handover* Pada Jaringan Seluler 4G LTE”

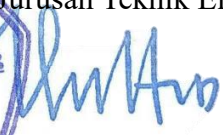
Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 7 Juli 2026, dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing : Dr. Yenniwarti Rafsyam, SST., M.T. (.....) 
NIP. 196806271993032002

Depok, 24 Juli 2026

Disahkan oleh
Ketua Jurusan Teknik Elektro




Dr. Murie Dwiyanti, S.T., M.T.
NIP. 197803312003122001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Diploma Tiga (D3) pada Program Studi Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.

Judul Tugas Akhir yang dibuat adalah Perancangan Simulasi Proses *Handover* Jaringan Seluler 4G LTE Menggunakan Metode *Machine Learning* Berbasis MATLAB GUI “Perancangan Dan Implementasi Algoritma *Decision Tree* Berbasis *Machine Learning* Untuk Keputusan *Handover* Pada Jaringan Seluler 4G LTE”.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Yenniwarti Rafsyam, SST., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing penulis dan memberikan seluruh ilmu pengetahuan.
2. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan semangat, doa, bantuan, dukungan material dan moral.
3. I Nyoman Shava W.U selaku *partner* Tugas Akhir yang telah memberikan semangat, doa dan banyak bantuan dalam pembuatan Tugas Akhir ini.
4. Teman yang telah memberikan semangat dan doa sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Tangerang, 7 Juli 2026

Ahmad Gilman



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRAK

Mahasiswa dan pengguna umum sering kali tidak mengetahui bagaimana proses handover sebenarnya terjadi ketika berpindah lokasi dalam jaringan Seluler 4G LTE, dan ketiadaan media visualisasi interaktif menjadi kendala utama dalam memahami proses ini. Penelitian ini bertujuan membangun aplikasi simulasi handover berbasis MATLAB GUI sebagai media pembelajaran visual interaktif, dengan mengintegrasikan model Machine Learning berbasis Decision Tree (DT) sebagai algoritma pengambilan keputusan handover. Data penelitian diperoleh dari hasil drive test jaringan 4G LTE di area Universitas Indonesia dan Politeknik Negeri Jakarta, menghasilkan 20.856 data mentah yang setelah melalui proses preprocessing dan deduplikasi per epoch pengukuran menghasilkan 2.010 sampel unik. Tujuh fitur digunakan sebagai masukan model, meliputi RSRP (-108 hingga -53 dBm), RSRQ (-20 hingga -3 dB), SINR (-8 hingga 30 dB), kecepatan UE (0–11,8 m/s), RSRP neighbor terkuat, selisih RSRP neighbor terhadap serving cell (*rsrp_diff*), dan jumlah neighbor yang terdeteksi. Dataset dibagi dengan rasio 80:20 menggunakan metode stratified hold-out, dengan oversampling diterapkan khusus pada data training untuk menangani ketidakseimbangan kelas. Hasil evaluasi pada data testing menggunakan confusion matrix menunjukkan performa baik, dengan akurasi 91,29%, precision 0,6883, recall 0,8281, dan F1-score 0,7518, sebagaimana dibahas lebih rinci pada Bab IV. Model menunjukkan kinerja baik saat diuji pada data baru dan mampu menampilkan status keputusan handover pada lintasan uji secara visual melalui MATLAB GUI.

Kata Kunci: *Handover*, 4G LTE, *Decision Tree*, *Machine Learning*, MATLAB GUI.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

Students and general users often do not understand how the handover process actually occurs when moving between locations within a 4G LTE cellular network, and the absence of an interactive visualization medium is a major obstacle to understanding this process. This research aims to build a MATLAB GUI-based handover simulation application as an interactive visual learning medium, integrating a Machine Learning model based on Decision Tree (DT) as the handover decision-making algorithm. The research data was obtained from drive test results of a 4G LTE network in the areas of Universitas Indonesia and Politeknik Negeri Jakarta, producing 20,856 raw data points which, after preprocessing and deduplication per measurement epoch, resulted in 2,010 unique samples. Seven features were used as model inputs, including RSRP (-108 to -53 dBm), RSRQ (-20 to -3 dB), SINR (-8 to 30 dB), UE speed (0–11.8 m/s), strongest neighbor RSRP, the difference between neighbor and serving cell RSRP (rsrp_diff), and the number of detected neighbors. The dataset was split with an 80:20 ratio using a stratified hold-out method, with oversampling applied specifically to the training data to address class imbalance. Evaluation results on the testing data using a confusion matrix showed good performance, with an accuracy of 91.29%, precision of 0.6883, recall of 0.8281, and F1-score of 0.7518, as discussed in more detail in Chapter IV. The model demonstrated good performance when tested on new data and was able to display handover decision status along the tested trajectory visually through the MATLAB GUI.

Keywords: Handover, 4G LTE, Decision Tree, Machine Learning, MATLAB GUI.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINIL	iii
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR PERSAMAAN	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Luaran	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Jaringan 4G LTE	3
2.2 Konsep <i>handover</i> pada Jaringan LTE	3
2.2.1 Jenis-Jenis <i>Handover</i>	4
2.2.2 Mekanisme Pemicu <i>handover</i> LTE	4
2.3 Parameter Kualitas Sinyal LTE	5
2.3.1 <i>Reference Signal Received Power</i> (RSRP)	5
2.3.2 <i>Reference Signal Received Quality</i> (RSRQ)	6
2.3.3 <i>Signal to Interference plus Noise Ratio</i> (SINR)	6
2.4 <i>Drive Test</i>	7
2.5 <i>Network Survey</i>	7
2.6 <i>Dataset Handover</i>	8
2.7 <i>Preprocessing Data</i>	8
2.8 <i>Feature engineering</i>	8
2.9 <i>Machine Learning</i>	9
2.10 <i>Supervised Learning</i>	9
2.11 Algoritma <i>Decision Tree</i> (DT)	10
2.11.1 Kriteria Pemisahan <i>Decision Tree</i>	10
2.11.2 <i>Pruning</i> dan <i>Cross-validation</i>	13
2.11.3 Klasifikasi <i>handover</i> Menggunakan <i>Decision Tree</i>	13
2.12 <i>Confusion matrix</i> dan <i>Metrik Evaluasi Model</i>	13
2.12.1 <i>Confusion matrix</i>	13
2.12.2 <i>Accuracy</i>	13
2.12.3 <i>Precision</i>	14
2.12.4 <i>Recall</i>	14
2.12.5 <i>F1-score</i>	15
2.13 MATLAB	15

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.13.1	MATLAB <i>Workspace</i> dan Lingkungan Pengembangan	15
2.13.2	MATLAB <i>script</i>	16
2.13.3	<i>Statistics and Machine Learning Toolbox</i>	17
2.13.4	MATLAB App Designer	18
2.13.5	Komponen <i>App Designer</i>	18
2.13.6	<i>Callback Function</i>	19
2.13.7	<i>Timer</i> pada <i>App Designer</i>	19
BAB III	PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	21
3.1	Perancangan Sistem Simulasi <i>Handover</i>	21
3.1.1	Deskripsi Sistem	21
3.1.2	Cara Kerja Sistem	22
3.1.3	Spesifikasi Sistem	23
3.1.4	Diagram Blok Sistem	24
3.1.5	Perancangan <i>Dataset Handover</i>	25
3.2	Implementasi Sistem	25
3.2.1	Pengambilan Data <i>Drive test</i>	26
3.2.2	<i>Preprocessing Dataset</i>	28
3.2.3	<i>Feature engineering</i>	32
3.2.4	<i>Training dan Testing Model Decision Tree</i>	37
BAB IV	PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	43
4.1	Hasil Pembuatan <i>Dataset</i>	43
4.1.1	Hasil Pengumpulan Data menggunakan <i>Drive Test</i>	43
4.1.2	Hasil Pengujian <i>Preprocessing</i> dan <i>Feature engineering</i>	44
4.1.3	Karakteristik <i>Dataset Final</i>	48
4.2	Hasil Pengujian <i>Training Model Decision Tree</i>	50
4.2.1	Optimasi Hyperparameter	50
4.2.2	Pemilihan <i>Threshold</i>	51
4.2.3	Visualisasi Pohon Keputusan	51
4.2.4	<i>Feature importance</i>	52
4.2.5	Hasil Evaluasi Model Menggunakan <i>Confusion matrix</i>	54
4.3	Hasil Pengujian Performa Model DT pada Data Uji Baru	55
4.3.1	Hasil Pengujian Model DT Data Uji Baru 1	56
4.3.2	Hasil Pengujian Model DT Data Uji Baru 2	59
4.4	Analisis Hasil Keseluruhan	63
BAB V	PENUTUP	66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran	66
	DAFTAR PUSTAKA	67
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS	69
	LAMPIRAN	70



