

SKRIPSI

PERBANDINGAN KINERJA *SUPPORT VECTOR REGRESSION* DAN *K-NEAREST NEIGHBOR* SERTA IMPLEMENTASI *HYBRID* DENGAN MODEL COST-231 DALAM PREDIKSI *PATH LOSS* DI LINGKUNGAN LRT



Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar
Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas
Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang

Dipersiapkan dan Disusun Oleh
Muhammad Rafli Hidayat
132022052

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG

2026

SKRIPSI
PERBANDINGAN KINERJA *SUPPORT VECTOR*
***REGRESSION* DAN *K-NEAREST NEIGHBOR* SERTA**
IMPLEMENTASI *HYBRID* DENGAN MODEL COST-231
DALAM PREDIKSI *PATH LOSS* DI LINGKUNGAN LRT



Merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Telah dipertahankan di depan dewan penguji

24 Agustus 2026

Dipersiapkan dan Disusun Oleh
Muhammad Rafli Hidayat
132022052

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2026

SKRIPSI

PERBANDINGAN KINERJA SUPPORT VECTOR REGRESSION DAN K-NEAREST NEIGHBOR SERTA IMPLEMENTASI HYBRID DENGAN MODEL COST-231 DALAM PREDIKSI PATH LOSS DI LINGKUNGAN LRT



Merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Telah dipertahankan di depan dewan penguji
24 Agustus 2026

Dipersiapkan dan Disusun Oleh
MUHAMMAD RAFLI HIDAYAT

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing 1

Dr. Bengawan Alfaresi, S.T., M.T
NIDN. 0218017202

Penguji 1

Rika Noverianty, S.T., M.T
NIDN. 0214117504

Pembimbing 2

Dr. Wiwin A. Oktaviani, S.T., M.Sc
NIDN. 0002107302

Penguji 2

Fadilah, S.T., M.T
NIDN. 0215089003

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Ir. A. Jamaldi, M.T
NIDN. 0202026502

Menyetujui

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs
NIDN. 0207038101

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun merupakan karya ilmiah yang belum pernah digunakan atau diajukan sebelumnya untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada Perguruan Tinggi mana pun. Sepanjang pengetahuan saya, skripsi ini juga tidak memuat karya maupun pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan oleh pihak lain, kecuali sumber-sumber yang telah dicantumkan secara jelas dalam naskah dan tercatat dalam daftar pustaka.

Palembang, 24 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan



Muhammad Rafli Hidayat

MOTO DAN PERSEMBAHAN

MOTO

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan."

(QS. Al-Insyirah: 6)

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat, nikmat, kesehatan, kekuatan, serta kemudahan yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati, skripsi ini penulis persembahkan kepada:

- ❖ Kepada Kedua orang tua yang tercinta Yaitu Ayah tercinta Hendra Saputra, S.T. dan Ibu tercinta Siti Saidah, S.E. yang senantiasa mendoakan, mendukung, memberikan kasih sayang, serta berjuang tanpa lelah demi kesuksesan penulis. Terima kasih atas segala pengorbanan, kesabaran, dan doa yang tidak ternilai.
- ❖ Keluarga besar, atas dukungan dan semangat yang selalu diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.
- ❖ Bapak Dr. Bengawan Alfaresi, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Wiwin A. Oktaviani, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan memberikan banyak ilmu selama penyusunan skripsi ini.
- ❖ Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang, atas ilmu yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
- ❖ Sahabat dan rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro, yang telah menemani, membantu, dan memberi semangat selama perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
- ❖ Untuk Biya Dwi Lestari yang tercinta, terima kasih atas kasih sayang, perhatian, doa, dukungan, kesabaran, dan semangat yang selalu diberikan kepada penulis. Terima kasih telah menjadi salah satu sumber motivasi dan kekuatan bagi penulis dalam melewati berbagai proses selama penyusunan

skripsi ini. Kehadiranmu menjadi bagian yang berarti dalam perjalanan penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

❖ Almamater tercinta, Universitas Muhammadiyah Palembang.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya jualah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **Perbandingan Kinerja Support Vector Regression dan K-Nearest Neighbor serta Implementasi Hybrid dengan Model COST-231 dalam Prediksi Path Loss di Lingkungan LRT** yang disusun guna untuk syarat mendapatkan gelar sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.

