

SKRIPSI
PEMODELAN PREDIKSI *PATH LOSS* MENGGUNAKAN *MULTIPLE*
***LINEAR REGRESSION* PADA LINGKUNGAN URBAN DAN**
PERBANDINGANNYA DENGAN MODEL ECC-33 DAN COST231-HATTA



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 Ferdiansyah
132022027

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2026

SKRIPSI

PEMODELAN PREDIKSI *PATH LOSS* MENGGUNAKAN *MULTIPLE LINIER REGRESSION* PADA LINGKUNGAN URBAN DAN PERBANDINGANNYA DENGAN MODEL ECC-33 DAN COST231-HATTA



Merupakan Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
24 Agustus 2026

Dipersiapkan Dan Disusun Oleh
MUHAMMAD FERDIANSYAH
132022027

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2026**

SKRIPSI

PEMODELAN PREDIKSI *PATH LOSS* MENGGUNAKAN *MULTIPLE LINEAR REGRESSION* PADA LINGKUNGAN URBAN DAN PERBANDINGANNYA DENGAN MODEL ECC-33 DAN COST231-HATTA



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

Dipersiapkan dan Disusun Oleh
MUHAMMAD FERDIANSYAH

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



Dr. A. Junaidi, M.T
NIDN. 0202026502

Menyetujui

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dr. Teby 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 Ferdiansyah

MOTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

“I am still here. Saya mungkin tidak selalu menjadi yang paling kuat, paling cepat, atau paling percaya diri dalam menjalani perjalanan ini. Ada banyak malam yang dipenuhi rasa lelah, keraguan, kegagalan, dan keinginan untuk menyerah. Namun, saya memilih untuk terus berjalan, karena saya percaya bahwa setiap perjuangan yang dijalani dengan sabar akan membawa saya lebih dekat pada tujuan. This thesis is not a proof that the journey was easy, but a proof that I never stopped fighting.

(The Script — “Hall of Fame”)

Persembahan

Dengan penuh rasa syukur, skripsi ini penulis persembahkan kepada orang-orang yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan saya. Di balik pencapaian ini terdapat doa, dukungan, pengorbanan, dan perjuangan yang tidak selalu terlihat. Terima kasih kepada semua yang telah menemani hingga penulis sampai di titik ini.

1. Untuk kedua orang tuaku tercinta, Ayah Faulus Edwar dan Ibu Sarina, terima kasih atas doa, pengorbanan, dan kasih sayang yang selalu mengiringi setiap langkahku. *Everything I am today is because you never stopped believing in me, even when I almost stopped believing in myself.* Skripsi ini bukan hanya hasil perjuanganku, tetapi juga bagian kecil dari perjuangan kalian. *This achievement is ours.*
2. Untuk Dosen Pembimbing I, Dr. Bengawan Alfaresi, S.T., M.T. dan Dosen Pembimbing II, Dr. Wiwin A. Oktaviani, S.T., M.Sc., terima kasih atas ilmu, waktu, arahan, dan kesabaran dalam membimbing penulis hingga skripsi ini dapat diselesaikan.
3. Untuk seluruh dosen dan staf Universitas Muhammadiyah Palembang, khususnya Program Studi Teknik Elektro, terima kasih atas ilmu,

bimbingan, pelayanan, dan dukungan yang telah diberikan selama penulis menempuh pendidikan hingga menyelesaikan skripsi ini.