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kategori Kualitas Sinyal Berdasarkan RSRP.....	5
Tabel 2.2	Kategori Kualitas Sinyal Berdasarkan RSRQ.....	6
Tabel 2.3	Kategori Kualitas Sinyal Berdasarkan SINR	6
Tabel 3.1	Spesifikasi Sistem	23
Tabel 3.2	Fitur <i>Input Decision Tree</i>	25
Tabel 3.3	Ringkasan <i>Dataset Hasil Drive test</i>	28
Tabel 4.1	Cuplikan Data Mentah Hasil <i>Drive Test</i>	44
Tabel 4.2	Cuplikan Data <i>Serving cell Hasil Preprocessing</i>	45
Tabel 4.3	Hasil <i>Preprocessing Data Neighbor cell</i>	45
Tabel 4.4	Tabel Statistik Deskriptif.....	46
Tabel 4.5	Definisi Fitur <i>Input Model Decision Tree</i>	47
Tabel 4.6	Cuplikan <i>Dataset Final Hasil Feature engineering dan Pelabelan</i>	48
Tabel 4.7	<i>Feature importance Model Decision Tree</i>	53
Tabel 4.8	Metrik Evaluasi Model <i>Decision Tree</i> pada Data <i>Testing</i>	55
Tabel 4.9	Konfigurasi dan Hasil Skenario 1 (Rute Pendek)	56
Tabel 4.10	<i>Log Keputusan Handover Skenario 1</i>	57
Tabel 4.11	Konfigurasi dan Hasil Skenario 2 (Rute Panjang)	59
Tabel 4.12	<i>Log Keputusan Handover Model Decision Tree Skenario 2</i>	60
Tabel 4.13	Perbandingan Hasil Pengujian Simulasi <i>Handover</i> Kedua Skenario..	62

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tampilan MATLAB <i>App Designer</i> R2026a.....	16
Gambar 2.2	Tampilan MATLAB <i>Editor</i>	17
Gambar 2.3	Tampilan MATLAB <i>App Designer</i> R2026a.....	18
Gambar 2.4	Tampilan <i>Code View App Designer</i>	19
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Cara Kerja Sistem Simulasi <i>Handover</i>	22
Gambar 3.2	Diagram Blok Sistem	24
Gambar 3.3	Tampilan Aplikasi <i>Network Survey</i>	26
Gambar 3.4	Rute Pengambilan Data <i>Drive test</i>	27
Gambar 3.5	<i>Flowchart Preprocessing Dataset</i>	29
Gambar 3.6	<i>Flowchart Feature engineering</i>	33
Gambar 4.1	Hasil <i>Preprocessing</i> dan <i>Feature engineering</i>	49
Gambar 4.2	Diagram Distribusi Label HO pada <i>Dataset Final</i>	49
Gambar 4.3	Grafik Optimasi <i>Hyperparameter MaxNumSplits</i>	50
Gambar 4.4	Grafik Pemilihan <i>Threshold Optimal</i>	51
Gambar 4.5	Visualisasi Struktur Pohon Keputusan (<i>Decision Tree</i>)	52
Gambar 4.6	<i>Bar Chart Feature importance</i> Model <i>Decision Tree</i>	53
Gambar 4.7	<i>Confusion matrix</i> Model <i>Decision Tree</i> pada Data <i>Testing</i>	54
Gambar 4.8	<i>Scatter Plot</i> Keputusan <i>Handover</i> Skenario 1.....	58
Gambar 4.9	<i>Scatter Plot</i> Keputusan <i>Handover</i> Skenario 2.....	61

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Menghitung nilai <i>Entropy</i>	10
Persamaan 2.2 Menghitung nilai <i>Information Gain</i>	11
Persamaan 2.3 Menghitung nilai <i>Gini Impurity</i>	12
Persamaan 2.4 Menghitung akurasi model <i>Accuracy</i>	14
Persamaan 2.5 Menghitung nilai <i>Precision</i>	14
Persamaan 2.6 Menghitung nilai <i>Recall</i>	15
Persamaan 2.7 Menghitung nilai <i>F1-Score</i>	15





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Listing Program Preprocessing Dataset</i>	70
Lampiran 2 <i>Listing Program Training Model Decision Tree</i>	73
Lampiran 3 <i>Log Hasil Simulasi</i>	80
Lampiran 4 Dokumentasi	82



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi komunikasi seluler mengalami kemajuan pesat dalam beberapa dekade terakhir. Jaringan generasi keempat atau 4G *Long Term Evolution* (LTE) kini menjadi tulang punggung komunikasi bergerak di Indonesia maupun global. Data APJII (2024) menunjukkan pengguna internet Indonesia mencapai 221,56 juta jiwa dengan penetrasi 79,5%, yang mayoritas mengakses melalui perangkat seluler berbasis 4G LTE. Selain itu, BPS (2024) mencatat 68,65% penduduk telah menggunakan telepon seluler, dengan 4G/LTE sebagai teknologi dominan *mobile broadband*. Kondisi ini menuntut jaringan LTE mampu memberikan layanan yang stabil, berkelanjutan, dan berkualitas bagi pengguna yang terus bergerak.

Salah satu mekanisme penting dalam menjaga layanan bagi pengguna bergerak adalah proses *Handover*. Berdasarkan standar 3GPP TS 36.331 (2023), *handover* merupakan perpindahan koneksi aktif pengguna (*User Equipment/UE*) dari satu *eNodeB* ke *eNodeB* lain, yang dipicu oleh perbandingan kualitas sinyal *Serving cell* dan *Neighbor cell* menggunakan parameter RSRP dan RSRQ. Proses ini harus berlangsung secara mulus tanpa gangguan layanan.

Pada sistem LTE konvensional, keputusan *handover* masih menggunakan nilai ambang (*Threshold*) statis, yang kurang adaptif terhadap kondisi jaringan dinamis. Hal ini menimbulkan masalah seperti *Ping-pong effect* dan *too late handover* yang berdampak pada penurunan QoS (Alradwan et al., 2011). Penelitian Abdoulaziz et al. (2012) juga menunjukkan metode ini dapat meningkatkan *handover failure* hingga 80% dan *unnecessary handover* hingga 70%.

Seiring perkembangan kecerdasan buatan, pendekatan *Machine Learning* mulai banyak digunakan untuk optimasi *handover*. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode ML dapat meningkatkan QoE pengguna dan mengurangi *unnecessary handover* dibandingkan metode konvensional (Ali et al., 2016; Tezerjani et al., 2023). Namun, beberapa metode ML bersifat *black box* sehingga sulit dijelaskan secara teknis (Alraih et al., 2023).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Algoritma *Decision Tree* dipilih karena memiliki struktur pohon berbasis aturan *if-else*, sehingga keputusan yang dihasilkan lebih mudah dipahami. Metode ini juga telah digunakan dalam prediksi *handover* jaringan 4G dan mampu memberikan hasil klasifikasi yang cukup baik (Breiman et al., 2001).

