

Komparasi dan Optimasi Model Propagasi pada Sistem Komunikasi Seluler di Kota Palembang

Mohammad Fadhli* dan Sopian Soim

Program Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya,
Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: mohammad.fadhli@polsri.ac.id

Abstrak—Terdapat berbagai macam model propagasi yang dapat digunakan untuk memprediksi *path loss*. Setiap model propagasi diklasifikasikan berdasarkan kategori lingkungannya. Pembagian kategori lingkungan ini bersifat subjektif, sehingga untuk mendapatkan prediksi yang akurat diperlukan pemilihan kategori lingkungan yang tepat. Penelitian ini membandingkan empat jenis model propagasi dengan hasil pengukuran RSL pada lima *site* di Kota Palembang. Model yang dibandingkan adalah Okumura Hata, ECC-33, Ericsson dan SUI. Berdasarkan komparasi menggunakan parameter RMSE, Kota Palembang menurut model Okumura Hata termasuk dalam kategori *large urban*. Sedangkan pada model ECC-33 termasuk kategori *medium urban*. Pada model Ericsson termasuk kategori *suburban*, dan pada model SUI termasuk dalam tipe *terrain A*. Dari perbandingan keempat model berdasarkan RMSE dan standar deviasi, diketahui bahwa pada hasil pengukuran lima *site* di Kota Palembang, model ECC-33 memiliki akurasi yang tinggi dengan RMSE 3,28 dB dan standar deviasi 2,74 dB. Setelah dioptimasi, model Okumura Hata juga memberikan akurasi prediksi yang tinggi, dengan RMSE 1,75 dB dan standar deviasi 0,76 dB. Sehingga disarankan untuk menggunakan model ECC-33 *medium urban* atau model Okumura Hata *large urban* yang telah dioptimasi untuk memprediksi *path loss* di Kota Palembang.

Kata Kunci : Model Propagasi, Optimasi, Kategori Lingkungan, Okumura Hata, ECC-33, Ericsson, SUI

Abstract—Various propagation models can be used to predict path loss. Each propagation model is classified according to its environment categories. These environment categories are purely subjective, therefore to get accurate predictions, proper environment category selection is needed. In this paper, four propagation models are compared with RSL measurements at five sites in Palembang City. The models being compared are Okumura Hata, ECC-33, Ericsson, and SUI. Based on comparison using RMSE parameters, large urban is the appropriate environment category for Palembang City in the Okumura Hata model. For ECC-33, the appropriate environment category is medium urban. In the Ericsson model, the appropriate category is suburban, and terrain type A for SUI model. From the comparison of four models based on RMSE and standard deviations, it is known that for measurement results of five sites in Palembang City, the ECC-33 model has high accuracy with RMSE of 3,28 dB and standard deviation of 2,74 dB. After optimization, the Okumura Hata model provides an RMSE of 1,75 dB and a standard deviation of 0,76 dB. It is recommended to use the Medium Urban ECC-33 model or the optimized Large Urban Okumura Hata model to predict path loss in Palembang City.

Keywords : Propagation Models, Optimization, Environment Categories, Okumura Hata, ECC-33, Ericsson, SUI.

1. Pendahuluan

Sistem komunikasi seluler merupakan salah satu sarana komunikasi yang banyak digunakan pada saat ini. Banyaknya jumlah pengguna harus diikuti dengan layanan yang maksimal dari operator. Layanan yang maksimal dapat diperoleh melalui proses perencanaan dan optimasi jaringan secara terukur dan akurat.

Diantara bentuk kegiatan perencanaan dan optimasi jaringan seluler yang penting dilakukan adalah memprediksi daya terima sinyal dalam suatu sel. Hal ini perlu dilakukan agar dapat diprediksi sejauh mana *coverage area* suatu sel, sebab perencanaan *coverage area* yang baik akan berpengaruh terhadap kualitas layanan yang diberikan.

Daya terima sinyal dapat diprediksi berdasarkan

nilai *path loss*. Terdapat beberapa model propagasi yang dapat digunakan untuk memprediksi *path loss*. Diantaranya adalah model Okumura Hata [1], Stanford University Interim (SUI), ECC-33[2], Ericsson [3] dan lain-lain. Model-model tersebut didapatkan berdasarkan serangkaian pengukuran *path loss* pada satu wilayah tertentu yang kemudian disesuaikan dengan karakteristik sistem pengukuran seperti karakteristik wilayah, tinggi antenna, *gain* antenna dan lain-lain [4].

Dalam proses perencanaan dan optimasi sistem seluler, perlu dipilih model propagasi yang paling sesuai untuk diterapkan di suatu wilayah, sehingga didapatkan hasil prediksi yang tidak berbeda jauh dengan hasil pengukuran. Sebab model yang cocok diterapkan di satu wilayah belum tentu cocok digunakan di wilayah yang lain, jika wilayah tersebut memiliki karakteristik yang berbeda.

