

ANALISA PERBANDINGAN AKURASI MODEL PENDEKATAN EMPIRIS OKUMURA-HATA DENGAN MODEL EKSPERIMEN LOG-DISTANCE UNTUK MENGHITUNG REDAMAN GELOMBANG RADIO PADA DAERAH TERBUKA

Amir D¹, Jamaluddin², Fakh-rur Razi³, Ariefin⁴, Indrawati⁵

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

⁴ Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

⁵ Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jln. B. Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

lamird@pnl.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis rugi-rugi propagasi gelombang radio di lingkungan area terbuka dengan membandingkan pendekatan empiris dan eksperimental. Pengukuran dilakukan di tiga lokasi berbeda dengan karakteristik lingkungan yang bervariasi: sawah (Syamtalira Bayu), kolam ikan (Meuraksa Lancok), dan padang rumput (Arun Golf Club). Parameter teknis Base Transceiver Stations (BTS) digunakan untuk menghitung rugi-rugi lintasan secara empiris, sementara pengukuran lapangan menghasilkan data eksperimental. Hasilnya menunjukkan bahwa frekuensi dan kondisi lingkungan secara signifikan mempengaruhi rugi-rugi lintasan. Rugi-rugi empiris tertinggi terjadi pada 2329 MHz di area sawah, sementara yang terendah diamati di lokasi kolam ikan dengan 1870 MHz. Validasi model empiris terhadap data eksperimental menggunakan MAPE, RMSE, MAD, dan RE menunjukkan tingkat kesalahan yang relatif rendah, berkisar antara 2% dan 6%, yang menegaskan bahwa model empiris tersebut andal untuk memprediksi rugi-rugi lintasan area terbuka. Namun, variasi kesalahan di seluruh lokasi menyoroti perlunya penyesuaian lokal dengan mempertimbangkan efek vegetasi, medan, dan multipath. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan peningkatan model empiris melalui faktor koreksi lingkungan dan pendekatan empiris-eksperimental hibrida untuk mencapai prediksi yang lebih adaptif dan akurat dalam kondisi aktual.

Kata kunci: Empiris, gelombang, model, pathloss, prediksi, radio

Abstract. This study aims to analyze radio wave propagation loss in open-area environments by comparing empirical and experimental approaches. Measurements were conducted at three different locations with varying environmental characteristics: rice fields (Syamtalira Bayu), fish ponds (Meuraksa Lancok), and grass fields (Arun Golf Club). Technical parameters of Base Transceiver Stations (BTS) were used to calculate path loss empirically, while field measurements provided experimental data. The results indicate that frequency and environmental conditions significantly affect path loss. The highest empirical loss occurred at 2329 MHz in the rice field area, while the lowest was observed at the fish pond site with 1870 MHz. Validation of the empirical model against experimental data using MAPE, RMSE, MAD, and RE showed relatively low error levels, ranging between 2% and 6%, confirming that the empirical model is reliable for predicting open-area path loss. However, variations in error across locations highlight the need for local adjustments considering vegetation, terrain, and multipath effects. Therefore, this study recommends enhancing the empirical model through environmental correction factors and a hybrid empirical-experimental approach to achieve more adaptive and accurate predictions under real-world conditions.

Keywords: Empirical, wave, model, pathloss, prediction, radio

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Teknologi komunikasi nirkabel menuntut sistem transmisi yang andal dengan kualitas sinyal yang baik. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas layanan adalah redaman gelombang radio pada lintasan propagasi. Dengan mengetahui besarnya redaman gelombang radio pada sebuah lingkungan atau area propagasi, maka para engineer perencana jaringan telekomunikasi, dapat menentukan parameter-parameter jaringan, seperti; tinggi antena base station, daya pancar, frekuensi operasi dari sebuah base station, jarak jangkauan atau coverage area dari transmisi gelombang radio base station. Permasalahan yang dihadapi, redaman gelombang radio pada area terbuka (open area), selain, dipengaruhi oleh jarak, juga oleh faktor lingkungan seperti vegetasi, kontur tanah, dan adanya hambatan fisik[1]. Oleh karena itu, diperlukan model perhitungan yang mampu merepresentasikan kondisi nyata secara akurat, walaupun kondisi lingkungan propagasinya berbeda..