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a) Bagaimana merancang dan membangun *dataset handover* jaringan 4G LTE untuk proses pelatihan model *Decision Tree*?
- b) Bagaimana menghasilkan model *Decision Tree* (DT) untuk menentukan keputusan *handover* dan tidak *handover* pada jaringan 4G LTE?
- c) Bagaimana menguji model menggunakan data baru serta menganalisis kinerjanya dalam pengambilan keputusan *handover*?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- 1) Dapat merancang dan membangun *dataset handover* jaringan 4G LTE yang digunakan untuk proses pelatihan model *Decision Tree*.
- 2) Dapat menghasilkan model *Decision Tree* (DT) untuk menentukan keputusan *handover* dan tidak *handover* pada jaringan 4G LTE.
- 3) Dapat menguji data baru, serta menganalisis kinerja model dalam pengambilan keputusan *handover*.

1.4 Luaran

Luaran dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a) Korpus *Dataset* untuk *Machine Learning* untuk prediksi *Handover*.
- b) Model algoritma *Decision Tree*.
- c) Laporan tugas akhir.
- d) Artikel ilmiah nasional terakreditasi.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Dataset handover* berhasil dibangun dari data *drive test* jaringan 4G LTE melalui proses *Preprocessing* dan *Feature engineering*, menghasilkan 2.010 sampel dengan tujuh fitur *input* dan label keputusan *handover* berdasarkan aturan *Event A3* standar 3GPP TS 36.331.
2. Model *Decision Tree* berhasil dilatih dan dievaluasi dengan nilai *accuracy* 91,29%, *precision* 0,6883, *recall* 0,8281, dan *F1-score* 0,7518 pada data *testing*, membuktikan model mampu mengklasifikasikan kondisi *handover* dengan baik.
3. Model *Decision Tree* berhasil diintegrasikan ke dalam simulasi MATLAB GUI dan terbukti mampu mengambil keputusan *handover* secara konsisten dan logis pada dua skenario rute yang berbeda. Model menghasilkan 15 keputusan *handover* pada rute pendek (9,36 km) dan 13 keputusan pada rute panjang (12,87 km), dengan pengurangan terhadap *Event A3* masing-masing sebesar 6,2% dan 35,0%. Tidak ditemukan satu pun kejadian *ping-pong handover* pada seluruh pengujian yang dilakukan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut. Pengujian sebaiknya dilakukan pada rute dengan kepadatan eNodeB yang lebih rendah agar model dapat diuji pada rentang kondisi sinyal yang lebih lemah, mengingat data simulasi pada penelitian ini hanya menjangkau RSRP hingga -85 dBm sedangkan data pelatihan mencakup hingga -117 dBm. Selain itu, eksplorasi algoritma *Machine Learning* lain seperti *Random Forest* atau *Neural Network* dapat dilakukan sebagai pembandingan performa. *Dataset* pelatihan juga dapat diperkaya dengan data dari area dan topologi jaringan yang lebih beragam agar model memiliki kemampuan generalisasi yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- 3GPP TS 36.214. (2017). *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer; Measurements (TS 36.214)*. Sophia Antipolis: 3rd Generation Partnership Project.
- 3GPP TS 36.331. (2023). *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (TS 36.331)*. Sophia Antipolis: 3rd Generation Partnership Project.
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2021). *4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. London: Academic Press.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2021). *Deep Learning*. Cambridge: MIT Press.
- MathWorks. (2026). *MATLAB App Designer*. Diakses 22 Juni 2026, dari <https://www.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>.
- Network Survey. (2024). *Network Survey: Aplikasi Pengukuran Parameter Jaringan Seluler [Aplikasi seluler]*. Dikembangkan oleh CraigsAppDevelopment.
- Rokach, L., & Maimon, O. (2022). *Data Mining with Decision Trees: Theory and Applications*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2021). *LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Tharwat, A. (2021). Classification Assessment Methods. *Applied Computing and Informatics*, 17(1), 168-192.
- Ghosh, A., Zhang, J., Andrews, J. G., & Muhamed, R. (2010). *Fundamentals of LTE*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Han, J., Pei, J., & Tong, H. (2022). *Data Mining: Concepts and Techniques* (4th ed.). Cambridge: Morgan Kaufmann.
- Shakir, Z., Mjhool, A. Y., Al-Thaedan, A., Al-Sabbagh, A., & Alsabah, R. (2023). Key performance indicators analysis for 4G-LTE cellular networks based on real measurements. *International Journal of Information Technology*, 15(3), 1347–1355. <https://doi.org/10.1007/s41870-023-01210-0>
- Tayyab, M., Gelabert, X., & Jäntti, R. (2019). A survey on handover management: From LTE to NR. *IEEE Access*, 7, 118907–118930. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937405>
- Emmanuel, T., Maupong, T., Mpoeleng, D., Semong, T., Mphago, B., & Tabona, O. (2021). A survey on missing data in machine learning. *Journal of Big Data*, 8(1), 140. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00516-9>

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Güvenç, İ., Mukherjee, S., Güvenc, S., & Watanabe, F. (2022). Handover in heterogeneous networks: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24(4), 2308–23