Model propagasi diklasifikasikan berdasarkan kategori lingkungan. Sebagai contoh, model Okumura Hata dibagi menjadi *urban*, *suburban* dan *open area* [1]. Sedangkan model ECC-33 dibedakan menjadi dua kategori, yaitu *large urban* dan *small urban* [2]. Pembagian kategori lingkungan ini bersifat subjektif, sebab standar besar dan kecilnya kota harus mengikuti standar dimana model ini dikembangkan [4]. Jadi untuk mendapatkan prediksi yang akurat, harus digunakan model dengan kategori lingkungan yang tepat.

Berbagai penelitian telah membahas model propagasi yang tepat untuk diterapkan di berbagai daerah. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan dengan cara membandingkan daya sinyal dari hasil pengukuran dengan daya sinyal dari hasil prediksi menggunakan berbagai model propagasi.

Penelitian pada artikel [5-7] mengevaluasi model propagasi di wilayah Nigeria, sedangkan penelitian [8] mengevaluasi untuk wilayah Kanakata *state* India. Pada penelitian [9] dilakukan analisis komparatif dari beberapa model propagasi untuk jaringan LTE di NCR *region* Delhi India, dan didapatkan kesimpulan bahwa model Ericsson paling cocok untuk diterapkan di daerah tersebut.

Beberapa penelitian juga telah dilakukan untuk memilih model propagasi yang paling tepat untuk berbagai kota di Indonesia. Pada penelitian [10] dibandingkan beberapa model propagasi untuk di terapkan di Kota Tarakan Kalimantan Utara. Didapatkan kesimpulan bahwa model COST-231 Hata paling sesuai di Kota Tarakan. Selain itu, pada penelitian ini juga dilakukan optimasi terhadap model COST-231 Hata untuk meningkatkan

akurasi model.

Pada penelitian sebelumnya juga telah dibandingkan beberapa model propagasi untuk Kota Palembang. Artikel [11] membandingkan dua jenis model propagasi, yaitu model *PCS Extension to Hata* dan model SUI. Diantara kedua model tersebut, model SUI lebih mendekati hasil pengukuran daya terima sinyal di lapangan.

Untuk mengembangkan hasil penelitian yang ada pada artikel [11], pada artikel ini akan dibandingkan hasil pengukuran daya terima dengan beberapa model lainnya, sehingga didapatkan model propagasi yang paling sesuai di Kota Palembang. Model yang akan dibandingkan adalah model Okumura Hata, model ECC-33, model Ericsson dan model SUI. Dari tiap model, ditentukan terlebih dahulu kategori lingkungan yang paling tepat untuk diterapkan di Kota Palembang. Setelah itu dilakukan analisis komparasi antara hasil prediksi dengan hasil pengukuran berdasarkan nilai *root mean square error* (RMSE) dan standar deviasi. Hal ini bertujuan untuk menemukan model yang paling akurat. Setelah itu dilakukan optimasi model jika diperlukan.

2. *Path Loss* Pada Sistem Komunikasi Nirkabel

Path loss merupakan atenuasi yang dialami oleh daya sinyal selama merambat di saluran transmisi. Besarnya nilai *path loss* bisa didapatkan dengan menghitung selisih antara daya pancar efektif (ERP) dengan daya yang ditangkap oleh antenna penerima. *Path loss* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [12]:

$$PL(dB) = ERP - P_r \quad (1)$$

Dimana ERP (*Effective Radiated Power*) merupakan daya pancar efektif dalam dBm dan P_r merupakan daya terima atau *received signal level* (RSL) dalam dBm. Besarnya ERP dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [1]:

$$ERP(dBm) = P_t - G_t - L_c - L_{ot} \quad (2)$$

Dimana P_t merupakan daya pancar dalam dBm, G_t merupakan *gain* antenna pemancar dalam dB, serta L_c dan L_{ot} merupakan loss konektor dan loss dari faktor-faktor lain dalam satuan dB.

3. Model Propagasi

Secara umum terdapat beberapa jenis model propagasi yang dapat digunakan untuk memprediksi *path loss*. Salah satunya adalah model empiris. Model empiris merupakan suatu model yang digunakan untuk memprediksi *path loss* pada suatu karakteristik lingkungan tertentu berdasarkan parameter-parameter sistem telekomunikasi seperti ketinggian antenna, frekuensi kerja, *gain* antenna dan lain sebagainya [13].

Model empiris didapatkan dari serangkaian hasil pengukuran *path loss* yang kemudian dibangun menjadi suatu fungsi matematis dengan parameter-parameter yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan tertentu, frekuensi serta parameter-parameter lainnya, sehingga dapat meminimalkan *error* diantara model dan hasil pengukuran [13].