Pada kesempatan ini penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada,

- Bapak Dr.Bengawan Alfaresi, S.T., M.T.,IPM., selaku Pembimbing I
- Ibu Dr. Wiwin A.Oktaviani, S.T., M.sc, selaku Pembimbing II

dan tak lupa pula penulis mengucapkan terima kasih kepada,

1. Bapak Prof. Abid Djazuli, S.E.,M.M, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang
2. Bapak Ir. A. Junaidi, M.T, Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang
3. Bapak Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs, Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang
4. Bapak Muhammad Hurairah, S.T., M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang
5. Bapak dan Ibu Staf Dosen pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang
6. Bapak dan Ibu Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang
7. Rekan-rekan Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama proses penyelesaian skripsi ini.

Yang telah banyak membantu penulis baik secara moril maupun material dalam menyelesaikan skripsi ini, semoga amal baik yang diberikan kepada penulis

mendapatkan imbalan yang sesuai dari Allah SWT. Penulis menyadari penulisan skripsi ini jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca akan penulis terima sangat senang hati. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi rekan-rekan pembaca di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.

Palembang, 24 Agustus 2026

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized cursive letters, likely representing the name Muhammad Rafli Hidayat.

Muhammad Rafli Hidayat

ABSTRAK

Sistem *Light Rail Transit* (LRT) di lingkungan perkotaan memiliki karakteristik propagasi sinyal yang kompleks akibat kepadatan bangunan, kondisi *non-line-of-sight* (NLoS), serta pergerakan kereta yang dinamis, sehingga model empiris konvensional seperti COST-231 seringkali kurang akurat dalam memprediksi nilai *path loss* pada lingkungan tersebut. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja algoritma *machine learning*, yaitu *Support Vector Regression* (SVR) dan *K-Nearest Neighbor* (KNN), serta mengimplementasikan pendekatan hybrid yang menggabungkan model empiris COST-231 dengan kedua algoritma tersebut untuk memprediksi *path loss* pada lingkungan LRT perkotaan. Data penelitian diperoleh dari hasil pengukuran lapangan yang kemudian dibagi menjadi data pelatihan dan data pengujian dengan proporsi 80:20, lalu dievaluasi menggunakan metrik *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Error* (MAE), dan koefisien determinasi (R^2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model KNN memberikan kinerja terbaik dengan RMSE sebesar 6,1915 dB, MAE sebesar 4,4053 dB, dan R^2 sebesar 0,8299, diikuti oleh SVR dengan RMSE 7,2115 dB, MAE 5,6618 dB, dan R^2 0,7692. Model empiris COST-231 menghasilkan error yang jauh lebih besar (RMSE 93,9780 dB; R^2 -38,6549), sementara model hybrid COST-231 dengan SVR maupun KNN belum mampu mengungguli model *machine learning* murni, yang diduga disebabkan oleh keterbatasan variabel pada tahap pembelajaran residual. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pendekatan *machine learning* murni, khususnya KNN, lebih andal digunakan untuk prediksi *path loss* pada lingkungan LRT perkotaan dibandingkan model empiris maupun model hybrid pada konfigurasi yang diuji.

Kata Kunci: *Path Loss*, LRT, COST-231, *Support Vector Regression*, *K-Nearest Neighbor*, Hybrid, *Machine Learning*

ABSTRACT

Urban Light Rail Transit (LRT) systems exhibit complex signal propagation characteristics due to building density, non-line-of-sight (NLoS) conditions, and dynamic train movement; consequently, conventional empirical models like COST-231 often lack accuracy in predicting path loss in such environments. This study aims to compare the performance of machine learning algorithms—specifically Support Vector Regression (SVR) and K-Nearest Neighbor (KNN)—and to implement a hybrid approach combining the COST-231 empirical model with these algorithms to predict path loss in urban LRT environments. Research data obtained from field measurements were split into training and testing sets (80:20 ratio) and evaluated using Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and the coefficient of determination (R^2). The results indicate that the KNN model delivered the best performance, with an RMSE of 6.1915 dB, MAE of 4.4053 dB, and R^2 of 0.8299, followed by SVR with an RMSE of 7.2115 dB, MAE of 5.6618 dB, and R^2 of 0.7692. The COST-231 empirical model yielded significantly higher errors (RMSE 93.9780 dB; R^2 -38.6549), while the hybrid models combining COST-231 with SVR or KNN failed to outperform the pure machine learning models—likely due to variable limitations during the residual learning phase. The study concludes that a pure machine learning approach, particularly KNN, is more reliable for path loss prediction in urban LRT environments than either empirical or hybrid models under the tested configurations.