Para engineer perencana jaringan telekomunikasi dalam perencanaan jaringan, memerlukan data redaman pada lintasan gelombang radio pada sebuah lokasi. Terkait dengan

%kebutuhan tersebut, pada engineer menggunakan model empiris untuk memprediksi redaman gelombang radio pada sebuah lintasan gelombang radio pada sebuah lokasi. Model prediksi ini sederhana dan praktis, namun permasalahan yang dihadapi adalah akurasi masih perlu divalidasi, Hal ini terjadi, karena penggunaan model ini, hasil prediksi redaman gelombang radio sama untuk semua kondisi, walaupun kondisi nyata lingkungan lintasan gelombang radionya berbeda. Pada kondisi sebenarnya terjadi perbedaan redaman bergantung pada kondisi lingkungan dimana gelombang radio tersebut berpenetrasi.

Ketidaksesuaian antara hasil perhitungan empiris dengan kondisi nyata dapat menimbulkan kesalahan dalam perancangan jaringan telekomunikasi wireless, yang pada akhirnya berdampak pada kualitas jaringan komunikasi. Untuk menjawab tantangan tersebut, penelitian ini melakukan analisis redaman dengan membandingkan hasil perhitungan empiris dan eksperimen pada beberapa lokasi dengan karakteristik lingkungan berbeda [2].

Kegiatan penelitian ini dilakukan pada 3 lokasi pengukuran dan pengamatan, yaitu; persawahan Syamtalisa Bayu, lokasi tambak

di Lancouk dan padang rumput atau lapangan golf Arun. Data-data hasil pengukuran dan pengamatan selanjutnya dianalisis, untuk mengetahui parameter redaman pada masing-masing lokasi. Selanjutnya, dilakukan validasi pada mode model empiris menggunakan parameter MAPE, RMSE, MAD, dan RE untuk menilai akurasi terhadap model eksperimen..

Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu mengidentifikasi kelemahan model empiris dan memberikan rekomendasi pengembangan model yang lebih adaptif, misalnya melalui penambahan faktor koreksi lingkungan atau pendekatan hybrid empiris-eksperimental. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi operator maupun perancangan jaringan dalam memilih model propagasi yang sesuai, sehingga kualitas layanan komunikasi radio dapat lebih terjamin.

B. Tinjauan Pustaka

Berikut tinjauan kepustakaan yang dijadikan sebagai referensi penelitian ini.

1. *Log-distance path loss model*: Model propagasi *Log-distance pathloss* merupakan model propagasi berbasis teori dan eksperimen pengukuran yang menunjukkan bahwa rata-rata daya yang diterima menurun secara logaritmis dengan jarak baik untuk kanal radio pada *outdoor* maupun *indoor* [3]. Rata-rata rugi-rugi propagasi untuk suatu jarak dari BTS sejauh (d) dapat dihitung seperti pada persamaan (1).

$$PL (dB) = pL(d_0) + 10 n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (1)$$

Dimana d_0 adalah jarak referensi yang diukur pada jarak dimana sinyal yang dideteksi oleh *receiver* sudah berubah dari kondisi awal. Untuk mengamati hubungan propagasi dengan keragaman lingkungan sekitarnya.