4. Untuk kakak perempuanku Fifien Febriany dan adik laki-lakiku M. Fiki Al Aziiz, terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidupku. *You both mean more than you know. Semoga kita selalu saling menguatkan dan menjadi alasan untuk terus melangkah. No matter where life takes us, you will always be part of my story.*
5. Untuk Alm Kakek H. Wancik dan Nenek Siti Asma, terima kasih atas kasih sayang dan doa yang selalu menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Kakek dan Nenek begitu menantikan hari ketika ketiga cucunya dapat wisuda bersama, namun takdir berkata lain. Kakek lebih dahulu dipanggil Allah, sementara Nenek belum dapat hadir karena sakit. Meski kalian tidak dapat menyaksikan momen tersebut, kasih sayang dan doa kalian akan selalu menyertai langkah kami. Al-Fatihah H.Wancik bin Mahmud.
6. Untuk keluarga besarku tercinta, terima kasih atas doa, kasih sayang, dan dukungan yang selalu menjadi kekuatan dalam setiap langkahku. Sejauh apa pun langkah ini membawaku, keluarga selalu menjadi tempat untuk pulang.
7. Untuk teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Angkatan 2022, terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan yang penuh cerita, tawa, tekanan, dan perjuangan. *We started this journey together, and may we find success in every path we choose. See you on top, guys!*
8. Untuk teman-teman KKN 65, khususnya Kelompok 29, terima kasih atas kebersamaan, cerita, tawa, dan pengalaman yang telah menjadi bagian berharga dalam perjalanan ini. Singkat waktunya, tetapi akan selalu panjang dalam kenangannya. *May we always remember this chapter with a smile.*
9. Untuk sosok yang mungkin tidak hebat dan tidak selalu kuat, tetapi memilih untuk tetap bertahan dan melangkah maju ketika menyerah terasa lebih mudah, yaitu diriku sendiri Muhammad Ferdiansyah, Terima kasih telah melewati lelah, ragu, kecewa, dan semua hal yang hanya kamu sendiri yang tahu. *You may not be the strongest, but you never gave up. Untuk semua yang telah kamu lalui, proud of you!!!*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya jualah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **PEMODELAN PREDIKSI *PATH LOSS* MENGGUNAKAN *MULTIPLE LINEAR REGRESSION* PADA LINGKUNGAN URBAN DAN PERBANDINGANNYA DENGAN MODEL ECC-33 DAN COST231-HATTA** 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, 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.Dr. 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 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, 07 Mei 2026

Penulis,

Muhammad Ferdiansyah

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi path loss pada lingkungan urban menggunakan metode *Multiple Linear Regression* (MLR) serta membandingkan kinerjanya dengan model empiris ECC-33 dan COST231-HATTA. Data penelitian diperoleh melalui pengukuran lapangan (drive test) pada lingkungan perkotaan dengan jumlah data sebanyak 13.054 titik pengukuran. Parameter yang digunakan dalam pembentukan model MLR meliputi jarak antara pemancar dan penerima, frekuensi, tinggi antenna base station, dan tinggi antenna mobile station, sedangkan nilai path loss hasil pengukuran digunakan sebagai variabel respons. Pembentukan model dilakukan menggunakan pendekatan Ordinary Least Squares (OLS) melalui perhitungan matriks untuk memperoleh nilai koefisien regresi. Evaluasi kinerja menunjukkan bahwa model MLR menghasilkan nilai Mean Squared Error (MSE) sebesar 123,9043 dan Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 11,1312 dB. Sementara itu, model ECC-33 menghasilkan MSE sebesar 2.981,829 dan RMSE sebesar 54,6061 dB dan model COST231-HATTA menghasilkan MSE sebesar 129,2114 dan RMSE 11,36712. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model MLR memiliki tingkat kesalahan prediksi yang lebih rendah dibandingkan ECC-33 dan COST231-HATTA. Dengan demikian, model MLR yang dikembangkan mampu merepresentasikan karakteristik propagasi pada lingkungan urban dengan kinerja prediksi yang lebih baik dibandingkan model ECC-33.

Kata kunci: Path Loss, Multiple Linear Regression, ECC-33, COST231-HATTA

ABSTRACT

This study aims to develop a path loss prediction model for urban environments using the Multiple Linear Regression (MLR) method and to compare its performance with the empirical ECC-33 and COST231-HATTA models. The research data were obtained through field measurements (drive tests) conducted in an urban environment, comprising a total of 13,054 measurement points. The parameters used to develop the MLR model include the distance between the transmitter and receiver, frequency, base station antenna height, and mobile station antenna height, while the measured path loss values were used as the response variable. The model was developed using the Ordinary Least Squares (OLS) approach through matrix calculations to obtain the regression coefficients. The performance evaluation shows that the MLR model achieved a Mean Squared Error (MSE) of 123.9043 and a Root Mean Square Error (RMSE) of 11.1312 dB. Meanwhile, the ECC-33 model produced an MSE of 2,981.829 and an RMSE of 54.6061 dB, while the COST231-HATTA model resulted in an MSE of 129.2114 and an RMSE of 11.36712 dB. These results indicate that the MLR model has a lower prediction error than the ECC-33 and COST231-HATTA models. Therefore, the developed MLR model is capable of representing propagation characteristics in urban environments and provides better prediction performance than the ECC-33 model.