Keywords: Path Loss, LRT, COST-231, Support Vector Regression, K-Nearest Neighbor, Hybrid, Machine Learning

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
A B S T R A K	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR ISTILAH.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Konsep Dasar Propagasi Gelombang Radio pada Lingkungan Perkotaan....	7
2.2 Path Loss	10
2.3 Sistem Komunikasi pada Moda LRT Perkotaan	12
2.4 Model Empiris COST231 untuk Prediksi Path Loss.....	14
2.5 Machine Learning dalam Prediksi Path Loss	16
2.6 Metode <i>K-Nearest Neighbor</i> (KNN) Regressor	18
2.7 Metode Support Vector Regression (SVR).....	23
2.8 Pembentukan Prediksi <i>Path Loss</i>	28
2.9 Evaluasi Kinerja Model.....	32
2.9.1 Konsep Evaluasi Model	32
2.9.2 Mean Absolute Error (MAE)	32
2.9.3 Root Mean Square Error (RMSE)	33
2.9.4 Koefisien Determinasi (R^2).....	33
2.9.5 Interpretasi Hasil Evaluasi Model.....	34

2.10 Penelitian Terdahulu	34
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	38
3.1 Lokasi dan Objek Penelitian.....	38
3.2 Teknik Pengumpulan Data.....	38
3.3 Jenis dan Variabel Penelitian.....	39
3.4 Pembangunan Model Prediksi Path Loss Berbasis Python.....	40
3.4.1 Lingkungan dan Pustaka Python yang Digunakan	40
3.4.2 Pra-pemrosesan Data dan Perhitungan Path Loss Referensi COST-231 Hatta\.....	41
3.4.3 Pembangunan Model Prediksi Hybrid COST-231 + SVR.....	42
3.4.4 Pembangunan Model Prediksi Hybrid COST-231 + KNN.....	44
3.4.5 Pembangunan Model Pembandingan: SVR dan KNN Murni	46
3.4.6 Evaluasi dan Perbandingan Kinerja Model	47
3.5 Diagram Alir Penelitian	48
BAB 4 HASIL DATA DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Dataset	49
4.1.1 Data Penelitian	49
4.1.2 Persiapan Dataset	51
4.2 Implementasi Model COST-231	53
4.2.1 Hasil Prediksi COST-231	54
4.2.2 Evaluasi Model COST-231	55
4.3 Implementasi Model K-Nearest Neighbor (KNN)	56
4.3.1 Persiapan Dataset KNN	56
4.3.2 Implementasi Algoritma KNN.....	56
4.3.3 Hasil Evaluasi Model KNN	57
4.3.4 Analisis Hasil Model KNN	58
4.4 Implementasi Model <i>Support Vector Regression</i> (SVR).....	59
4.4.1 Persiapan Dataset SVR	59
4.4.2 Implementasi Algoritma SVR.....	59
4.4.3 Hasil Evaluasi Model SVR	59
4.4.4 Analisis Hasil Model SVR.....	61
4.5 Analisis Tambahan COST-231 dengan Machine Learning	61
4.5.1 Evaluasi Hybrid COST-231 + SVR	62
4.5.2 Evaluasi Hybrid COST-231 + KNN	62