4.1. Model Okumura Hata

Model Okumura Hata merupakan salah satu model empiris yang didasarkan kepada serangkaian hasil pengukuran *path loss* di lingkungan *urban*. Model ini cocok untuk digunakan pada jangkauan frekuensi 150-1000 MHz dan 1500-2000 MHz. Model ini dapat memprediksi *path loss* dalam jarak 1-20 km. Berdasarkan model ini, besarnya *path loss* diantara antenna pemancar dan antenna penerima dinyatakan dengan persamaan berikut [1]:

$$PL(dB) = (69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_t) + (44,9 - 6,55 \log h_t) \log d - C \quad (3)$$

Dimana f_c (dalam MHz) merupakan frekuensi, h_t (dalam meter) merupakan tinggi antenna *base station* dan d merupakan jarak antara antenna *base station* dengan antenna *mobile station* dalam meter. Variabel C merupakan fungsi ketinggian antenna *mobile station* berdasarkan kategori lingkungan yang terdiri dari *suburban*, *open area* dan *urban*. Untuk kategori *suburban* dapat dihitung menggunakan persamaan (4):

$$C = 2 \log^2 \left(\frac{f_c}{28} \right) + 5,4 \quad (4)$$

Sedangkan untuk kategori *open area* dihitung menggunakan persamaan (5):

$$C = 4,78 \log^2 f_c + 18,33 \log f_c + 40,94 \quad (5)$$

Untuk kategori *urban* terbagi lagi menjadi kota besar dan kota kecil. Untuk kota besar dengan $f_c \geq 300$ MHz dinyatakan dengan persamaan (6)

$$C = 4,78 \log^2 f_c + 18,33 \log f_c + 40,94 \quad (6)$$

Sedangkan untuk kota kecil dapat dihitung menggunakan persamaan (7):

$$C = (1,1 \log f_c - 0,7)h_r - (1,56 \log f_c - 0,8) \quad (7)$$

Dimana h_r (dalam meter) merupakan tinggi antenna *mobile station* [1].

4.2. Model ECC-33

Model ECC-33 dikembangkan oleh *Electronic Communication Committee* (ECC) yang merupakan ekstrapolasi dari data pengukuran Okumura Hata. Model ini diadaptasi untuk kategori kota medium dan kota besar. Pada model ini terdapat faktor koreksi untuk *suburban* dan *open area*. Model ini dapat digunakan untuk prediksi *path loss* pada frekuensi 700 MHz sampai 3,5 GHz. Berdasarkan model ECC-33 besarnya *path loss* dihitung dengan persamaan berikut [2]:

$$PL(dB) = A_{FS} + A_{BM} - G_T - G_R \quad (8)$$

$$A_{FS} = 92,4 + 20 \log d + 20 \log f_c \quad (9)$$

$$A_{BM} = 20,41 + 9,83 \log d + 7,89 \log f_c + 9,56(\log f_c)^2 \quad (10)$$

$$G_T = \log \frac{h_t}{200} [13,98 + 5,8(\log d)^2] \quad (11)$$

A_{FS} merupakan atenuasi sinyal dalam kondisi *free space*, dimana d dan f_c merupakan jarak dan frekuensi yang diukur dalam satuan km dan GHz.

Variabel G_R dibagi berdasarkan kategori lingkungan untuk kota menengah (*medium sized urban*) dan kota besar. Untuk kota besar G_R dihitung menggunakan persamaan (12), sedangkan untuk kota kecil dapat dihitung dengan persamaan (13):

$$G_R = 0,759h_r - 1,862 \quad (12)$$

$$G_R = [42,57 + 13,7 \log f_c][\log h_r - 0,585] \quad (13)$$

4.3. Model Ericsson

Model ini merupakan pengembangan dari model Okumura Hata agar dapat digunakan di frekuensi yang lebih tinggi. Model ini dikembangkan oleh *Ericsson company*. *Path loss* pada model ini dihitung menggunakan persamaan berikut [14]:

$$PL(dB) = a_0 + a_1 \log d + a_2 \log h_t + a_3 \log h_t \log d - 3,2(\log(11,75))^2 + g(f) \tag{14}$$

$$g(f) = 44,49 \log f_c - 4,78(\log(f_c))^2 \tag{15}$$

Nilai variabel a_0, a_1, a_2 dan a_3 berbeda berdasarkan kategori lingkungannya, yang dibedakan menjadi *urban, suburban* dan *rural*. Masing-masing nilai untuk tiap kategori lingkungan terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Model Ericsson[15]

	a_0	a_1	a_2	a_3
Urban	36,2	30,2	12,0	0,1
Suburban	43,20	68,93	12,0	0,1
Rural	45,95	100,6	12,0	0,1

4.4. Model SUI

Model SUI dikembangkan dari kolaborasi antara Stanford University dengan IEEE 802.16 *group*. Model ini dibagi menjadi tiga kategori, yaitu kategori A, B dan C. Kategori A digunakan untuk wilayah dengan *path loss* paling besar diantara kategori yang lain, yang dapat terjadi pada wilayah berbukit yang memiliki konsentrasi vegetasi sedang hingga berat. Kategori B untuk wilayah dengan *path loss* sedang pada wilayah yang memiliki vegetasi sedang atau wilayah yang memiliki vegetasi berat dengan daratan yang datar. Kategori C untuk wilayah dengan *path loss* kecil pada wilayah yang datar dan vegetasi yang ringan.