Keywords: *Path Loss, Multiple Linear Regression, ECC-33, COST231-HATTA*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN.....	iii
MOTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUTSAKA.....	8
2.1 Sistem Komunikasi Seluler	8
2.1.1 Konsep Dasar Sistem Komunikasi Seluler	10
2.1.2 Base Station dan Mobile Station	10
2.1.3 Parameter Dasar Sistem Komunikasi Seluler	11
2.2 Karakteristik Propagasi Gelombang Radio pada Lingkungan Urban	11
2.2.1 Mekanisme Propagasi Gelombang Radio	13
2.3 Path Loss Pada Sistem Komunikasi Nirkabel.....	14
2.3.1 Perhitungan <i>Path Loss</i> Berdasarkan Hasil Pengukuran	15
2.3.2 Hubungan Jarak, Frekuensi, dan Ketinggian Antena terhadap <i>Path Loss</i>	16
2.4 Model Prediksi Path Loss	17
2.4.1 Konsep Model Empiris <i>Path Loss</i>	18
2.4.2 Parameter Model Prediksi <i>Path Loss</i>	20
2.4.3 Model Prediksi Berbasis Data Pengukuran.....	22
2.5 Model ECC-33	23

2.5.1 Konsep Dasar Model ECC-33.....	23
2.5.2 Persamaan Model ECC-33	24
2.5.3 Parameter Model ECC-33	25
2.6 Model Cost-231 Hata	28
2.6.1 Persamaan Faktor Koreksi Antena MS <i>ahm</i>	30
2.7 Multiple Linear Regression (MLR)	31
2.7.1 Persamaan Umum Multiple Linear Regression	32
2.7.2 Metode Ordinary Least Squares (OLS)	33
2.7.3 Matriks Variabel Independen (A).....	33
2.7.4 Matriks Variabel Dependen (Y)	34
2.7.5 Matriks Koefisien Regresi (B)	35
2.7.6 Perhitungan Determinan Matriks	35
2.8 Parameter Pengembangan Model Prediksi <i>Path Loss</i>	36
2.9 Evaluasi Kinerja Model Prediksi	37
2.10 Parameter Evaluasi Model	38
2.10.1 Mean Squared Error (MSE)	38
2.10.2 Root Mean Square Error (RMSE).....	39
2.11 Penelitian Terdahulu	40
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	43
3.1 Lokasi Dan Objek Penelitian	43
3.1.1 Lokasi Penelitian	43
3.1.2 Objek Penelitian	43
3.2 Teknik Pengumpulan Data	43
3.3 Jenis Dan Variabel Penelitian.....	45
3.3.1 Jenis Penelitian.....	45
3.3.2 Variabel Penelitian	45
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	46
BAB 4 DATA, PERHITUNGAN, PEMBAHASAN DAN ANALISA.....	48
4.1 Data Pengukuran	48
4.1.1 Data Hasil Pengukuran.....	48
4.2 Prediksi Path Loss Menggunakan Model ECC-33.....	49
4.2.1 Perhitungan Model ECC-33	49
4.2.2 Hasil Prediksi Path Loss Menggunakan Model ECC-33	51
4.3 Prediksi Path Loss Menggunakan Model COST231-HATTA	52

4.3.1 Hasil Prediksi Path Loss Menggunakan Cost231-Hatta	53
4.4 Pembentukan Model Multiple Linear Regression.....	54
4.4.1 Persamaan Matriks Model Multiple Linear Regresion	54
4.4.2 Koefisien Hasil Multiple Linear Regression.....	56
4.4.3 Persamaan Model Prediksi Path Loss	57
4.4.4 Hasil Prediksi Multiple Linear Regression	57
4.5 Evaluasi Kinerja Model.....	58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Path Loss	8
Gambar 2. 2 Ilustrasi Propagasi Gelombang Radio Pada Lingkungan Urban	12
Gambar 3. 1 Aplikasi Net Monitor.....	44
Gambar 3. 2 Tampilan aplikasi pengukuran jaringan LTE	44
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Penelitian Terdahulu	41
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengukuran.....	48
Tabel 4. 2 Hasil Prediksi Path Loss Menggunakan Model ECC-33	51
Tabel 4. 3 Hasil Prediksi Path Loss Menggunakan Cost231-Hatta	53
Tabel 4. 4 Koefisien Model Multiple Linear Regression	57
Tabel 4. 5 Tabel Hasil Prediksi.....	58
Tabel 4. 6 Hasil Evaluasi Kinerja Model	59