Untuk mengamati hubungan propagasi dengan keragaman lingkungan sekitarnya, maka analisis diarahkan untuk mengamati konstanta propagasi.

$$n = \left[\frac{N \sum_{i=1}^N (\log_{10} d_i) p(d_i) - \left(\sum_{i=1}^N (\log_{10} d_i) \right) \left(\sum_{i=1}^N p(d_i) \right)}{N \sum_{i=1}^N (\log_{10} d_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^N (\log_{10} d_i) \right)^2} \right] \quad (2)$$

Konstanta propagasi juga disebut eksponen rugi-rugi lintasan disimbolkan dengan huruf n . Eksponen rugi-rugi lintasan menunjukkan laju perubahan rugi-rugi lintasan terhadap pertambahan jarak dan keadaan spesifik lingkungan propagasi seperti pada persamaan (2). Dimana d_i adalah jarak tiap titik sampel pengukuran dan N adalah jumlah titik pengukuran atau banyaknya data sampel pengukuran, $P_{(d_i)}$ adalah daya yang sampai pada penerima pada jarak d [4][5]. Konstanta propagasi juga dapat dihitung dengan persamaan (3) [6],

$$n = \frac{PL (dB)}{10 \log \frac{d}{d_0}} \quad (3)$$

Eksponen rugi-rugi lintasan n untuk berbagai jenis lingkungan seperti pada tabel 1.

Tabel .1 Nilai n untuk berbagai jenis lingkungan

| Lingkungan | n |
|------------------------|---------|
| Udara Bebas | 2 |
| Daerah <i>Urban</i> | 2.7-3.5 |
| Daerah <i>Shadowed</i> | 3-5 |
| Dalam Gedung | 1.6-1.8 |
| Obstruksi Dalam Gedung | 4-6 |
| Obstruksi Dalam Pabrik | 2-6 |

2. *Model Propagasi Open Area*: Model empiris propagasi open area ini digunakan untuk memprediksi redaman pada daerah terbuka seperti didaerah pedesaan, persawahan, gurun pasir dan padang rumput. Untuk memprediksi rugi-rugi lintasan propagasi gelombang radio pada daerah open area digunakan persamaan model Prediksi Okumura-Hata [6].

Perhitungan redaman pada daerah open area sub-urban dianalisis dengan menggunakan Hata model dengan persamaan (4).

$$L_o = L_u - 4,78(\log f_c)^2 + 18,33(\log f_c) - 40,94 \quad (4)$$

dan losses urban diperlihatkan pada persamaan (5)

$$L_u = 46,3 + 33,9 \log (f_c) + 13,82 \log h_t - a(h_R) + (44,9 - 6,55 \log h_T) + \log d + CM \quad (5)$$

Untuk kota kecil dan menengah, faktor koreksi $a(h_R)$ dihitung dengan persamaan (6).

$$a(h_R) = (1,1 \log f_c - 0,7) h_R - (1,56 \log f_c - 0,8) \text{ dB} \quad (6)$$

dimana, $1 \leq h_R \leq 10$ m. Untuk kota besar, faktor koreksi $a(h_R)$ dihitung dengan persamaan (7) dan (8).

$$a(h_R) = 8,29 (\log 1,54 h_R)^2 - 1,1 \text{ dB} \quad f_c \leq 300 \text{ MHz} \quad (7)$$

dan

$$a(h_R) = 3,2 (\log 11,75 h_R)^2 - 4,97 \text{ dB} \quad f_c \geq 300 \text{ MHz} \quad (8)$$

CM atau constanta margin bernilai 0 dB untuk kota menengah dan sub-urban, serta bernilai 3 dB untuk pusat kota metropolitan. Dimana L_U adalah losses yang terjadi pada daerah urban (dB), f_c adalah frekuensi carier atau pemancar (MHZ). h_t adalah tinggi antenna Base Tranceiver Station (m) dan h_R adalah tinggi antenna penerima atau mobile station (m) [7][8].