Path loss pada model SUI dapat dihitung menggunakan persamaan-persamaan berikut ini [2].

$$PL(dB) = A + B + X_f + X_h + s \tag{16}$$

$$A = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \tag{17}$$

$$B = 10\gamma \log \left(\frac{d}{d_0} \right) \tag{18}$$

$$\gamma = a - b(h_t) + \left(\frac{c}{h_t} \right) \tag{19}$$

$$X_f = 6 \log \left(\frac{f_c}{2000} \right) \tag{20}$$

$$X_h = \begin{cases} -10,8 \log \left(\frac{h_r}{2} \right), & \text{terrain A, B} \\ -2 \log \left(\frac{h_r}{2} \right), & \text{terrain C} \end{cases} \tag{21}$$

Berdasarkan persamaan (15) sampai (20), variabel A merupakan *free space loss* yang diukur dalam dB. λ merupakan panjang gelombang dalam meter dan d_0 merupakan jarak referensi (dalam meter). γ merupakan *path loss* eksponen, sedangkan X_f merupakan faktor koreksi frekuensi dan X_h merupakan faktor koreksi tinggi antenna penerima. Variabel s merupakan variabel acak akibat adanya *large scale fading*. Nilai variabel s serta a, b dan c dibedakan berdasarkan kategori lingkungan (*terrain*) yang terdapat pada Tabel 2 [2].

Tabel 2. Parameter *Terrain* Model SUI

Parameter Model	<i>Terrain A</i>	<i>Terrain B</i>	<i>Terrain C</i>
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,005
c	12,6	17,1	20
s	10,6	9,4	8,2

4. Metode Penelitian

4.1. Sistem Pengukuran

Prediksi *path loss* dari tiap model dievaluasi berdasarkan data *path loss* hasil pengukuran. Pengukuran *path loss* dilakukan dengan cara mengukur daya yang diterima oleh perangkat *mobile station* pada jarak tertentu dari antenna *base station*. *Path loss* hasil pengukuran didapatkan dengan cara mencari selisih antara daya yang diterima dengan daya efektif (ERP) yang dipancarkan oleh antenna *base station*.

Artikel ini menggunakan data pengukuran yang sama dengan artikel [11]. Penelitian dilakukan pada lima *site* di Kota Palembang. Kelima *site* tersebut terdapat pada lokasi sebagai berikut:

1. Jl. Putri Rambut Selako, Gg. Kolam Sikam, Kel. Bukit Lama.
2. Jl. Tj. Pandan, RT. 07, RW. 01, Suka Maju, Sako.
3. Jl. HBR Motik, Kp. Minterejo, KM.8, No. 1880, Karya Baru, Kec. Alang-Alang Lebar.
4. Jl. Jendral Ahmad Yani, Gg. PU, 7 Ulu, Kec. Seberang Ulu 1.
5. Jl. Bangau, No. 40, 9 Ilir, Kec. Ilir Timur 2.

Posisi dari tiap *site* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Posisi *Site*

Parameter yang perlu diperhatikan dalam proses pengukuran dan pemodelan diantaranya adalah jarak, frekuensi, ketinggian antenna dan daya pancar. Pengukuran daya terima dilakukan tiap jarak 100 meter dari posisi *base station*. Pengukuran dimulai dari jarak 500 meter sampai 1500 meter, sehingga terdapat sebelas titik pengukuran pada tiap *site*. Sinyal yang diukur bekerja pada frekuensi 900 MHz. Ketinggian posisi antenna pada tiap *base station* berkisar dari 30 m – 45 m dengan ketinggian antenna *mobile station* 1 m. Semua *base station* memancarkan sinyal dengan daya sebesar 20 dBm. Daya diterima diukur menggunakan perangkat lunak *G-Net Track*.

4.2. Metode Evaluasi Model Prediksi *Path Loss*

Pada penelitian ini, daya terima (RSL) hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil prediksi dari model Okumura Hata, ECC-33, Ericsson dan SUI. Prediksi RSL dapat diketahui dari selisih antara ERP dengan perhitungan *path loss* pada tiap model. Prediksi *path loss* dengan model Okumura Hata dihitung menggunakan persamaan (3) sampai persamaan (7). Prediksi dengan model ECC-33 dihitung menggunakan persamaan (8) sampai persamaan (13). Model Ericsson dihitung menggunakan persamaan (14) dan persamaan (15). Sedangkan model SUI dihitung menggunakan persamaan (16) sampai persamaan (21).

Pada tahap pertama terlebih dahulu ditentukan kategori lingkungan yang tepat dari tiap model untuk Kota Palembang. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran dengan hasil prediksi di berbagai kategori lingkungan pada tiap model. Pada tahap kedua dilakukan perbandingan antar model yang berbeda. Hal ini

bertujuan untuk menemukan jenis model yang memiliki akurasi paling tinggi.

Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi akurasi model adalah nilai *root mean square error* (RMSE) dan standar deviasi dari selisih (*error*) hasil prediksi dengan hasil pengukuran. RMSE merupakan ukuran magnitudo rata-rata *error* antara nilai yang diprediksi oleh model *path loss* dengan hasil pengukuran. Sedangkan standar deviasi merupakan ukuran sebaran *error* hasil prediksi terhadap nilai rata-rata *error* [16]. Model yang dipilih adalah model dengan RMSE dan standar deviasi terkecil

Nilai RMSE dihitung menggunakan persamaan (22) [6]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |RSSM_i - RSSP_i|^2} \quad (22)$$

Dimana *RSSM* merupakan besarnya daya terima yang terukur pada tiap titik pengukuran dan *RSSP* merupakan daya terima yang diprediksi. Variabel *n* menunjukkan jumlah titik pengukuran pada tiap *site*.