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS



Ahmad Gilman lahir di Tangerang, 20 Agustus 2005. Lulus dari SMK Panca Karya Kota Tangerang dan lulus tahun 2023. Menempuh pendidikan jurusan Teknik Elektro, Program Studi Telekomunikasi, Politeknik Negeri Jakarta sejak tahun 2023. Tugas akhir ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Diploma Tiga Jurusan Teknik Elektro, Program Studi D3 Telekomunikasi, Politeknik Negeri Jakarta.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 *Listing Program Preprocessing Dataset*

```
clear; clc;
fprintf('=====\n');
fprintf('  PREPROCESSING + FEATURE ENGINEERING - 7 FITUR\n');
fprintf('=====\n\n');
%% — PARAMETER

HYS          = 3.0;    % Hysteresis dB (standar 3GPP)
A3_OFFSET    = 2.0;    % A3 offset dB
A3_TTT       = 3;      % Time-to-trigger (step berturut-turut)

featureNames = {'RSRP_dBm','RSRQ_dB','SINR_dB','SPEED',...
'rsrp_best_neighbor','rsrp_diff','neighbor_count'};

%% — STEP 1: PILIH FILE CSV MENTAH

fprintf('[1/4] Memilih file CSV mentah...\n');

[fn, fp] = uigetfile('*.csv', 'Pilih file CSV dataset mentah (NS
Web Analytics)');

if isequal(fn, 0), fprintf('Dibatalkan.\n'); return; end
csvFile = fullfile(fp, fn);
fprintf('  File: %s\n\n', fn);

%% — STEP 2: BACA DAN PISAHKAN DATA

fprintf('[2/4] Membaca dan memisahkan data...\n');
opts = detectImportOptions(csvFile, 'NumHeaderLines', 2);
colDouble =
{'latitude','longitude','SPEED','RSRP_dBm','RSRQ_dB','SINR_dB','
groupName','PCI'};
for c = colDouble
    try; opts = setvartype(opts, c{1}, 'double'); catch; end
end
try; opts = setvartype(opts, 'servingCell', 'char'); catch; end

raw = readtable(csvFile, opts);
fprintf('  Data mentah   : %d baris, %d kolom\n', height(raw),
width(raw));

% Pisahkan serving dan neighbor
isServing = false(height(raw), 1);
for i = 1:height(raw)
    sc = raw.servingCell{i};
    if ischar(sc) && strcmpi(strtrim(sc), 'true')
        isServing(i) = true;
    end
end

serving = raw(isServing, :);
neighbor = raw(~isServing, :);
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
% Bersihkan: hapus baris NaN kritis
serving = serving(~isnan(serving.latitude), :);
serving = serving(~isnan(serving.longitude), :);
serving = serving(~isnan(serving.RSRP_dBm), :);
serving = serving(~isnan(serving.RSRQ_dB), :);
serving = serving(~isnan(serving.SINR_dB), :);
serving.SPEED(isnan(serving.SPEED)) = 0;

% Urutkan by groupNumber
serving = sortrows(serving, 'groupNumber', 'ascend');
neighbor = sortrows(neighbor, 'groupNumber', 'ascend');
fprintf(' Serving cell : %d baris\n', height(serving));
fprintf(' Neighbor cell: %d baris\n', height(neighbor));
% Ambil satu baris per groupNumber (RSRP tertinggi / baris terakhir unik)
[~, ia] = unique(serving.groupNumber, 'last');
serving = serving(ia, :);
fprintf(' Setelah dedup per groupNumber: %d baris\n\n', height(serving));

%% — STEP 3: HITUNG 7 FITUR + LABEL HO

fprintf('[3/4] Menghitung 7 fitur dasar dan label HO...\n');

N = height(serving);
X = zeros(N, 7);
Y = zeros(N, 1);
a3_ctr = 0;

for i = 1:N
    rsrp = serving.RSRP_dBm(i);
    rsrq = serving.RSRQ_dB(i);
    sinr = serving.SINR_dB(i);
    SPEED = serving.SPEED(i);
    gn = serving.groupNumber(i);

    % Cari data neighbor dengan groupNumber yang sama
    nb_mask = neighbor.groupNumber == gn;
    nb_rsrp = neighbor.RSRP_dBm(nb_mask);
    nb_rsrp = nb_rsrp(~isnan(nb_rsrp));

    if ~isempty(nb_rsrp)
        rsrp_best_nb = max(nb_rsrp);
        nb_count = numel(nb_rsrp);
    else
        rsrp_best_nb = rsrp - 20; % estimasi konservatif
        nb_count = 0;
    end

    rsrp_diff = rsrp_best_nb - rsrp; % positif = neighbor lebih kuat

    % Simpan fitur
    X(i,:) = [rsrp, rsrq, sinr, SPEED, rsrp_best_nb, rsrp_diff, nb_count];

    % Label HO: A3 Event (rsrp_diff > HYS + A3_OFFSET selama TTT step)
    if rsrp_diff > (HYS + A3_OFFSET)
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

        a3_ctr = a3_ctr + 1;
        if a3_ctr >= A3_TTT
            Y(i) = 1;
        end
    else
        a3_ctr = 0;
    end
end

% Statistik label
n_ho = sum(Y == 1);
n_no_ho = sum(Y == 0);
fprintf(' Label HO=1 : %d (%.1f%%)\n', n_ho, n_ho/N*100);
fprintf(' Label HO=0 : %d (%.1f%%)\n\n', n_no_ho,
n_no_ho/N*100);

%% — STEP 4: SIMPAN DATASET HASIL FEATURE ENGINEERING
fprintf('[4/4] Menyimpan dataset hasil feature
engineering...\n');
T_out = array2table(X, 'VariableNames', featureNames);
T_out.HO = Y;
outCsv = fullfile(fp, 'handover_dataset_simple.csv');
writetable(T_out, outCsv);

fprintf(' Dataset tersimpan : %s\n', outCsv);
fprintf(' Jumlah baris : %d\n', N);
fprintf(' Jumlah kolom : %d (7 fitur + 1 label HO)\n',
width(T_out));

fprintf('\n== SELESAI! ==\n');
fprintf('Lanjutkan ke TRAINING_SIMPLE.m dan pilih file:\n
%s\n', outCsv);

%% — PLOT: DISTRIBUSI LABEL HO
figure('Name', 'Distribusi Label HO - Dataset Hasil Feature
Engineering', ...
'NumberTitle', 'off', 'Color', [1 1 1]);
bar([n_no_ho, n_ho], 'FaceColor', [0.2 0.5 0.8]);

set(gca, 'XTickLabel', {'No-HO (0)', 'HO (1)'}, 'FontSize', 10);
ylabel('Jumlah Sampel');

title(sprintf('Distribusi Label HO (N = %d, HO = %.1f%%)', N,
n_ho/N*100));
grid on; box on;
text(1, n_no_ho, sprintf('%d', n_no_ho),
'HorizontalAlignment', 'center', ...
'VerticalAlignment', 'bottom', 'FontWeight', 'bold');
text(2, n_ho, sprintf('%d', n_ho),
'HorizontalAlignment', 'center', ...
'VerticalAlignment', 'bottom', 'FontWeight', 'bold');