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel dalam beberapa tahun terakhir berlangsung cukup pesat, terutama dengan diterapkannya jaringan 4G Long Term Evolution (LTE) dan 5G New Radio (NR), serta mulai dikembangkannya teknologi komunikasi generasi berikutnya seperti 6G. Perkembangan tersebut sejalan dengan meningkatnya kebutuhan terhadap layanan komunikasi yang memiliki kecepatan tinggi, latensi rendah, dan konektivitas yang stabil. Kondisi ini membuat operator telekomunikasi perlu merancang jaringan radio dengan cakupan yang luas, kapasitas yang memadai, serta kualitas layanan yang baik (Oladimeji et al. 2022). Dalam proses perencanaan jaringan tersebut, Salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam perencanaan jaringan adalah *path loss*, yaitu penurunan daya sinyal yang terjadi ketika gelombang elektromagnetik merambat dari antenna pemancar menuju antenna penerima. Besarnya *path loss* dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jarak antara pemancar dan penerima, frekuensi yang digunakan, kondisi topografi, serta karakteristik lingkungan tempat gelombang merambat. Prediksi *path loss* yang tepat diperlukan dalam berbagai proses perencanaan jaringan, seperti perhitungan *link budget*, penentuan cakupan sel (*coverage*), penempatan *base station*, pengendalian interferensi, dan perencanaan kebutuhan infrastruktur. Hal ini menjadi semakin penting pada wilayah perkotaan karena adanya gedung, jalan, kendaraan, dan berbagai objek lain yang dapat memengaruhi proses propagasi sinyal. Oleh karena itu, diperlukan model prediksi *path loss* yang dapat memberikan hasil yang mendekati kondisi sebenarnya sehingga dapat digunakan sebagai salah satu dasar dalam perencanaan dan optimasi jaringan komunikasi nirkabel (Juang 2022).

Untuk memprediksi *path loss*, telah banyak dikembangkan model empiris, seperti Okumura-Hata, COST-231 Hata, Stanford University Interim (SUI),

Ericsson, dan ECC-33. Model-model tersebut cukup banyak digunakan dalam perencanaan jaringan komunikasi nirkabel karena perhitungannya relatif sederhana dan dapat memberikan perkiraan nilai pelemahan sinyal berdasarkan kondisi lingkungan propagasi yang digunakan. (Wang et al. 2023). Dari beberapa model tersebut, ECC-33 memiliki kemampuan prediksi yang cukup baik pada kondisi propagasi tertentu, terutama pada penggunaan frekuensi yang lebih tinggi. Meskipun demikian, model empiris pada dasarnya dikembangkan berdasarkan data hasil pengukuran dari wilayah tertentu, sehingga hasil prediksinya belum tentu sesuai ketika diterapkan pada lingkungan dengan kondisi propagasi yang berbeda. Pada lingkungan *urban city*, kondisi propagasi cenderung lebih kompleks karena adanya kepadatan bangunan, perbedaan tinggi gedung, kendaraan, pepohonan, serta berbagai objek lainnya yang dapat menghalangi perambatan sinyal. Kondisi tersebut dapat menyebabkan terjadinya refleksi, difraksi, hamburan (*scattering*), dan *shadowing* yang lebih kuat. Akibatnya, tingkat ketelitian model empiris dapat berkurang ketika model tersebut diterapkan pada wilayah yang memiliki karakteristik lingkungan berbeda dari lokasi tempat model tersebut dikembangkan. (Sudhamani et al. 2024).

Perbedaan kondisi lingkungan propagasi menyebabkan model empiris tidak selalu dapat memberikan hasil prediksi *path loss* yang akurat pada setiap wilayah. Karena itu, diperlukan model prediksi yang menggunakan data hasil pengukuran langsung dari lokasi penelitian agar karakteristik propagasi pada wilayah tersebut dapat lebih terwakili. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Multiple Linear Regression* (MLR). Metode ini digunakan untuk mengetahui hubungan linear antara variabel dependen dan beberapa variabel independen sehingga dapat menghasilkan model prediksi yang relatif sederhana dan mudah dipahami. Penggunaan MLR juga memungkinkan pengaruh masing-masing variabel terhadap nilai *path loss* dianalisis secara lebih jelas, terutama apabila model dibangun menggunakan data pengukuran yang cukup dan sesuai dengan kondisi wilayah penelitian. (Cohen and Alqudah 2023). Dalam penelitian prediksi *path loss*, metode MLR dapat menggunakan beberapa parameter propagasi, seperti jarak antara pemancar dan penerima, frekuensi operasi, tinggi antenna pemancar (*base station*),