4.6 Perbandingan Kinerja Model.....	63
4.7 Pembahasan Hasil Penelitian.....	66
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 memperlihatkan proses propagasi gelombang radio melalui jalur langsung dan tidak langsung pada lingkungan perkotaan.....	7
Gambar 2. 2 Konsep Path Loss Komunikasi Nirkabel	9
Gambar 2. 3 Sistem Komunikasi Nirkabel pada Lingkungan LRT Perkotaan	11
Gambar 2. 4 Ilustrasi Model Propagasi COST231 pada Lingkungan LRT Perkotaan	12
Gambar 2. 5 Tahapan Kerja K-Nearest Neighbor (KNN) Regressor.....	16
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian Prediksi Path Loss Menggunakan Metode Support Vector Regression (SVR) dan K-Nearest Neighbor (KNN)..	32
Gambar 4. 1 Distribusi Nilai Path Loss Measured pada Dataset Penelitian	35
Gambar 4. 2 Hubungan Jarak Pengukuran terhadap Path Loss Measured	36
Gambar 4. 3 Perbandingan Path Loss Measured dan Prediksi COST-231	38
Gambar 4. 4 Perbandingan Path Loss Aktual dan Prediksi Model KNN.....	41
Gambar 4. 5 Perbandingan Path Loss Aktual dan Prediksi Model SVR	44
Gambar 4. 6 Perbandingan Nilai RMSE dan MAE Seluruh Model	48
Gambar 4. 7 Perbandingan Nilai R^2 Seluruh Model	48
Gambar 4. 8 Perbandingan Absolute Error Model SVR dan KNN pada Data Testing	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Model K-Nearest Neighbor.....	18
Tabel 2. 2 Variabel Input dan Target Model SVR	22
Tabel 2. 3 Parameter utama pada SVR.....	22
Tabel 2. 4 Variabel Pembentukan Model Prediksi Path Loss.....	24
Tabel 2. 5 Ringkasan Penelitian Terdahulu	30
Tabel 4. 1 Data Set yang diGunakan.....	33
Tabel 4. 2 Karakteristik Data Set	34
Tabel 4. 3 Konversi Jarak dari Meter ke Kilometer	35
Tabel 4. 4 Pembagian Data Set Penelitian	36
Tabel 4. 5 Hasil Prediksi Model COST-231	37
Tabel 4. 6 Hasil Evaluasi Model COST-231	38
Tabel 4. 7 Hasil Evaluasi Model KNN.....	40
Tabel 4. 8 Hasil Evaluasi Model SVR	41
Tabel 4. 9 Hasil Evaluasi Model Hybrid COST-231 + SVR.....	43
Tabel 4. 10 Hasil Evaluasi Model Hybrid COST-231 + KNN.....	44
Tabel 4. 11 Perbandingan Kinerja Seluruh Model	44

DAFTAR ISTILAH

Istilah		Singkatan	Penjelasan
Clutter		-	Objek penghalang di lingkungan perkotaan seperti bangunan, vegetasi, atau kendaraan yang memengaruhi propagasi sinyal radio.
Coefficient of Determination		R^2	Koefisien determinasi yang mengukur seberapa baik model regresi menjelaskan variabilitas data (nilai mendekati 1 semakin baik).
COST231		COST231	Model empiris prediksi path loss yang dikembangkan oleh COST Action 231, cocok untuk frekuensi tinggi di lingkungan urban.
Doppler Effect		-	Perubahan frekuensi sinyal akibat pergerakan relatif antara pemancar dan penerima (sangat relevan pada LRT yang bergerak).
Drive Test		-	Metode pengukuran langsung kekuatan sinyal di lapangan dengan menggerakkan perangkat pengukur sepanjang jalur LRT.
Fading		-	Fluktuasi cepat kekuatan sinyal akibat interferensi multipath.
Hyperplane		-	Bidang pemisah dalam Support Vector Regression yang meminimalkan error dengan margin tertentu.
K-Nearest Neighbor Regressor		KNN Regressor	Algoritma machine learning yang memprediksi nilai berdasarkan rata-rata dari K data tetangga terdekat.

Kernel Function			Fungsi (linear, polynomial, RBF, dll) pada SVR untuk menangani hubungan non-linear antar variabel.
Light Rail Transit		LRT	Kereta ringan sebagai moda transportasi massal perkotaan.
Line-of-Sight		LoS	Kondisi pandangan langsung tanpa hambatan antara pemancar dan penerima.
Machine Learning		ML	Cabang kecerdasan buatan yang memungkinkan sistem belajar dari data untuk membuat prediksi.
Mean Absolute Error		MAE	Rata-rata selisih absolut antara nilai prediksi dan nilai aktual.
Multi-Objective Particle Swarm Optimization		MOPSO	Versi Particle Swarm Optimization yang digunakan untuk mengoptimasi beberapa tujuan secara bersamaan.
Multipath Propagation		-	Propagasi sinyal melalui banyak jalur akibat pantulan, difraksi, dan scattering.
Non-Line-of-Sight		NLoS	Kondisi tanpa pandangan langsung antara pemancar dan penerima akibat terhalang objek.
Particle Swarm Optimization		PSO	Algoritma optimasi berbasis populasi yang terinspirasi dari perilaku kawanan burung atau ikan.
Path Loss		PL	Pelemahan daya sinyal (dalam satuan dB) selama proses propagasi dari pemancar ke penerima.