```



Lampiran 2 Listing Program *Training Model Decision Tree*

```
clear; clc;
fprintf('=====\n');
fprintf('  TRAINING MODEL DT - 7 FITUR DASAR\n');
fprintf('=====\n\n');
featureNames = {'RSRP_dBm','RSRQ_dB','SINR_dB','SPEED',...
'rsrp_best_neighbor','rsrp_diff','neighbor_count'};
%% — STEP 1: PILIH FILE CSV HASIL FEATURE ENGINEERING
fprintf('[1/6] Memilih file dataset hasil feature
engineering...\n');
[fn, fp] = uigetfile('*.csv', 'Pilih file
handover_dataset_simple.csv');
if isequal(fn, 0), fprintf('Dibatalkan.\n'); return; end
csvFile = fullfile(fp, fn);
fprintf('  File: %s\n\n', fn);
%% — STEP 2: BACA DATASET
fprintf('[2/6] Membaca dataset...\n');
T = readtable(csvFile);
kolom_wajib = [featureNames, {'HO'}];
kolom_hilang = kolom_wajib(~ismember(kolom_wajib,
T.Properties.VariableNames));
if ~isempty(kolom_hilang)
    error('[ERROR] Kolom tidak ditemukan: %s',
strjoin(kolom_hilang, ', '));
end
X = table2array(T(:, featureNames));
Y = T.HO;
N = height(T);
n_ho = sum(Y == 1);
n_no_ho = sum(Y == 0);
fprintf('  Jumlah baris : %d\n', N);
fprintf('  Label HO=1 : %d (%.1f%%)\n', n_ho, n_ho/N*100);
fprintf('  Label HO=0 : %d (%.1f%%)\n\n', n_no_ho,
n_no_ho/N*100);
%% — STEP 3: SPLIT DATA TRAIN / TEST (80% / 20%)
fprintf('[3/6] Membagi data: 80% train | 20% test...\n');
rng(42); % reproducible
cv_split = cvpartition(Y, 'HoldOut', 0.2, 'Stratify', true);
idx_train = training(cv_split);
idx_test = test(cv_split);
X_train = X(idx_train, :); Y_train = Y(idx_train);
X_test = X(idx_test, :); Y_test = Y(idx_test);
fprintf('  Train : %d baris (HO=1: %d | HO=0: %d)\n', ...
    numel(Y_train), sum(Y_train==1), sum(Y_train==0));
fprintf('  Test : %d baris (HO=1: %d | HO=0: %d)\n\n', ...
    numel(Y_test), sum(Y_test==1), sum(Y_test==0));
%% — STEP 4: BALANCING KELAS HANYA PADA DATA TRAIN
fprintf('[4/6] Balancing kelas (hanya data train)...\n');
idx_ho_tr = find(Y_train == 1);
idx_no_ho_tr = find(Y_train == 0);
ratio_tr = numel(idx_no_ho_tr) / max(numel(idx_ho_tr), 1);
if ratio_tr > 3
    target_n = round(numel(idx_no_ho_tr) * 0.5);
    rep_times = ceil(target_n / numel(idx_ho_tr));
    idx_over = repmat(idx_ho_tr, rep_times, 1);
    idx_over = idx_over(1:target_n);
    idx_bal = [idx_no_ho_tr; idx_over];
    idx_bal = idx_bal(randperm(numel(idx_bal)));
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

X_bal = X_train(idx_bal, :);
Y_bal = Y_train(idx_bal);
fprintf(' Oversampling train: HO=1 jadi %d | HO=0 tetap
%d\n\n', ...
        sum(Y_bal==1), sum(Y_bal==0));
else
    X_bal = X_train;
    Y_bal = Y_train;
    fprintf(' Kelas seimbang, tidak perlu oversampling.\n\n');
end
Xtbl_bal = array2table(X_bal, 'VariableNames', featureNames);
%% — STEP 5: TRAINING DECISION TREE
fprintf('[5/6] Melatih model Decision Tree...\n');
% Grid search: cari MaxNumSplits terbaik pakai 5-fold CV pada
train set
splitCandidates = [5, 10, 20, 50, 100, 200];
bestAcc = 0; bestSplit = 50;
allAcc_split = zeros(size(splitCandidates)); % simpan semua
hasil utk grafik
cv5 = cvpartition(Y_bal, 'KFold', 5, 'Stratify', true);
for i_sp = 1:numel(splitCandidates)
    sp = splitCandidates(i_sp);
    mdl_tmp = fitctree(Xtbl_bal, Y_bal, ...
        'MaxNumSplits', sp, 'MinLeafSize', 5, 'ClassNames',
[0;1]);
    cv_loss = kfoldLoss(crossval(mdl_tmp, 'CVPartition', cv5));
    acc_tmp = (1 - cv_loss) * 100;
    allAcc_split(i_sp) = acc_tmp;
    if acc_tmp > bestAcc
        bestAcc = acc_tmp; bestSplit = sp;
    end
end
fprintf(' MaxNumSplits terbaik: %d (CV Acc train: %.2f%%)\n',
bestSplit, bestAcc);
% Latih model final
model = fitctree(Xtbl_bal, Y_bal, ...
    'MaxNumSplits', bestSplit, 'MinLeafSize', 5, 'ClassNames',
[0;1]);
fprintf(' Model berhasil dilatih.\n\n');
% Cari Threshold terbaik dari data TRAIN saja
fprintf(' Mencari Threshold optimal dari data train...\n');
[~, sc_tr] = predict(model, Xtbl_bal);
prob_tr = sc_tr(:, 2);
bestF1 = 0; bestThreshold = 0.5;
thrList = 0.30:0.05:0.85;
allF1_thr = zeros(size(thrList)); % simpan semua hasil utk
grafik
allPrec_thr = zeros(size(thrList));
allRec_thr = zeros(size(thrList));
for i_thr = 1:numel(thrList)
    thr = thrList(i_thr);
    p_tmp = double(prob_tr >= thr);
    TP_t = sum(p_tmp==1 & Y_bal==1);
    FP_t = sum(p_tmp==1 & Y_bal==0);
    FN_t = sum(p_tmp==0 & Y_bal==1);
    prec = TP_t / max(TP_t+FP_t, 1);
    rec = TP_t / max(TP_t+FN_t, 1);
    f1_t = 2*prec*rec / max(prec+rec, eps);
    allF1_thr(i_thr) = f1_t;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

allPrec_thr(i_thr) = prec;
allRec_thr(i_thr) = rec;
if f1_t > bestF1, bestF1 = f1_t; bestThreshold = thr; end
end
fprintf(' Threshold terbaik: %.2f (F1 train=%.3f)\n\n',
bestThreshold, bestF1);
%% — STEP 6: EVALUASI PADA DATA TEST (data yang tidak dilihat
model)
fprintf('[6/6] Evaluasi pada DATA TEST (20%% data yang tidak
dipakai training)...\n');
fprintf(' *** Ini hasil yang jujur – bukan data training!
***\n\n');
Xtbl_test = array2table(X_test, 'VariableNames', featureNames);
[, sc_te] = predict(model, Xtbl_test);
prob_te = sc_te(:, 2);
y_pred_te = double(prob_te >= bestThreshold);
N_test = numel(Y_test);
TP = sum(y_pred_te==1 & Y_test==1);
FP = sum(y_pred_te==1 & Y_test==0);
TN = sum(y_pred_te==0 & Y_test==0);
FN = sum(y_pred_te==0 & Y_test==1);
accuracy = (TP+TN) / N_test * 100;
precision = TP / max(TP+FP, 1) * 100;
recall = TP / max(TP+FN, 1) * 100;
f1 = 2*(precision/100)*(recall/100) /
max((precision+recall)/100, eps) * 100;
fprintf(' === HASIL EVALUASI (TEST SET – 20%% data) ===\n');
fprintf(' TP=%d | FP=%d | TN=%d | FN=%d\n', TP, FP, TN, FN);
fprintf(' Accuracy : %.2f%%\n', accuracy);
fprintf(' Precision : %.2f%%\n', precision);
fprintf(' Recall : %.2f%%\n', recall);
fprintf(' F1-Score : %.2f%%\n\n', f1);
% ✓ SESUDAH – ganti dengan ini:
outFile = 'DT_handover_model_simple2.mat'; % ← definisikan
outFile dulu
save(outFile, ...
'model', ...
'bestThreshold', ...
'featureNames', ...
'accuracy', ...
'precision', ... % ← tambahan
'recall', ... % ← tambahan
'f1', ...
'X_test', ... % ← WAJIB untuk scatter plot
'Y_test'); % ← WAJIB untuk scatter plot
fprintf(' Model tersimpan: %s\n', outFile);
fprintf(' Fitur (%d): %s\n', numel(featureNames),
strjoin(featureNames, ', '));
fprintf(' Threshold: %.2f\n', bestThreshold);
fprintf(' Split : 80%% train | 20%% test\n');
fprintf(' Evaluasi : dari TEST SET (jujur, bukan training
data)\n');
fprintf(' X_test : %d baris tersimpan\n', size(X_test,1));
% ← konfirmasi
fprintf(' Y_test : %d label tersimpan\n', numel(Y_test));
% ← konfirmasi
fprintf('\n=== SELESAI! ===\n');
fprintf('Gunakan %s di simulasi.\n', outFile);

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
%%
=====
% VISUALISASI – gaya konsisten dengan TRAINING_DT_FINAL
% (Confusion Matrix gradasi biru, Decision Tree graph, Feature
Importance)
%
=====
% Hitung kedalaman pohon (depth)
children = model.Children;
nodeDepths = zeros(model.NumNodes, 1);
for nd = 1:model.NumNodes
    c1 = children(nd, 1);
    c2 = children(nd, 2);
    if c1 > 0, nodeDepths(c1) = nodeDepths(nd) + 1; end
    if c2 > 0, nodeDepths(c2) = nodeDepths(nd) + 1; end
end
treeDepth = max(nodeDepths);
%% -----
% A. CONFUSION MATRIX – GRADASI BIRU (gaya DT Final)
%% -----
fprintf('\n== Confusion Matrix (gaya Training DT Final)
...\n');
n_blues = 256;
blues_r = linspace(0.96, 0.08, n_blues)';
blues_g = linspace(0.96, 0.28, n_blues)';
blues_b = linspace(0.99, 0.57, n_blues)';
cmap_blues = [blues_r, blues_g, blues_b];
CM_opt = [TN FP; FN TP];
p_tot = sum(CM_opt(:));
max_val = max(CM_opt(:));