dan tinggi antenna penerima (*mobile station*) sebagai variabel dalam pembentukan model. Koefisien regresi pada MLR diperoleh dari data hasil pengukuran di lokasi penelitian, sehingga model yang terbentuk dapat menyesuaikan dengan kondisi propagasi yang terdapat pada wilayah tersebut. Hal ini berbeda dengan model empiris yang umumnya menggunakan parameter dan koefisien yang telah ditentukan berdasarkan hasil pengukuran pada wilayah tertentu. Dengan menggunakan data pengukuran lokal, MLR dapat memberikan gambaran hubungan antara parameter propagasi dengan nilai *path loss* sesuai kondisi sebenarnya di lapangan. Pendekatan tersebut diharapkan dapat mengurangi kesalahan prediksi dan menghasilkan estimasi *path loss* yang lebih sesuai, terutama pada lingkungan *urban city* yang memiliki banyak bangunan dan objek penghalang yang memengaruhi perambatan sinyal. (Jang et al. 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas dan membandingkan kinerja berbagai model prediksi *path loss*, seperti Okumura-Hata, COST-231 Hata, ECC-33, serta metode berbasis *machine learning*. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa setiap model memiliki tingkat ketelitian yang berbeda-beda dan tidak selalu memberikan hasil terbaik pada semua kondisi lingkungan. Perbedaan hasil prediksi tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kondisi geografis wilayah, kepadatan bangunan, frekuensi yang digunakan, serta karakteristik propagasi pada lokasi pengukuran. (Wang et al. 2023). Meskipun sudah banyak penelitian mengenai prediksi *path loss*, penelitian yang secara khusus menggunakan metode *Multiple Linear Regression* (MLR) dengan data hasil pengukuran pada lingkungan *urban city* dan membandingkan hasilnya secara langsung dengan model ECC-33 masih belum banyak ditemukan. Penggunaan data pengukuran langsung dari lokasi penelitian dapat membantu model menyesuaikan koefisien regresinya dengan kondisi propagasi yang sebenarnya di lapangan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan model prediksi *path loss* menggunakan MLR pada lingkungan *urban city* dan membandingkan hasil prediksinya dengan model ECC-33. Kinerja kedua model kemudian dievaluasi menggunakan nilai RMSE, MAE, dan R^2 untuk mengetahui

model yang memberikan hasil prediksi paling sesuai dengan data pengukuran pada kondisi lingkungan perkotaan. (Sudhamani et al. 2024).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi *path loss* menggunakan metode *Multiple Linear Regression* (MLR) dengan memanfaatkan data hasil pengukuran pada lingkungan *urban city*, kemudian membandingkan hasilnya dengan model empiris ECC-33. Model MLR dibentuk berdasarkan data yang diperoleh langsung dari lokasi penelitian sehingga persamaan yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan kondisi propagasi sinyal pada wilayah perkotaan tersebut. Selanjutnya, hasil prediksi dari MLR dan ECC-33 dibandingkan dengan data pengukuran untuk mengetahui tingkat ketelitian masing-masing model. Evaluasi dilakukan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Error* (MAE), dan *Coefficient of Determination* (R^2) sebagai parameter untuk melihat seberapa baik model dalam memprediksi nilai *path loss*. (Abu-mahfouz 2023). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan model propagasi yang menggunakan data pengukuran dari kondisi lingkungan setempat sehingga menghasilkan prediksi yang lebih sesuai dengan kondisi sebenarnya. Model yang diperoleh dapat digunakan sebagai salah satu referensi dalam perencanaan dan optimasi jaringan komunikasi seluler di lingkungan *urban city*. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya dalam mengembangkan model prediksi propagasi yang dapat menyesuaikan dengan karakteristik lingkungan yang berbeda. (Wang et al. 2023).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan model prediksi *path loss* menggunakan metode *Multiple Linear Regression* (MLR) berdasarkan data hasil pengukuran pada lingkungan *urban city*.
2. Membentuk persamaan matematis model prediksi *path loss* berbasis *Multiple Linear Regression* yang sesuai dengan karakteristik propagasi pada lingkungan *urban city*.