Preprocessing		-	Tahapan pembersihan dan penyiapan data (menangani missing value, outlier, normalisasi) sebelum pemodelan.
Reference Signal Received Power		RSRP	Ukuran kekuatan sinyal referensi yang diterima oleh perangkat mobile.
Received Signal Strength Indicator		RSSI	Indikator kekuatan sinyal yang diterima.
Root Mean Square Error		RMSE	Akar rata-rata kuadrat error prediksi (lebih peka terhadap error besar).
Shadowing		-	Pelemahan sinyal secara lambat akibat penghalang besar seperti bangunan atau topografi.
Support Vector Regression		SVR	Metode regresi berbasis Support Vector Machine yang efektif untuk data non-linear dengan margin error.
Urban / Perkotaan		-	Lingkungan kota dengan kepadatan bangunan tinggi, jalur elevated, dan kompleksitas propagasi sinyal.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

mengenai karakteristik path loss pada lingkungan perkotaan juga telah dilakukan pada sistem komunikasi bergerak 4G LTE. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengukuran path loss pada daerah urban dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan, seperti keberadaan bangunan dan tingginya aktivitas di sekitar area pengukuran. Hasil penelitian juga menunjukkan adanya perbedaan antara nilai path loss hasil pengukuran dan hasil perhitungan model propagasi, dengan nilai rata-rata error yang berbeda pada setiap BTS. Hal tersebut menunjukkan bahwa karakteristik lingkungan dan kondisi propagasi pada setiap lokasi dapat menyebabkan tingkat kesesuaian model propagasi terhadap data pengukuran menjadi berbeda. Oleh karena itu, diperlukan metode prediksi yang mampu menyesuaikan karakteristik data dan lingkungan propagasi untuk memperoleh hasil prediksi path loss yang lebih akurat (Syahroni dkk., 2022)

Perkembangan metode prediksi path loss berbasis machine learning juga menunjukkan bahwa pendekatan berbasis data memiliki potensi untuk meningkatkan akurasi prediksi dibandingkan pendekatan konvensional. mengembangkan metode prediksi path loss berbasis *neural network ensemble* untuk meningkatkan akurasi dan performa prediksi. Penelitian tersebut membandingkan metode yang diusulkan dengan berbagai metode machine learning, termasuk Support Vector Machine (SVM) dan K-Nearest Neighbor (k-NN). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode berbasis machine learning mampu menghasilkan prediksi yang mendekati data hasil pengukuran, termasuk pada kondisi *Non-Line-of-Sight* (NLoS) yang dipengaruhi oleh hambatan seperti bangunan dan pepohonan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan pendekatan machine learning dapat menjadi alternatif yang efektif dalam memodelkan karakteristik path loss yang kompleks dan bervariasi sesuai kondisi lingkungan (Kwon & Son, 2024).

Berbagai model propagasi empiris seperti Okumura-Hata, COST231-Hata, maupun COST231 Walfisch-Ikegami telah banyak digunakan untuk memprediksi

nilai *path loss* pada jaringan komunikasi seluler. Akan tetapi, model-model tersebut dikembangkan berdasarkan karakteristik lingkungan tertentu sehingga akurasi sering kali menurun ketika diterapkan pada lingkungan LRT perkotaan yang memiliki kondisi propagasi lebih kompleks. Variasi ketinggian bangunan, jalur rel yang berada di atas permukaan tanah (*elevated track*), kepadatan kendaraan, serta perubahan kondisi lingkungan sepanjang lintasan menyebabkan pola pelemahan sinyal berbeda dengan lingkungan perkotaan pada umumnya. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan data hasil pengukuran langsung pada lintasan LRT perkotaan sebagai dasar dalam membangun model prediksi *path loss* yang lebih representatif terhadap kondisi lapangan. (Bouzidi dkk., 2022)

Perkembangan teknologi *Artificial Intelligence* (AI), khususnya *Machine Learning*, memberikan pendekatan baru dalam pemodelan propagasi gelombang radio karena mampu mempelajari hubungan kompleks antara berbagai parameter propagasi berdasarkan data pengukuran aktual. Berbeda dengan model empiris yang menggunakan persamaan tetap, machine learning dapat mengidentifikasi pola nonlinier antara parameter seperti frekuensi, jarak, tinggi antenna pemancar, tinggi antenna penerima, dan nilai *path loss*. Pada penelitian ini digunakan dua algoritma regresi, yaitu Support Vector Regression (SVR) dan K-Nearest Neighbor (KNN). SVR memiliki kemampuan yang baik dalam memodelkan hubungan nonlinier dengan tingkat generalisasi yang tinggi, sedangkan KNN mampu melakukan prediksi berdasarkan kemiripan karakteristik data di sekitarnya. Kedua algoritma tersebut akan dilatih menggunakan data pengukuran pada lingkungan LRT perkotaan sehingga model yang dihasilkan diharapkan mampu merepresentasikan kondisi propagasi sebenarnya. (Iliev dkk., 2024)