col_lbl = {'No-HO (0)', 'HO (1)'};
cell_tag = {'TN', 'FP', 'FN', 'TP'};
cell_sub = {'Benar: No-HO', 'False Alarm', 'Terlewat!
△', 'Benar: HO'};
TXT_DARK = [0.10 0.10 0.10];
TXT_WHITE = [1.00 1.00 1.00];

figure('Name', 'Confusion Matrix - Model 7 Fitur', ...
    'NumberTitle', 'off', 'Position', [200 100 620 560], ...
    'Color', [0.97 0.97 0.98]);
ax_cm = axes('Position', [0.14 0.10 0.70 0.80]);
imagesc(ax_cm, CM_opt);
colormap(ax_cm, cmap_blues);
clim(ax_cm, [0, max_val]);
cb = colorbar(ax_cm, 'Location', 'eastoutside');
cb.FontSize = 9;
cb.Label.String = 'Jumlah Sampel';
cb.Label.FontSize = 9;
hold(ax_cm, 'on');
plot(ax_cm, [1.5 1.5], [0.5 2.5], 'w-', 'LineWidth', 1.5);
plot(ax_cm, [0.5 2.5], [1.5 1.5], 'w-', 'LineWidth', 1.5);

for r = 1:2
    for c = 1:2
        val = CM_opt(r, c);
        row_total = sum(CM_opt(r, :));
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

pct      = val / max(row_total, 1) * 100;

norm_val = val / max_val;
if norm_val > 0.50
    txt_clr = TXT_WHITE;
    tag_clr = [0.85 0.95 1.00];
else
    txt_clr = TXT_DARK;
    tag_clr = [0.18 0.45 0.78];
end

text(ax_cm, c-0.44, r-0.34, cell_tag{r,c}, ...
    'FontSize', 9, 'FontWeight', 'bold', ...
    'Color', tag_clr, 'HorizontalAlignment', 'left');
text(ax_cm, c, r, num2str(val), ...
    'HorizontalAlignment', 'center',
    'VerticalAlignment', 'middle', ...
    'FontSize', 22, 'FontWeight', 'bold', 'Color',
txt_clr);
text(ax_cm, c, r+0.30, sprintf('%.1f%%', pct), ...
    'HorizontalAlignment', 'center',
    'VerticalAlignment', 'middle', ...
    'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold', 'Color',
txt_clr);
text(ax_cm, c, r+0.44, cell_sub{r,c}, ...
    'HorizontalAlignment', 'center',
    'VerticalAlignment', 'middle', ...
    'FontSize', 7.5, 'Color', txt_clr);
end
end
hold(ax_cm, 'off');
ax_cm.XTick      = [1 2];
ax_cm.YTick      = [1 2];
ax_cm.XTickLabel = col_lbl;
ax_cm.YTickLabel = col_lbl;
ax_cm.FontSize   = 10;
ax_cm.XAxisLocation = 'bottom';
xlabel(ax_cm, 'Predicted Class', 'FontSize', 11, 'FontWeight',
'bold');
ylabel(ax_cm, 'True Class', 'FontSize', 11, 'FontWeight',
'bold');
ax_cm.Title.String = { ...
    'Confusion Matrix - Decision Tree LTE Handover (Model 7
    Fitur)', ...
    sprintf('N = %d sampel testing | Acc=%.1f%% Prec=%.1f%%
    Rec=%.1f%% F1=%.1f%%', ...
    p_tot, accuracy, precision, recall, f1) };
ax_cm.Title.FontSize = 11;
ax_cm.Box            = 'on';
ax_cm.LineWidth      = 1.2;
%% -----
% B. CLASSIFICATION TREE - VISUALISASI POHON KEPUTUSAN (gaya DT
Final)
%% -----
fprintf('\n== Visualisasi Decision Tree (Model 7 Fitur)
...\n');
figure('Name', 'Decision Tree - Model 7 Fitur', 'NumberTitle',
'off', ...
    'Position', [880 50 900 600]);

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
view(model, 'Mode', 'graph');
title(sprintf('Decision Tree – Model 7 Fitur | %d node |
Depth: %d | MaxNumSplits: %d', ...
    model.NumNodes, treeDepth, bestSplit), ...
    'FontSize', 11, 'FontWeight', 'bold');
fprintf(' Jumlah node : %d\n', model.NumNodes);
fprintf(' Kedalaman : %d\n', treeDepth);
% C. FEATURE IMPORTANCE (gaya DT Final)
fprintf('\n== Feature Importance (Model 7 Fitur) ...\n');
imp = predictorImportance(model);
[sortedImp, sortIdx] = sort(imp, 'descend');
fprintf(' Ranking Fitur:\n');
for i = 1:numel(sortIdx)
    fprintf(' %2d. %-25s : %.6f\n', i,
        featureNames{sortIdx(i)}, sortedImp(i));
end
figure('Name', 'Feature Importance - Model 7 Fitur',
    'NumberTitle', 'off', ...
    'Position', [50 50 750 420]);
barh(fliplr(sortedImp), 'FaceColor', [0.2 0.5 0.8]);
yticks(1:numel(featureNames));
yticklabels(fliplr(featureNames(sortIdx)));
xlabel('Importance Score');
title('Feature Importance – Decision Tree LTE Handover (Model 7
Fitur)');
grid on; box on;
% D. OPTIMASI HYPERPARAMETER – MaxNumSplits (Grid Search 5-Fold
CV)
fprintf('\n== Grafik Optimasi Hyperparameter MaxNumSplits
...\n');
figure('Name', 'Optimasi MaxNumSplits - Model 7 Fitur',
    'NumberTitle', 'off', ...
    'Position', [200 480 700 450], 'Color', [0.97 0.97 0.98]);
plot(splitCandidates, allAcc_split, '-o', ...
    'Color', [0.18 0.45 0.78], 'LineWidth', 2, ...
    'MarkerSize', 7, 'MarkerFaceColor', [0.18 0.45 0.78]);
hold on;
plot(bestSplit, bestAcc, 'o', 'MarkerSize', 12, 'LineWidth', 2,
    ...
    'MarkerEdgeColor', [0.85 0.20 0.20], 'MarkerFaceColor',
[1.00 0.55 0.55]);
for i_sp = 1:numel(splitCandidates)
    text(splitCandidates(i_sp), allAcc_split(i_sp) + 0.6, ...
        sprintf('%.2f%', allAcc_split(i_sp)), ...
        'HorizontalAlignment', 'center', 'FontSize', 8.5, ...
        'Color', [0.20 0.20 0.20]);
end
text(bestSplit, bestAcc - 1.6, ...
    sprintf('Terbaik: MaxNumSplits=%d (Acc CV=%.2f%)',
bestSplit, bestAcc), ...
    'HorizontalAlignment', 'center', 'FontSize', 9,
    'FontWeight', 'bold', ...
    'Color', [0.85 0.20 0.20]);
set(gca, 'XScale', 'log');
xticks(splitCandidates);
xticklabels(string(splitCandidates));
xlabel('MaxNumSplits (skala log)', 'FontSize', 11, 'FontWeight',
'bold');
ylabel('CV Accuracy (%)', 'FontSize', 11, 'FontWeight', 'bold');
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

title({'Optimasi Hyperparameter MaxNumSplits', ...
      sprintf('5-Fold Cross-Validation pada Data Train (Balanced)
      | %d kandidat diuji', ...
      numel(splitCandidates))}, 'FontSize', 11, 'FontWeight',
'bold');
grid on; box on;
ylim([min(allAcc_split)-3, max(allAcc_split)+3]);
hold off;
fprintf('  Kandidat MaxNumSplits      : %s\n',
strjoin(string(splitCandidates), ', '));
fprintf('  CV Accuracy per kandidat: %s\n',
strjoin(string(round(allAcc_split, 2)), ', '));
fprintf('  Terbaik                      : MaxNumSplits=%d (Acc
CV=%.2f%%)\n', bestSplit, bestAcc);
% E. PEMILIHAN THRESHOLD OPTIMAL (Precision / Recall / F1 vs
Threshold)
fprintf('\n== Grafik Pemilihan Threshold Optimal ... \n');
figure('Name', 'Pemilihan Threshold Optimal - Model 7 Fitur',
'NumberTitle', 'off', ...
      'Position', [930 480 700 450], 'Color', [0.97 0.97 0.98]);
plot(thrList, allPrec_thr*100, '--', 'Color', [0.40 0.70 0.40],
'LineWidth', 1.6);
hold on;
plot(thrList, allRec_thr*100, '--', 'Color', [0.85 0.55 0.20],
'LineWidth', 1.6);
plot(thrList, allF1_thr*100, '-o', 'Color', [0.18 0.45 0.78],
...
      'LineWidth', 2.2, 'MarkerSize', 5, 'MarkerFaceColor', [0.18
0.45 0.78]);
xline(bestThreshold, '--', 'Color', [0.85 0.20 0.20],
'LineWidth', 1.8);
plot(bestThreshold, bestF1*100, 'o', 'MarkerSize', 12,
'LineWidth', 2, ...
      'MarkerEdgeColor', [0.85 0.20 0.20], 'MarkerFaceColor',
[1.00 0.55 0.55]);
text(bestThreshold + 0.02, max(bestF1*100 - 8, 5), ...
      sprintf('Threshold optimal = %.2f\n(F1 train = %.3f)',
bestThreshold, bestF1), ...
      'FontSize', 9, 'FontWeight', 'bold', 'Color', [0.85 0.20
0.20]);
xlabel('Threshold Keputusan', 'FontSize', 11, 'FontWeight',
'bold');
ylabel('Skor (%)', 'FontSize', 11, 'FontWeight', 'bold');
title({'Pemilihan Threshold Optimal Berdasarkan F1-Score', ...
      'Dihitung dari Data Train (Balanced) - rentang diuji 0.30-
0.85'}, ...
      'FontSize', 11, 'FontWeight', 'bold');
legend({'Precision', 'Recall', 'F1-Score', 'Threshold
terpilih'}, ...
      'Location', 'southoutside', 'Orientation', 'horizontal',
'FontSize', 9, 'Box', 'off');
grid on; box on;
xlim([0.28 0.87]);
ylim([0 100]);
hold off;
fprintf('  Rentang Threshold diuji : %.2f - %.2f (step 0.05)\n',
thrList(1), thrList(end));
fprintf('  F1 tertinggi (train)      : %.3f pada Threshold
%.2f\n', bestF1, bestThreshold);