3. Membandingkan performa model Multiple Linear Regression dengan model empiris ECC-33 dalam memprediksi path loss berdasarkan data hasil pengukuran.
4. Mengevaluasi tingkat akurasi kedua model menggunakan parameter Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), dan Coefficient of Determination (R^2) untuk menentukan model yang memberikan hasil prediksi terbaik pada lingkungan urban city.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada lingkungan urban city berdasarkan data hasil pengukuran (*drive test*) yang merepresentasikan karakteristik propagasi sinyal di kawasan perkotaan.
2. Data yang digunakan merupakan data hasil pengukuran lapangan (*measured path loss*) yang diperoleh melalui proses *drive test* pada lokasi penelitian.
3. Pengembangan model Multiple Linear Regression (MLR) menggunakan parameter jarak antara pemancar dan penerima (*distance*), frekuensi operasi (*frequency*), tinggi antenna pemancar (*base station antenna height*), dan tinggi antenna penerima (*mobile station antenna height*) sebagai variabel prediktor.
4. Model prediksi *path loss* yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan metode Multiple Linear Regression (MLR) sebagai pendekatan statistik untuk membentuk persamaan prediksi berdasarkan data hasil pengukuran.
5. Model pembanding yang digunakan dalam penelitian ini adalah model empiris ECC-33.
6. Evaluasi dan perbandingan kinerja model dilakukan menggunakan parameter Root Mean Square Error (RMSE) dan Mean Absolute Error (MAE), untuk menilai tingkat akurasi hasil prediksi terhadap data pengukuran.

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian yang menjelaskan pentingnya prediksi *path loss* dalam perencanaan jaringan komunikasi nirkabel, identifikasi permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Pada bab ini juga dijelaskan alasan perlunya pengembangan model prediksi *path loss* menggunakan Multiple Linear Regression (MLR) dan perbandingannya dengan model ECC-33 dan COST231-HATTA pada lingkungan urban city.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang menjadi landasan penelitian, meliputi konsep propagasi gelombang radio, *path loss*, karakteristik propagasi pada lingkungan urban, model-model empiris prediksi *path loss*, khususnya ECC-33 dan COST231-HATTA, konsep Multiple Linear Regression (MLR), penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, serta kerangka pemikiran penelitian sebagai dasar dalam pengembangan model prediksi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan pelaksanaan penelitian yang meliputi desain penelitian, Lokasi, objek penelitian dan diagram alir proses pengumpulan data melalui *drive test*, parameter yang digunakan, teknik pengolahan data, pembangunan model prediksi menggunakan Multiple Linear Regression (MLR), implementasi model ECC-33 dan COST231-HATTA sebagai pembanding, serta metode evaluasi kinerja model menggunakan parameter Root Mean Square Error (RMSE) dan Mean Absolute Error (MAE)

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengolahan data dan pembentukan model prediksi *path loss* menggunakan Multiple Linear Regression (MLR). Selanjutnya dilakukan

analisis terhadap hasil prediksi model yang dikembangkan dan perbandingannya dengan model ECC-33 dan COST231-HATTA berdasarkan nilai RMSE, dan MAE. Bab ini juga membahas interpretasi hasil penelitian, kelebihan dan keterbatasan model, serta pengaruh parameter-parameter propagasi terhadap tingkat akurasi prediksi *path loss* pada lingkungan urban city.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, serta saran yang dapat dijadikan acuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya dalam pengembangan model prediksi *path loss* menggunakan metode statistik maupun pendekatan lainnya pada berbagai karakteristik lingkungan propagasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulhameed, Abdulghafor A. 2022. "Design a Compact Printed Log-Periodic Biconical Dipole Array Antenna for EMC Measurements." 1–20.
- Abu-mahfouz, Adnan M. 2023. "Performance of Path Loss Models over Mid-Band and High-Band Channels for 5G Communication Networks : A Review."
- According, Low-voltage Switchgear, Łukasz Sołtysek, Jerzy Szczepanik, Radosław Dudzik, and Maciej Sułowicz. 2021. "Protection and Control Standards with Auto Diagnosis for The."
- Almeida, Felipe Valencia De, Victor Takashi Hayashi, Reginaldo Arakaki, Edson Midorikawa, Sérgio De Mello Canovas, Paulo Sergio Cugnasca, Pedro Luiz, and Pizzigatti Corrêa. 2022. "Via a Remote Lab."
- Anisotropy, Optical, W. Waldemar, Zhengbing Hu, Yuriy Ushenko, Andrzej Smolarz, Iryna Soltys, Oleksander Dubolazov, Oleksander Ushenko, Olexandra Litvinenko, Ivan Mikirin, Ivan Gordey, Oleksandr Pavlyukovich, Sergii Pavlov, Natalia Pavlyukovich, and Saltanat Amirgaliyeva. 2024. "Optical Sensor System for 3D Jones Matrix Reconstruction of Soft Matter Films."
- Artemenko, Oleksandr, Alina Rubina, Adarsh Harishchandra Nayak, Sanjeeth Baptist, and Andreas Mitschele-thiel. 2016. "EAI Endorsed Transactions Evaluation of Di Ff Erent Signal Propagation Models for a Mixed Indoor-Outdoor Scenario Using Empirical Data." 2(7):1–8.
- Bonati, Leonardo, Michele Polese, Salvatore D. Oro, Stefano Basagni, and Tommaso Melodia. 2020. "Open , Programmable , and Virtualized 5G Networks : State-of-the-Art and the Road Ahead." 182(December):1–32. [doi:10.1016/j.comnet.2020.107516.1](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107516.1).
- Bouzidi, Mohammed. 2022. "Propagation Measurements for IQRF Network in an Urban Environment." 1–21.
- Cabot, John H., and Elsie Gyang Ross. 2024. "Evaluating Prediction Model Performance." 174(3):723–26. [doi:10.1016/j.surg.2023.05.023.Evaluating](https://doi.org/10.1016/j.surg.2023.05.023.Evaluating).
- Cholet, Stephane, and Emmanuel Biabiany. 2023. "Applied Sciences A Framework for Frugal Supervised Learning with Incremental Neural Networks."
- Cohen, Achraf, and Yazan A. Alqudah. 2023. "On the Application of Generalized Linear Mixed Models for Predicting Path Loss in LTE Networks." *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 1:1–13. [doi:10.1186/s13634-022-00957-1](https://doi.org/10.1186/s13634-022-00957-1).
- Ding, Xiaoyu, Xu Yuan, Tao Ju, Guohao Yu, Bingliang Zhang, Zhongkai Du, Zhongming Zeng, Baoshun Zhang, and Xinping Zhang. 2023. "P-GaN Selective Passivation via H Ion Implantation to Obtain a p-GaN Gate Normally