Sejumlah penelitian terdahulu telah memanfaatkan machine learning untuk memprediksi *path loss* menggunakan algoritma seperti *Artificial Neural Network* (ANN), *Random Forest*, *Extreme Gradient Boosting* (XGBoost), maupun Deep Learning pada berbagai jenis lingkungan propagasi. Namun, penelitian yang secara khusus membandingkan kinerja *Support Vector Regression* (SVR) dan *K-Nearest Neighbor* (KNN) dalam pemodelan *path loss* berdasarkan data pengukuran pada lingkungan LRT perkotaan masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian juga

berfokus pada jaringan seluler makro atau kawasan perkotaan secara umum tanpa mempertimbangkan karakteristik propagasi khas di sepanjang lintasan LRT yang dipengaruhi oleh struktur rel layang, bangunan di sekitar jalur, serta mobilitas kereta. Kesenjangan penelitian tersebut menjadi dasar perlunya pengembangan model prediksi yang lebih sesuai dengan kondisi propagasi pada lingkungan LRT perkotaan. (Shaibu dkk., 2024)

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pemodelan *path loss* pada lingkungan LRT perkotaan menggunakan pendekatan machine learning berbasis *Support Vector Regression* (SVR) dan *K-Nearest Neighbor* (KNN). Model dibangun berdasarkan data hasil pengukuran lapangan pada jalur LRT dengan memanfaatkan parameter propagasi yang relevan, kemudian dilakukan evaluasi menggunakan metrik *Root Mean Square Error* (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), dan koefisien determinasi (R^2) untuk mengetahui algoritma yang memberikan tingkat akurasi terbaik. Hasil penelitian diharapkan dapat menghasilkan model prediksi *path loss* yang lebih akurat dibandingkan pendekatan konvensional serta menjadi referensi dalam proses perencanaan dan optimasi jaringan komunikasi nirkabel pada sistem transportasi LRT perkotaan, khususnya pada kondisi propagasi yang diperoleh dari pengukuran nyata di lapangan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis karakteristik *path loss* pada lingkungan LRT perkotaan berdasarkan data hasil pengukuran lapangan sehingga diperoleh gambaran kondisi propagasi gelombang radio pada lintasan LRT.
2. Mengembangkan model prediksi *path loss* menggunakan algoritma Support Vector Regression (SVR) berdasarkan parameter propagasi yang digunakan dalam penelitian.
3. Mengembangkan model prediksi *path loss* menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) berdasarkan data pengukuran pada lingkungan LRT perkotaan.

- 4 Mengevaluasi dan membandingkan kinerja model SVR dan KNN dalam memprediksi nilai path loss menggunakan metrik evaluasi seperti Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), dan koefisien determinasi (R^2).
- 5 Menentukan algoritma machine learning yang memberikan tingkat akurasi prediksi terbaik untuk pemodelan path loss pada lingkungan LRT perkotaan sehingga dapat menjadi acuan dalam perencanaan dan optimasi jaringan komunikasi nirkabel di kawasan tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah Penelitian ini mencakup Aspek di bawah ini:

Penelitian ini dibatasi pada pemodelan path loss di lingkungan LRT perkotaan berdasarkan data hasil pengukuran lapangan yang dilakukan pada lintasan LRT sebagai representasi kondisi propagasi di area penelitian. Model prediksi yang digunakan hanya mencakup dua algoritma machine learning, yaitu Support Vector Regression (SVR) dan K-Nearest Neighbor (KNN), tanpa membahas atau membandingkannya dengan algoritma machine learning lainnya. Data yang digunakan terdiri atas parameter propagasi utama, meliputi jarak antara pemancar dan penerima (distance), frekuensi operasi (frequency), tinggi antenna pemancar (transmitter antenna height), dan tinggi antenna penerima (receiver antenna height), dengan target prediksi berupa nilai path loss hasil pengukuran. Penelitian tidak membahas aspek perancangan perangkat keras, optimasi jaringan, maupun pengaruh kondisi cuaca, interferensi, fading, dan variasi trafik komunikasi terhadap propagasi sinyal. Evaluasi kinerja model difokuskan pada kemampuan prediksi menggunakan parameter Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), dan koefisien determinasi (R^2), sehingga hasil penelitian diarahkan untuk memperoleh model yang paling akurat dalam memprediksi path loss pada lingkungan LRT perkotaan.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun untuk memberikan gambaran mengenai alur pembahasan penelitian sehingga memudahkan pembaca dalam memahami isi