```



Lampiran 3 Log Hasil Simulasi

A. Log Skenario 1 (ns-analytics-lte-rute-UE.csv)

```
[23:05:15] Memuat model DT: DT_handover_model_simple2.mat
[23:05:15] Model DT berhasil dimuat!
[23:05:15] Jumlah fitur      : 7
[23:05:15] Threshold model   : 0.4500
[23:05:15] Fitur: RSRP_dBm, RSRQ_dB, SINR_dB, SPEED,
rsrp_best_neighbor, rsrp_diff, neighbor_count
[23:05:15] Evaluasi (test set):
[23:05:15] Accuracy : 91.29%
[23:05:15] Precision: 68.83%
[23:05:15] Recall   : 82.81%
[23:05:15] F1-Score : 75.18%

[23:05:20] Mode: DT sebagai DECISION MAKER. A3 sebagai
pembanding.
[23:05:20] Threshold aktif: 0.45 | Cooldown: 10 step
[23:05:27] Rute UE: 1433 titik dimuat.
[23:05:28] Cell Tower: 7 tower | Hijau=43dBm(5) |
Kuning=46dBm(2)
[23:05:29] Serving awal: LTE-144512
[23:05:29] === Simulasi mulai. Mode: DT+A3 ===
[23:05:29] HYS:3dB | A3_Offset:2dB | TTT:5 step | CoolMax:10
step
[23:05:29] RSRP Threshold: RSRP Threshold: Excellent>=-80dBm
| Good<-80dBm | Mid Cell<-90dBm | Cell Edge<-100dBm
...
[23:07:43] [DT] HO #1: LTE-144512 → LTE-144249
[23:07:43] Waktu : 00:02:16 (t=135.6s, step 114)
[23:07:43] Sinyal : RSRP=-66dBm | SINR=-10dB
[23:07:43] Kondisi: Excellent | Serving:-66dBm → Target:-52dBm
...
[23:33:11] [DT] HO #15: LTE-144094 → LTE-144531
[23:33:11] Waktu : 00:27:42 (t=1662.0s, step 1386)
[23:33:11] Sinyal : RSRP=-69dBm | SINR=-10dB
[23:33:11] Kondisi: Kondisi: Excellent | Serving:-69dBm →
Target:-51dBm

[23:34:08] ===== HASIL AKHIR SIMULASI =====
[23:34:08] Total HO (DT) : 15 kali
[23:34:08] Event A3 (ref) : 16 kali
[23:34:08] Pengurangan HO : 6.2% vs A3
[23:34:08] Ping-pong HO : 0 kejadian (0.0%)
[23:34:08] --- KPI Kualitas Jaringan ---
[23:34:08] RSRP rata-rata : -53.4 dBm
[23:34:08] RSRP minimum : -74.4 dBm
[23:34:08] SINR rata-rata : 7.3 dB
[23:34:08] % waktu SINR<3dB : 36.4%
[23:34:08] Throughput rata-rata: 32.8 Mbps
[23:34:08] Jarak total UE : 9.36km
[23:34:08] Durasi simulasi : 1719.6 s (1433 step)
[23:34:08] Rata2 kecepatan : 5.4 m/s
=====
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



B. Log Skenario 2 (Rute ns-analytics-lte-rute-UE2.csv)

```
[23:46:10] Memuat model DT: DT_handover_model_simple2.mat
[23:46:10] Model DT berhasil dimuat!
[23:46:10] Jumlah fitur      : 7
[23:46:10] Threshold model   : 0.4500
[23:46:10] Evaluasi (test set):
[23:46:10] Accuracy : 91.29% | Precision: 68.83%
[23:46:10] Recall   : 82.81% | F1-Score : 75.18%
[23:46:21] Mode: DT sebagai DECISION MAKER. A3 sebagai
pembanding.

[23:46:37] Rute UE: 4285 titik dimuat.
[23:46:38] Cell Tower: 7 tower | Hijau=43dBm(5) |
Kuning=46dBm(2)
[23:46:39] Serving awal: LTE-144512
[23:46:39] === Simulasi mulai. Mode: DT+A3 ===
[23:46:39] HYS:3dB | A3_Offset:2dB | TTT:5 step | CoolMax:10
step
[23:46:39] RSRP Threshold: RSRP Threshold: Excellent>=-80dBm
| Good<-80dBm | Mid Cell<-90dBm | Cell Edge<-100dBm
...
[23:53:16] [DT] HO #1: LTE-144512 → LTE-144003
[23:53:16] Waktu : 00:06:36 (t=396.0s, step 656)
[23:53:16] Sinyal : RSRP=-74dBm | SINR=-10dB
[23:53:16] Kondisi: Excellent | Serving:-74dBm → Target:-63dBm
...
[00:10:05] [DT] HO #6: LTE-144722 → LTE-144250
[00:10:05] Waktu : 00:23:22 (t=1401.6s, step 2332)
[00:10:05] Sinyal : RSRP=-82dBm | SINR=-10dB
[00:10:05] Kondisi: Good | Serving:-82dBm → Target:-70dBm
...
[00:23:28] [DT] HO #13: LTE-144094 → LTE-144512
[00:23:28] Waktu : 00:36:44 (t=2203.8s, step 3669)
[00:23:28] Sinyal : RSRP=-78dBm | SINR=-10dB
[00:23:28] kondisi: Excellent | Serving:-78dBm → Target:-67dBm