Nilai standar deviasi dihitung menggunakan persamaan berikut [13]:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|RSSM_i - RSSP_i| - ME)^2} \quad (23)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |RSSM_i - RSSP_i| \quad (24)$$

dimana *ME* merupakan rata-rata *error* model propagasi pada tiap *site* pengukuran. Model yang layak digunakan adalah model yang memiliki $RMSE \leq 6$ dB dan standar deviasi ≤ 10 dB [17].

5. Hasil dan Pembahasan

5.1. Evaluasi Kategori Lingkungan

Pada bagian ini perbandingan nilai RMSE di berbagai kategori lingkungan pada tiap model disajikan dalam bentuk tabel. Hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 3 sampai Tabel 6.

Pada Tabel 3 ditunjukkan perbandingan RMSE pada model Okumura Hata untuk kategori lingkungan *large urban*, *small urban*, *suburban* dan *open area*. Kategori *large urban* memiliki rata-rata RMSE sebesar 22,82 dB, *small urban* sebesar 22,86 dB, *sub urban* sebesar 34,05 dB dan *open area* sebesar 160,89 dB. Sehingga dapat diketahui

bahwa pada model Okumura Hata Kota Palembang termasuk kepada kategori lingkungan *large urban*.

Nilai RMSE untuk model ECC-33 pada Tabel 4 menunjukkan bahwa kategori lingkungan *medium urban* memiliki rata-rata RMSE di seluruh *site* sebesar 3,28 dB. Sedangkan pada kategori *large urban* memiliki rata-rata RMSE sebesar 26,17 dB. Jadi dapat disimpulkan bahwa pada model ECC-33, kategori lingkungan yang tepat untuk Kota Palembang adalah *medium urban*.

Pada Tabel 5 disajikan nilai RMSE pada tiap *site* menggunakan model Ericsson dengan kategori lingkungan *urban*, *suburban* dan *rural*. Dapat diketahui bahwa kategori *urban* memiliki rata-rata RMSE di seluruh *site* sebesar 11,78 dB. Kategori *sub urban* memiliki rata-rata RMSE sebesar 7,55 dB, sedangkan kategori *rural* memiliki rata-rata RMSE sebesar 10,32 dB. Jadi dapat disimpulkan bahwa pada Model Ericsson Kota Palembang termasuk kepada kategori *sub urban*.

Untuk model SUI, nilai RMSE pada tiap *site* dapat dilihat di Tabel 6. Pada model ini dibagi menjadi tiga tipe *terrain*, yaitu tipe A, B dan C. Tipe *terrain* A memiliki rata-rata RMSE sebesar 19,70 dB. Tipe *terrain* B memiliki rata-rata RMSE sebesar 25,11 dB dan Tipe *terrain* C sebesar 26,11 dB. Jadi pada model SUI Kota Palembang termasuk pada Tipe *terrain* A.

Tabel 3. Perbandingan RMSE Pada Model Okumura Hata

Site	RMSE (dB)			
	Large Urban	Small Urban	Sub urban	Open Area
1	21,18	21,22	32,38	159,19
2	23,83	23,88	35,07	161,91
3	22,91	22,95	34,15	161,01
4	21,83	21,88	33,07	159,92
5	24,33	24,38	35,57	162,42
Rata-Rata	22,82	22,86	34,05	160,89

Tabel 4. Perbandingan RMSE Pada Model ECC-33

Site	RMSE (dB)	
	Large Urban	Medium Urban
1	24,53	2,83
2	27,52	4,31
3	26,26	3,01
4	25,16	1,84
5	27,67	4,42
Rata-Rata	26,17	3,28

Tabel 5. Perbandingan RMSE Pada Model Ericsson

Site	RMSE (dB)		
	Urban	Suburban	Rural
1	11,52	6,91	9,59
2	11,04	6,12	8,95
3	12,03	7,81	10,53
4	10,18	7,35	10,99
5	14,12	9,55	11,55
Rata-Rata	11,78	7,55	10,32

Tabel 6. Perbandingan RMSE Pada Model SUI

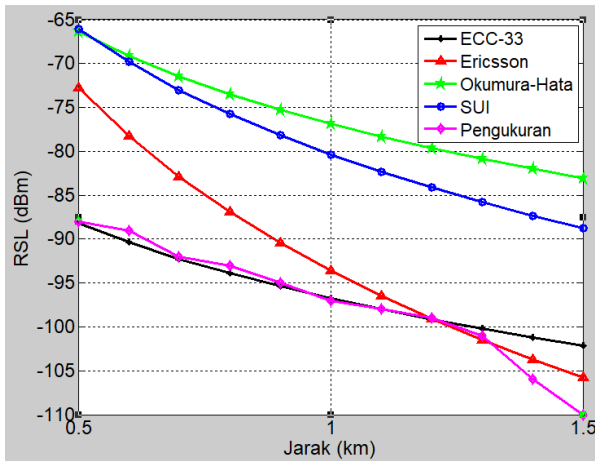
Site	RMSE (dB)		
	Terrain A	Terrain B	Terrain C
1	17,99	23,31	24,29
2	20,63	26,23	27,29
3	19,81	25,21	26,21
4	18,84	24,24	25,24
5	21,23	26,57	27,55
Rata-Rata	19,70	25,11	26,11