penelitian secara keseluruhan. Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian yang menjelaskan pentingnya pemodelan *path loss* pada lingkungan LRT perkotaan sebagai salah satu upaya dalam meningkatkan kualitas perencanaan sistem komunikasi nirkabel. Selain itu, bab ini memuat tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan yang menjadi dasar pelaksanaan penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep dasar propagasi gelombang radio, *path loss* pada sistem komunikasi nirkabel, karakteristik sistem komunikasi pada lingkungan LRT perkotaan, model propagasi COST-231 sebagai dasar teoritis, konsep *machine learning* untuk pemodelan *path loss*, metode Support Vector Regression (SVR), metode K-Nearest Neighbor (KNN), tahapan pembentukan model prediksi, evaluasi kinerja model menggunakan parameter Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), dan Coefficient of Determination (R^2), serta penelitian terdahulu yang relevan sebagai acuan dalam penelitian ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi lokasi penelitian, teknik pengumpulan data, jenis dan variabel penelitian, tahapan *preprocessing* data, pembagian data pelatihan dan data pengujian, pembangunan model menggunakan algoritma Support Vector Regression (SVR) dan K-Nearest Neighbor (KNN), serta metode evaluasi performa model menggunakan nilai MAE, RMSE, dan R^2 . Pada bab ini juga disajikan diagram alir penelitian yang menggambarkan seluruh tahapan penelitian secara sistematis.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

menyajikan hasil implementasi model COST-231, K-Nearest Neighbor (KNN), dan Support Vector Regression (SVR), serta analisis tambahan menggunakan pendekatan hybrid COST-231 dengan machine learning. Selain itu, dilakukan

evaluasi kinerja menggunakan RMSE, MAE, dan R^2 serta perbandingan performa seluruh model.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian serta saran yang dapat digunakan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya dalam pemodelan *path loss* menggunakan metode *machine learning* pada lingkungan komunikasi nirkabel maupun lingkungan propagasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Barrios-Ulloa, A., Cama-Pinto, A., De-La-Hoz-Franco, E., Ramírez-Velarde, R., & Cama-Pinto, D. (2023). Modeling Of Path Loss For Radio Wave Propagation In Wireless Sensor Networks In Cassava Crops Using Machine Learning. *Agriculture (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/Agriculture13112046>
- Bouzidi, M., Mohamed, M., Dalveren, Y., Moldsvor, A., Cheikh, F. A., & Derawi, M. (2022). Propagation Measurements For IQRF Network In An Urban Environment. *Sensors*, 22(18). <https://doi.org/10.3390/S22187012>
- Duangsuwan, S., & Maw, M. M. (2021). Comparison Of Path Loss Prediction Models For UAV And Iot Air-To-Ground Communication System In Rural Precision Farming Environment. *Journal Of Communications*, 16(2), 60–66. <https://doi.org/10.12720/Jcm.16.2.60-66>
- Elmezughi, M. K., Salih, O., Afullo, T. J., & Duffy, K. J. (2022). Comparative Analysis Of Major Machine-Learning-Based Path Loss Models For Enclosed Indoor Channels. *Sensors*, 22(13). <https://doi.org/10.3390/S22134967>
- Famoriiji, O. J., & Shongwe, T. (2022). Path Loss Prediction In Tropical Regions Using Machine Learning Techniques: A Case Study. *Electronics (Switzerland)*, 11(17). <https://doi.org/10.3390/Electronics11172711>
- Famoriiji, O. J., & Shongwe, T. (2022). Path Loss Prediction In Tropical Regions Using Machine Learning Techniques: A Case Study. *Electronics (Switzerland)*, 11(17). <https://doi.org/10.3390/Electronics11172711>
- Iliev, I., Velchev, Y., Petkov, P. Z., Bonev, B., Iliev, G., & Nachev, I. (2024). A Machine Learning Approach For Path Loss Prediction Using Combination Of Regression And Classification Models. *Sensors*, 24(17). <https://doi.org/10.3390/S24175855>
- Jo, H. S., Park, C., Lee, E., Choi, H. K., & Park, J. (2020). Path Loss Prediction Based On Machine Learning Techniques: Principal Component Analysis, Artificial Neural Network And Gaussian Process. *Sensors (Switzerland)*, 20(7). <https://doi.org/10.3390/S20071927>
- Kwon, B., & Son, H. (2024). Accurate Path Loss Prediction Using A Neural Network Ensemble Method. *Sensors*, 24(1). <https://doi.org/10.3390/S24010304>