3. *Uji Validasi Model Empiris dan Eksperimen*: Evaluasi ini mengadopsi empat parameter evaluasi dengan tujuan untuk mengukur akurasi pemodelan propagasi, yaitu Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Deviation (MAD), dan Relatif Error (RE) [9][10][11] dijelaskan seperti uraian berikut:.

a. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

MAPE adalah nilai absolut dari presentase kesalahan data terhadap nilai rata-rata atau dapat dirumuskan seperti yang ditunjukkan pada persamaan (9).

$$MAPE = \frac{PL_{Empiris} - PL_{Eksperimen}}{PL_{Empiris}} \quad (9)$$

b. Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE adalah jumlah kuadrat kesalahan atau selisihnya antara nilai actual dan nilai prediksi, dibagi dengan jumlah data seperti dirumuskan pada persamaan (10).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (PL_{Eksperimen} - PL_{Empiris})^2}{n}} \quad (10)$$

Dimana PL measure adalah *pathloss* metode eksperimen, PL model adalah *pathloss* metode empiris, dan n adalah jumlah sampel data.

c. Mean Absolute Deviation (MAD)

MAD adalah nilai absolut dari penyimpangan data, dapat dirumuskan seperti persamaan (11).

$$- * \tag{11}$$

Dimana PL measure adalah *pathloss* metode eksperimen, PL model adalah *pathloss* metode empiris, dan n adalah jumlah sampel data.

d. Relatif Error (RE)

Relatif error didefinisikan sebagai rasio antara perbedaan *pathloss* eksperimen dan *pathloss* empiris. Kesalahan relatif didefinisikan seperti persamaan (12).

$$Relatif.Error = \frac{PL_{Eksperimen} - PL_{Empiris}}{PL_{Eksperimen}} \tag{12}$$

Pada tabel 2 berikut diberikan standarisasi validasi model yang menggambarkan kesalahan prediksi, ada 4 parameternya, MAPE, RMSE, MAD dan RE

Tabel 2. Validasi Model Empiris

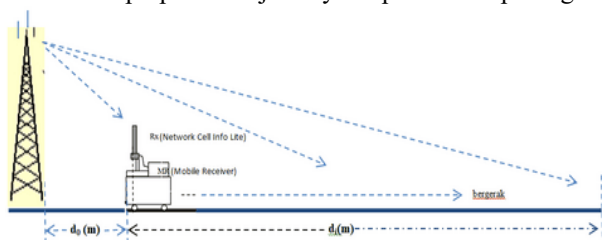
| Parameter | Kategori | | | |
|-----------|-------------|---------|----------|-------|
| | Sangat baik | Baik | Sedang | Buruk |
| MAPE | <10% | 10%-20% | 20%-50% | >50% |
| RMSE | <0,1 | 0,1-0,2 | 0,2-0,50 | >0,5 |
| MAD | <0,1 |),1-0,2 | 0,2-0,50 | >0,50 |
| RE | <10% | 10%-20% | 20-50% | >50% |

II. Metodologi PENELITIAN

A. Eksperimen Setup

Analisa perhitungan redaman gelombang radio pada daerah open area untuk metode eksperimen pada ketiga daerah pengukuran, diobservasi melalui pengukuran level daya yang terdeteksi pada alat penerima disepanjang lintasan gelombang radio pada masing-masing lokasi pengamatan. Level daya diukur dengan menggunakan alat mobile receiver yang menggunakan aplikasi Network Cell Info Lite (NCIL). Dengan alat ini pengamatan terhadap besarnya perubahan level daya yang sampai pada penerima disetiap jarak d_f disepanjang lintasan tersebut dapat di amati. Titik-titik pengukuran diambil sebesar kelipatan jarak medan jauh (d_f) atau d disepanjang lintasan gelombang radio tersebut. Seperti terlihat pada gambar 1.

Pengukuran menggunakan metode *modulated carrier*. Frekuensi operasi disesuaikan dengan frekuensi disetiap BTS. Penerima atau Rx di-set pada ketinggian 1,55 meter. Hasil pengukuran setiap level daya penerima disepanjang lintasan dideteksi oleh NICL ditabulasi dan ditabulasi sebagai fungsi jarak dan parameter lingkungan, oleh alat penerima dan dicatat oleh laptop. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1.