5.2. Evaluasi Akurasi Model

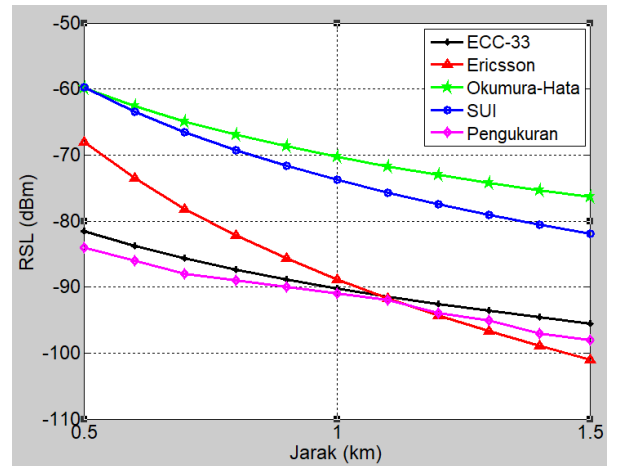
Grafik perbandingan RSL hasil pengukuran dengan hasil prediksi oleh keempat model pada lima *site* dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Nilai standar deviasi pada masing-masing *site* dapat dilihat pada Tabel 7. Sedangkan perbandingan rata-rata RMSE dan rata-rata standar deviasi dari keempat model disajikan dalam Tabel 8.

Berdasarkan Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 terlihat bahwa model ECC-33 memiliki grafik yang paling dekat dengan hasil pengukuran. Hasil ini juga dapat dikonfirmasi menggunakan data pada Tabel 8 yang menunjukkan bahwa model ECC-33 memiliki rata-rata RMSE terkecil dari model yang lain, yaitu sebesar 3,28 dB, dimana RMSE terbesar bernilai 4,42 yang terukur pada *site* 5 dan RMSE terkecil bernilai 1,84 dB di *site* 4. Nilai ini lebih kecil dari pada batas maksimum RMSE yang disarankan.

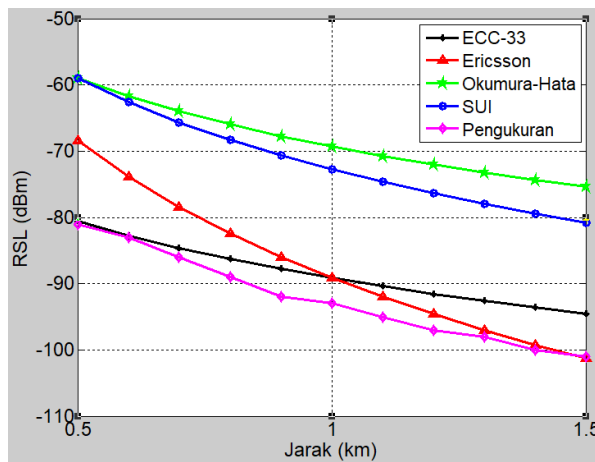
Parameter lain yang digunakan untuk menilai akurasi model *path loss* adalah nilai standar deviasi. Berdasarkan Tabel 7 dan Tabel 8 diketahui bahwa model ECC-33 memiliki rata-rata standar deviasi sebesar 2,74 dB, dimana standar deviasi terbesar bernilai 5,65 dB yang berada di *site* 1 dan standar deviasi terkecil sebesar 0,43 dB yang terukur di *site* 4. Nilai ini berada di bawah batas standar deviasi maksimum yang disarankan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk penggunaan di Kota Palembang, model ECC-33 memiliki akurasi yang cukup baik.