- Li, J., Liu, L., & Guan, K. (2022). Narrow-Band Radio Propagation Prediction Based On A Highly Accurate Three-Dimensional Railway Environment Model. *Wireless Communications And Mobile Computing*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3341316>
- Nakamura, K., Kurita, I., Iwamoto, K., Matsumura, Y., & Takahashi, M. (2023). Radio Propagation Characteristics Of 40ghz Band Millimeter-Wave On Curved Sections Of Railway Environment. *IEICE Communications Express*, 12(9), 475–479. <https://doi.org/10.1587/Comex.2023xbl0074>
- Nasional, J., & Elektro, T. (2023). *Attribution-Noncommercial 4.0 International. Some Rights Reserved Path Loss Prediction Accuracy Based On Random Forest Algorithm In Palembang City Area*. 12(1). <https://doi.org/10.25077/Jnte.V12n1.1051.2023>
- Odesanya, I., Isabona, J., Oghu, E., & Roberts Omasheye, O. (2023). *Hybrid Empirical And Machine Learning Approach To Efficient Path Loss Predictive Modelling: An Overview*.
- Salous, S., Lee, J., Kim, M. D., Sasaki, M., Yamada, W., Raimundo, X., & Cheema, A. A. (2020). Radio Propagation Measurements And Modeling For Standardization Of The Site General Path Loss Model In International Telecommunications Union Recommendations For 5G Wireless Networks. *Radio Science*, 55(1). <https://doi.org/10.1029/2019RS006924>
- Shaibu, F. E., Onwuka, E. N., Salawu, N., & Oyewobi, S. S. (2024). *Evaluating The Effectiveness Of Machine Learning Models For Path Loss Prediction At 3.5 Ghz With Focus On Feature Prioritization*. 43(4). <https://doi.org/10.4314/Njt>
- Shao, Y., Jiang, H., & Zhao, H. (2021). Stackelberg Game-Based Radio Resource Management Algorithm In An Urban Rail Transit Communication System. *Urban Rail Transit*, 7(2), 128–138. <https://doi.org/10.1007/S40864-021-00147-6>
- Syahroni, M., Fauziah, A., Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi, P., & Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe, T. (2022). Analisis Path Loss Dengan Model Macro-Cell Pada Komunikasi Bergerak 4G LTE Di Kota Lhokseumawe. 06(02).
- Tataria, H., Haneda, K., Molisch, A. F., Shafi, M., & Tufvesson, F. (2021). Standardization Of Propagation Models For Terrestrial Cellular Systems: A Historical Perspective. Dalam *International Journal Of Wireless Information Networks* (Vol. 28, Nomor 1, Hlm. 20–44). Springer. <https://doi.org/10.1007/S10776-020-00500-9>

- Xu, H., Xu, X., & Xiao, F. (2021). Dubhe: A Deep-Learning-Based B5G Coverage Analysis Method. *Eurasip Journal On Advances In Signal Processing*, 2021(1). <https://doi.org/10.1186/S13634-021-00779-7>
- RF Wireless World. (2025, Januari 26). *Wifi On Trains: Architectures, Advantages, And Technologies*. Diakses Pada (30 Agustus 2026) Dari <https://www.rfwireless-world.com/articles/wifi-on-trains>
- Damosso, E., & Correia, L. M. (Eds.). (1999). Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems: COST Action 231 Final Report. European Commission. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/F2f42003-4028-4496-Af95-Beaa38fd475f/language-en>
- Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles And Practice* (2nd Ed.). Prentice Hall. <https://www.informit.com/store/wireless-communications-principles-and-practice-9780130422323>
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements Of Statistical Learning: Data Mining, Inference, And Prediction* (2nd Ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>
- Chugh, R. (2020). *MAE, MSE, RMSE, Coefficient Of Determination, Adjusted R Squared—Which Metric Is Better?* Analytics Vidhya. https://medium.com/analytics-vidhya/mae-mse-rmse-coefficient-of-determination-adjusted-r-squared-which-metric-is-better-cd0326a5697e?utm_