[00:29:42] ===== HASIL AKHIR SIMULASI =====
[00:29:42] Total HO (DT) : 13 kali
[00:29:42] Event A3 (ref) : 20 kali
[00:29:42] Pengurangan HO : 35.0% vs A3
[00:29:42] Ping-pong HO : 0 kejadian (0.0%)
[00:29:42] --- KPI Kualitas Jaringan ---
[00:29:42] RSRP rata-rata : -58.1 dBm
[00:29:42] RSRP minimum : -84.9 dBm
[00:29:42] SINR rata-rata : 6.9 dB
[00:29:42] % waktu SINR<3dB : 33.8%
[00:29:42] Throughput rata-rata: 29.4 Mbps
[00:29:42] Jarak total UE : 12.87km
[00:29:42] Durasi simulasi : 2574.0 s (4285 step)
[00:29:42] Rata2 kecepatan : 5.0 m/s
=====
```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



01

Aplikasi Network Survey

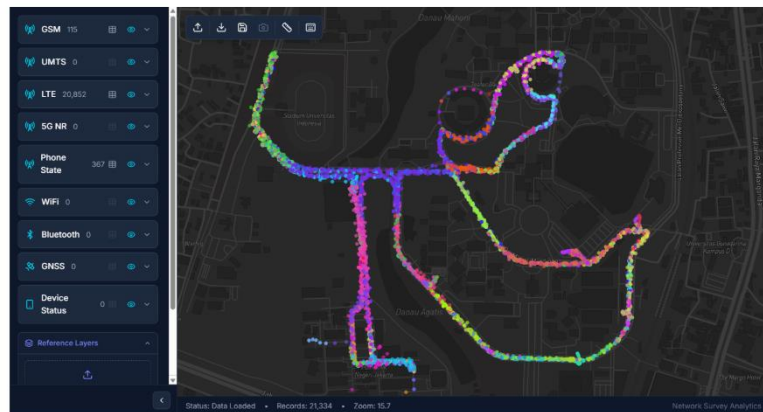


**PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

Digambar :	Ahmad Gilman
------------	--------------

Diperiksa :

Tanggal :



02

Peta Hasil *Drive Test* Sinyal Seluler 4G LTE



**PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

Digambar :	Ahmad Gilman
------------	--------------

Diperiksa :

Tanggal :



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

03

Struktur File Data Mentah (.csv) Parameter Jaringan



**PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

Digambar : Ahmad Gilman

Diperiksa :

Tanggal :

04

Struktur Matriks Fitur *Dataset Handover* Siap Training



**PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

Digambar : Ahmad Gilman

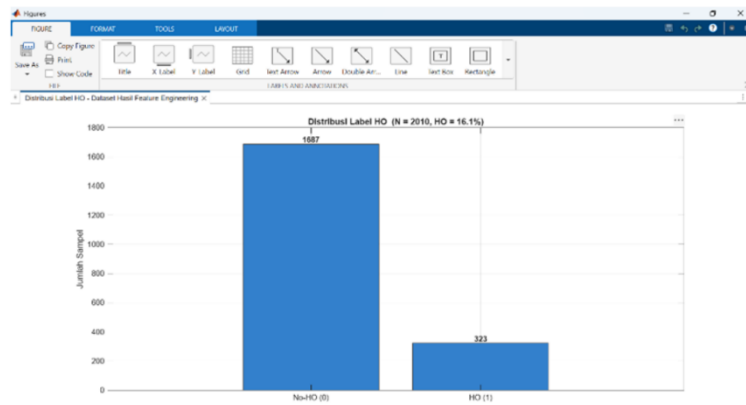
Diperiksa :

Tanggal :



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



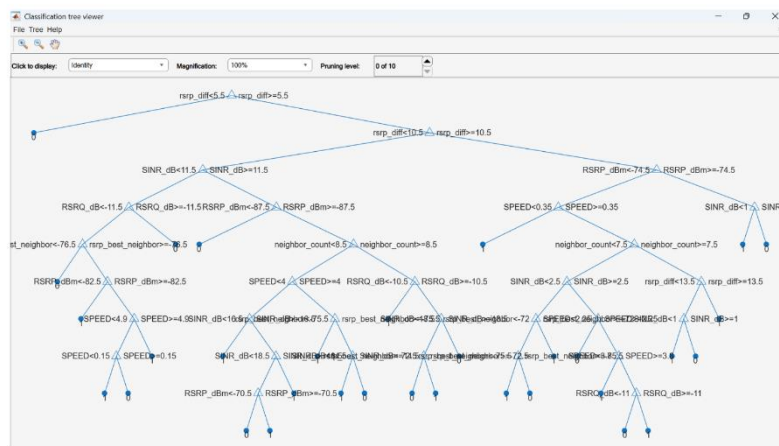
05

Grafik Distribusi Kelas Label Handover pada Dataset



PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Digambar :	Ahmad Gilman
Diperiksa :	
Tanggal :	



06

Tampilan Klasifikasi Menggunakan *Classification Tree Viewer*



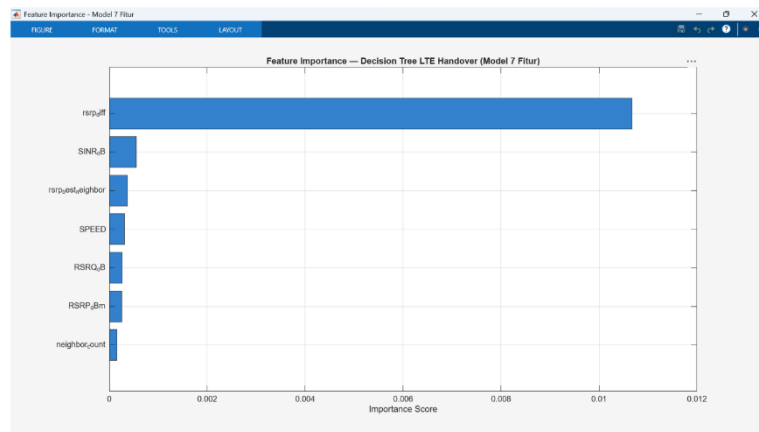
PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Digambar :	Ahmad Gilman
Diperiksa :	
Tanggal :	



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



07

Diagram Batang *Feature Importance* Model 7 Fitur LTE Handover



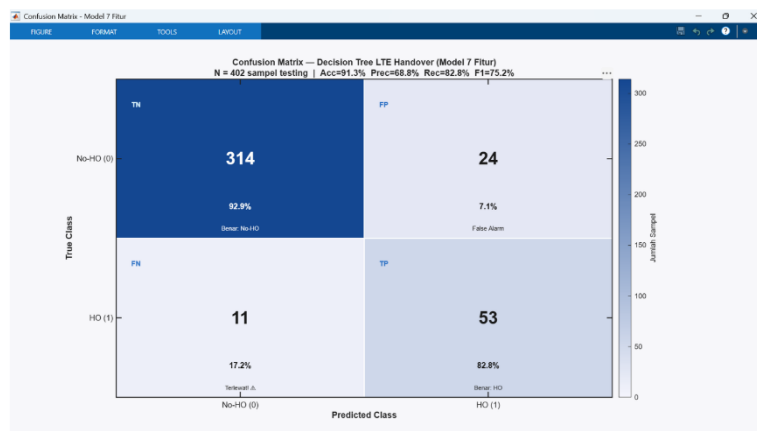
PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Digambar :

Ahmad Gilman

Diperiksa :

Tanggal :



08

Confusion Matrix Hasil Pengujian Model *Decision Tree*



PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Digambar :

Ahmad Gilman

Diperiksa :

Tanggal :



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



09

Grafik Sebaran (Scatter Plot) Keputusan *Handover Model Decision Tree*



PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Digambar :

Ahmad Gilman

Diperiksa :

Tanggal :



10

Antarmuka Grafis (GUI) *Dashboard Monitoring Simulasi Handover*



PROGRAM STUDI TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Digambar :

Ahmad Gilman

Diperiksa :

Tanggal :