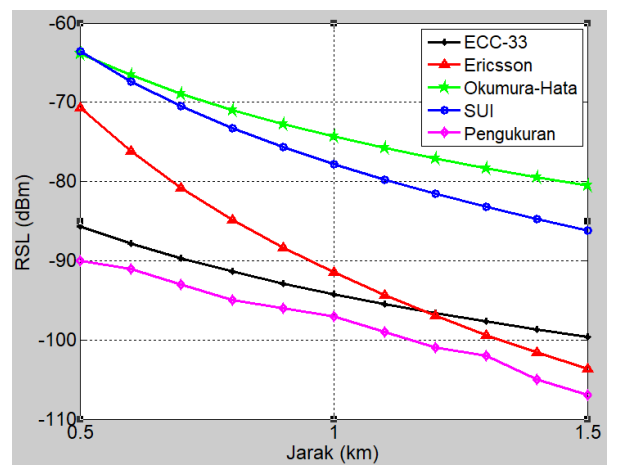
Gambar 2. Grafik RSL Pada Site 1



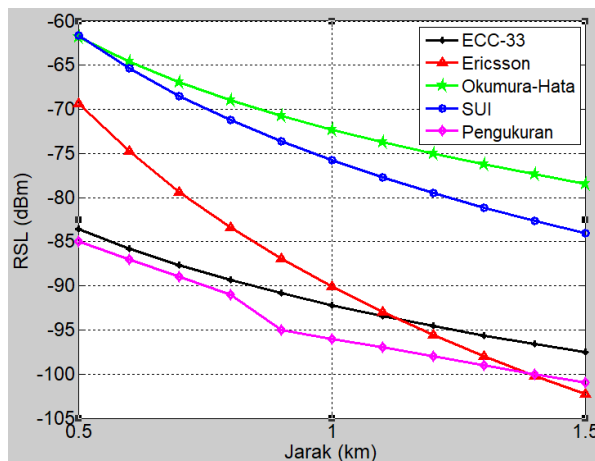
Gambar 5. Grafik RSL Pada Site 4



Gambar 3. Grafik RSL Pada Site 2



Gambar 6. Grafik RSL Pada Site 5



Gambar 4. Grafik RSL Pada Site 3

Tabel 7. Standar Deviasi

Site	Standar Deviasi (dB)			
	Okumura Hata	ECC-33	Ericsson	SUI
1	5,10	5,65	20,14	5,08
2	2,11	4,60	14,00	0,32
3	0,42	1,17	22,70	3,54
4	1,38	0,43	25,31	7,90
5	1,42	1,87	27,43	4,93
Rata-Rata	2,09	2,74	21,92	4,35

Tabel 8. Rata-Rata RMSE dan Standar Deviasi

Model	Parameter	
	RMSE (dB)	Standar Deviasi (dB)
Okumura Hata	22,82	2,09
ECC-33	3,28	2,74
Ericsson	7,55	21,92
SUI	19,70	4,35

Model Okumura Hata memiliki rata-rata standar deviasi sebesar 2,09 dB. Nilai ini lebih kecil dari pada model ECC-33. Pada model ini standar

deviasi terbesar ada di *site* 1 sebesar 5,10 dB. Sedangkan standar deviasi terkecil sebesar 0,42 dB yang berada di *site* 3. Namun model ini memiliki rata-rata RMSE yang cukup besar, yaitu 22,82 dB. Nilai ini lebih besar dari pada 6 dB yang merupakan batas maksimum RMSE yang disarankan. Oleh karena itu, model Okumura Hata dapat digunakan sebagai alternatif model ECC-33, namun harus dioptimasi terlebih dahulu untuk meminimalkan nilai RMSE-nya.

5.3. Optimasi Model

Pada artikel ini yang akan dioptimasi hanya Model Okumura Hata, karena memiliki standar deviasi yang terkecil diantara model lainnya, sehingga hanya perlu mengoptimasi rata-rata RMSE-nya saja. Optimasi dilakukan dengan cara menjumlahkan *path loss* yang diprediksi dengan nilai rata-rata RMSE [9]. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan (25).

$$PL_{Modified} = PL_{Okumura\ Hata} + 22,82 \quad (25)$$

Perbandingan RMSE dan standar deviasi model Okumura Hata sebelum dan setelah optimasi terdapat pada Tabel 9. Dapat dilihat bahwa setelah optimasi rata-rata RMSE model ini menurun menjadi 1,75 dB dan rata-rata standar deviasi menjadi 0,67 dB. Sehingga setelah optimasi model Okumura Hata dapat memprediksi *path loss* di Kota Palembang dengan akurasi yang tinggi.

Tabel 9. RMSE dan Standar Deviasi Okumura Hata Sebelum dan Sesudah Optimasi

Site	RMSE (dB)		Standar Deviasi	
	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi
1	21,18	2,87	5,10	0,76
2	23,83	1,75	2,11	0,67
3	22,91	0,65	0,42	0,16
4	21,83	1,56	1,38	0,46
5	24,33	1,90	1,42	1,32
Rata-Rata	22,82	1,75	2,09	0,67

6. Kesimpulan

Berdasarkan perbandingan RSL pengukuran dan hasil prediksi, didapatkan kategori lingkungan yang sesuai untuk Kota Palembang. Pada model Okumura Hata digunakan kategori lingkungan *large urban*, sedangkan pada model ECC-33 digunakan kategori *medium urban*. Pada model Ericsson, digunakan kategori *suburban*, dan untuk model SUI digunakan kategori *terrain A*.

Berdasarkan hasil pengukuran pada lima *site* di Kota Palembang, model ECC-33 merupakan model dengan akurasi yang paling bagus. Hal ini dibuktikan dengan nilai rata-rata RMSE-nya yang paling kecil diantara tiga model lainnya. Selain itu model ECC-33 juga memiliki rata-rata standar deviasi yang lebih kecil dari pada model Ericsson dan model SUI. Rata-rata RMSE dan rata-rata standar deviasi model ECC-33 juga berada di bawah batas maksimum yang disarankan.