- off AlGaN / GaN HEMT.” 10–15.
- Dropout, Membership. 2022. “Hybrid Random Forest Survival Model to Predict Customer.” 1–19.
- Gajdzica, Krystian. 2019. “Discriminants of Special Quadrinomials.” 1–15.
- Guo, Wanying, Nawab Muhammad, Faseeh Qureshi, Isma Farah, and Dong Ryeol. 2022. “Cooperative Communication Resource Allocation Strategies for 5G and Beyond Networks: A Review of Architecture , Challenges and Opportunities Signal to Noise Ratio.” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* 34(10):8054–78. doi:10.1016/j.jksuci.2022.07.019.
- Haule, Kristjan, and Kun Chen. 2020. “Single-Particle Excitations in the Uniform Electron Gas by Diagrammatic Monte Carlo A Silly.” (Dmc):17–24.
- Hunter, Michael D., Robert M. Kirkpatrick, and Michael C. Neale. 2025. “Show Me Some ID : A Universal Identification Program for Structural Equation Models.” 418–41. doi:10.1017/psy.2025.19.
- Isabona, Joseph, Agbotiname Lucky Imoize, Stephen Ojo, Olukayode Karunwi, Yongsung Kim, Cheng-chi Lee, and Chun-ta Li. 2022. “Applied Sciences Development of a Multilayer Perceptron Neural Network for Optimal Predictive Modeling in Urban Microcellular Radio Environments.”
- James, Gareth, Daniela Witten, Trevor Hastie, and Robert Tibshirani. 2023. “An Introduction to Statistical Learning.”
- Jang, K. I. Joung, Sejun Park, Junseok Kim, Youngkeun Yoon, Chung-sup Kim, Young-jun Chong, and Ganguk Hwang. 2022. “Path Loss Model Based on Machine Learning Using Multi-Dimensional Gaussian Process Regression.” *IEEE Access* 10(November):115061–73. doi:10.1109/ACCESS.2022.3217912.
- Juang, Rong-terng. 2022. “Path Loss Modelling Based on Path Profile in Urban Propagation Environments.” (August 2021):685–94. doi:10.1049/cmu2.12369.
- Lakshmi, K., B. Mahaboob, M. Rajaiah, C. Narayana, Koneru Lakshmaiah, and Education Foundation. 2021. “Ordinary Least Squares Estimation of Parameters of Linear Model.” 11(2):2015–30.
- Luis, Jose, Berna Moya, Anke Van Oosterhout, and Mark T. Marshall. 2024. “Exploring Multimodal Haptic Feedback.”
- Manuel, Juan, Rozas Andaur, and Gonzalo A. Ruz. 2021. “Predicting Out-of-Stock Using Machine Learning: An Application in a Retail Packaged Foods Manufacturing Company.”
- Method, Ensemble. 2024. “Accurate Path Loss Prediction Using a Neural Network.” 1–20.

- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. 2021. *No Title*.
- Motors, Switched Reluctance. 2022. "Applied Sciences An NUTSF at Sub-Region for Suppression of Torque Ripple in Switched Reluctance Motors."
- Oladimeji, Tolulope T., Pradeep Kumar, and Nicholas O. Oyie. 2022. "Heliyon Propagation Path Loss Prediction Modelling in Enclosed Environments for 5G Networks : A Review." *Heliyon* 8(11):e11581. doi:10.1016/j.heliyon.2022.e11581.
- Olukanni, Seyi E. 2023. "A Gaussian Process Regression Model to Predict Path Loss for an Urban Environment." 9(2):10–21. doi:10.5815/ijmsc.2023.02.02.
- Olukunle, Akande Akinyinka, Akinde Olusola Kunle, Odeyinka Oluwadara Joel, Ilori Abolaji Okikiade, Adigun Matthew Olusegun, and Ajagbe Sunday Adeola. 2023. "Development of a Modified Propagation Model of a Wireless Mobile Communication System in a 4G Network." 13(6):6489–6500. doi:10.11591/ijece.v13i6.pp6489-6500.
- Pang, Jiyong, Shaobo Wang, Zhenfei Tang, Yanmin Qin, Xiaofeng Tao, Xiaohu You, and Jinkang Zhu. 2022. "A New 5G Radio Evolution towards 5G-Advanced." 65(September):1–45.
- Phaiboon, Supachai. 2022. "Accurate Empirical Path Loss Models with Route Classification for MmWave Communications." 2022. doi:10.1155/2022/2780029.
- Rashidi, Hooman H., Samer Albahra, Scott Robertson, Nam K. Tran, and Bo Hu. 2023. "Common Statistical Concepts in the Supervised Machine Learning Arena." (February):1–14. doi:10.3389/fonc.2023.1130229.
- Rey-bou, Alexis B., N. F. Guerrero-rodr, Johannes Stöckl, and Thomas I. Strasser. 2022. "Enhanced Control of Three-Phase Grid-Connected Renewables with Fault Ride-Through Capability under Voltage Sags." 1–17.
- Silva, Virginia, Graduate Student Member, Rodolfo Feick, Life Senior Member, and Reinaldo A. Valenzuela. 2022. "Empirical Comparison of Propagation Models for Relay-Based Networks in Urban Environments." 10:7313–25. doi:10.1109/ACCESS.2022.3141887.
- Sudhamani, Chilakala, Mardeni Roslee, Lee Loo Chuan, and Athar Waseem. 2024. "Comparative Analysis and Optimization of Path Loss Models for Small Cell Wireless Communication Systems." *Cogent Engineering* 11(1). doi:10.1080/23311916.2024.2402894.
- Sudhamani, Chilakala, Mardeni Roslee, Lee Loo, Chuan Athar, Waseem Anwar, and Faizd Osman. 2025. "Small Cell Path Loss Model Optimization Using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization Algorithm." 4811–22.
- Sunaga, Ayaki, and Timo Fleig. 2022. "Spectroscopic and Electric Properties of the TaO + Molecule Ion for the Search of New Physics: A Platform for

Identification and State Control.”

Systems, Lora. 2024. “A Critical Review of the Propagation Models Employed in LoRa Systems.” 1–41.

Tataria, Harsh, Katsuyuki Haneda, Andreas F. Molisch, Mansoor Shafi, and Fredrik Tufvesson. 2021. “Standardization of Propagation Models for Terrestrial Cellular Systems: A Historical Perspective.” *International Journal of Wireless Information Networks* 28(1):20–44. doi:10.1007/s10776-020-00500-9.

Wallace, Lance. 2023. “Monitors in Three Western States over 4 . 7 Years.”

Wang, Jian, Yulong Hao, and Cheng Yang. 2023. “The Current Progress and Future Prospects of Path Loss Model for Terrestrial Radio Propagation.”

Yang, Zetian, Zhongtai Zhu, Zixuan Chen, Mingjia Liu, Binbin Zhao, Yansong Liu, Zefei Cheng, Shuo Wang, Weidong Yang, and Tao Yu. 2021. “Recent Advances in Self-Powered Piezoelectric and Triboelectric Sensors: From Material and Structure Design to Frontier Applications of Artificial Intelligence.”

Zhang, Leihong, Weihong Lin, Zimin Shen, Dawei Zhang, Banglian Xu, Kaimin Wang, and Jian Chen. 2023. “Infrared Dim and Small Target Sequence Dataset Generation Method Based on Generative Adversarial Networks.”