Model Okumura Hata memiliki rata-rata standar deviasi yang terkecil dibandingkan tiga model lainnya. Akan tetapi model ini memiliki rata-rata RMSE sebesar 22,82 dB, dimana nilai ini melebihi batas maksimum yang disarankan sehingga perlu dioptimasi. Setelah dioptimasi, rata-rata RMSE model ini berkurang menjadi 1,7 dB dan standar deviasi menjadi 0,67 dB. Jadi model Okumura Hata yang telah dioptimasi dapat memprediksi *path loss* pada lima *site* yang diukur dengan akurasi yang tinggi.

Daftar Pustaka

[1] A. R. Mishra, *Fundamentals of Network Planning and Optimisation - 2G /2.5G /3G/4G...Evolution to 5G 2nd edition*. 2018.

[2] W. Lambrechts and S. Sinha, *Terrestrial and Millimeter-Wave Mobile Backhaul: A Last Mile Solution*, vol. 77. 2019.

[3] J. Milanovic, S. Rimac-Drlje, and K. Bejuk, "Comparison of propagation models accuracy for WiMAXon3.5GHz," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems*, 2007, pp. 111–114, doi: 10.1109/ICECS.2007.4510943.

[4] K. Fujimoto, *Mobile Antenna Systems Handbook 3rd edition*. 2008.

[5] J. C. Ogbulezie, M. U. Onuu, J. O. Ushie, and B. E. Usibe, "Propagation Models for GSM 900 and 1800 MHz for Port Harcourt and Enugu, Nigeria," *Netw. Commun. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–10, 2013, doi: 10.5539/nct.v2n2p1.

[6] O. F. Oseni, S. I. Popoola, R. O. Abolade, and O. A. Adegbola, "Comparative Analysis of Received Signal Strength Prediction Models for Radio Network Planning of GSM 900 MHz in Ilorin,

- Nigeria,” *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, no. 3, pp. 2278–3075, 2014, [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.676.1258&rep=rep1&type=pdf>.
- [7] K. M. Udofia, N. Friday, and A. J. Jimoh, “Okumura-hata propagation model tuning through composite function of prediction residual,” *Math. Softw. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 93–104, 2016.
- [8] Rakesh. N and K.Srivasta, “A Study on Path Loss Analysis for GSM Mobile Networks for Urban, Rural and Suburban Regions of Karnataka State,” *Int. J. Distrib. Parallel Syst.*, vol. 4, no. 1, pp. 53–66, 2013, doi: 10.5121/ijdps.2013.4105.
- [9] P. K. Sharma, D. Sharma, P. C. Sau, and A. Gupta, “Comparative analysis of propagation models in LTE networks with spline interpolation,” in *2nd International Conference on Communication, Control and Intelligent Systems, CCIS 2016*, 2017, pp. 3–7, doi: 10.1109/CCIntelS.2016.7878189.
- [10] S. Tahcfulloh and E. Riskayadi, “Optimized Suitable Propagation Model for GSM 900 Path Loss Prediction,” *TELKOMNIKA Indones. J. Electr. Eng.*, vol. 14, no. 1, 2015, doi: 10.11591/telkomnika.v14i1.7470.
- [11] M. P. A. Simarmata, S. Soim, and M. Fadhli, “Analisa Link Budget Dengan Perbandingan Pemodelan Propagasi Pada Komunikasi Selular Daerah Urban,” *J. Elektro dan Telekomun. Terap.*, vol. 5, no. 2, p. 712, 2019, doi: 10.25124/jett.v5i2.1989.
- [12] T. S. Rappaport, *Wireless Communications, Principles and Practice*. 2002.
- [13] A. Aragon-Zavala, *Indoor Wireless Communications*. 2017.
- [14] A. Zreikat and M. Dordevic, “Performance Analysis of Path loss Prediction Models in Wireless Mobile Networks in Different Propagation Environments,” in *Proceedings of the 3rd World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Science*, 2017, no. June, doi: 10.11159/vmw17.103.
- [15] M. Shahajahan and a Q. M. A. Hes-shafi, “Analysis of Propagation Models for WiMAX at 3.5 GHz,” 2009.
- [16] R. J. Hyndman and A. B. Koehler, “Another Look at Measures of Forecast Accuracy,” *Int. J. Forecast.*, vol. 22, November, pp. 679–688, 2005, doi: 10.1016/j.ijforecast.2006.03.001.
- [17] R. Verma and G. Saini, “Statistical tuning of Cost-231 Hata model at 1.8 GHz over dense urban areas of Ghaziabad,” in *Proceedings of the 10th INDIACom; 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development, INDIACom 2016*, 2016, pp. 1220–1225, Accessed: Apr. 14, 2020. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7724461>.

Biodata Penulis

Mohammad Fadhli, menyelesaikan pendidikan S1 di UNP Padang dan S2 di ITS Surabaya. Saat ini bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.

Sopian Soim, menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Sriwijaya Palembang dan S2 di ITS Surabaya. Saat ini bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.