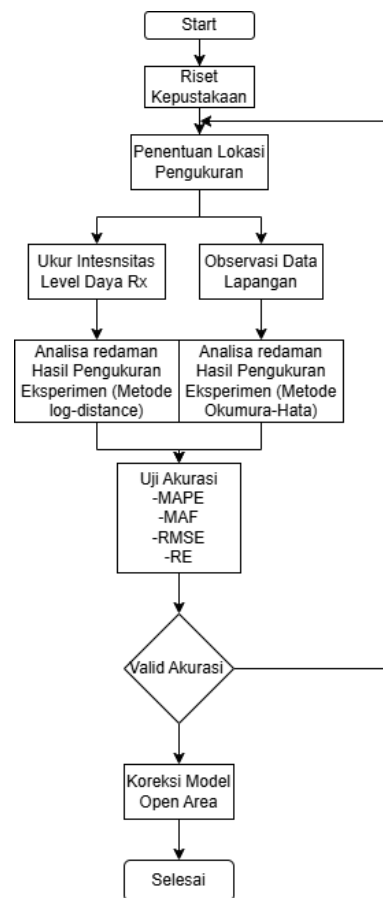
Gambar 1. Set up pengukuran dengan metode eksperimen

Pada sisi lain perhitungan prediksi redaman gelombang radio pada yang sama dilakukan dengan menggunakan metode

empiris. Pada metode ini tidak dilakukan pengukuran eksperimen, hanya mengumpulkan data-data teknis lapangan, seperti jarak pancar BTS, frekuensi operasi, ketinggian antenna BTS dan penerima. Berdasarkan parameter-parameter tersebut dilakukan analisis prediksi tentang redaman gelombang radio pada ketiga lokasi pengukuran. Selanjutnya ditabulasi dan dibandingkan akurasi terhadap model eksperimen.

B. Flowchart Penelitian

Tahap-tahap kegiatan riset yang dilakukan oleh pelaksana dijelaskan seperti pada diagram flowchar gambar 2. Kegiatan awal merupakan kegiatan riset penelusuran referensi untuk mengkaji kepustakaan yang menjadi landasan teoritis terhadap penelitian yang dilakukan.



Gambar 2. Metode penelitian untuk menguji model empiris terhadap model eksperimen

Kegiatan berikutnya adalah riset eksperimen dan riset empiris. Pada kegiatan ini, dilakukan dua kegiatan, yaitu; pertama; pengukuran level daya penerima disepanjang lintasan gelombang radio pada ke-3 daerah yang diobservasi, data ini selanjutnya digunakan untuk menganalisa redaman dengan metode eksperimen. Kedua; mengobservasi data-data teknis lapangan, untuk memprediksi redaman gelombang radio metode empiris pada ketiga lokasi pengamatan.

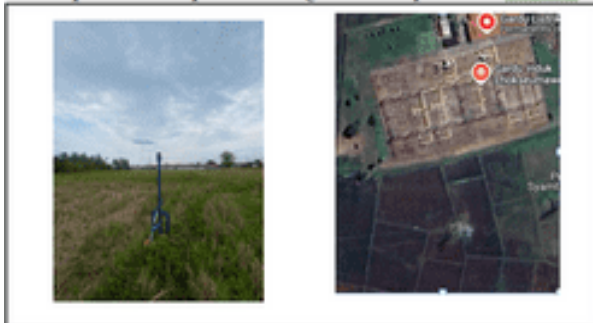
Kegiatan selanjutnya adalah dengan menggunakan analisis statistik, metode empiris diuji validitas, akurasi dengan MAPE, RMSE, MAD dan RE. Kegiatan riset selanjutnya menyusun rekomendasi, untuk perbaikan model prediksi model empiris, seperti dijelaskan pada bagian akhir dari bab

ini. Lebih rinci ditampilkan dalam bentuk flowchart seperti pada gambar 2.

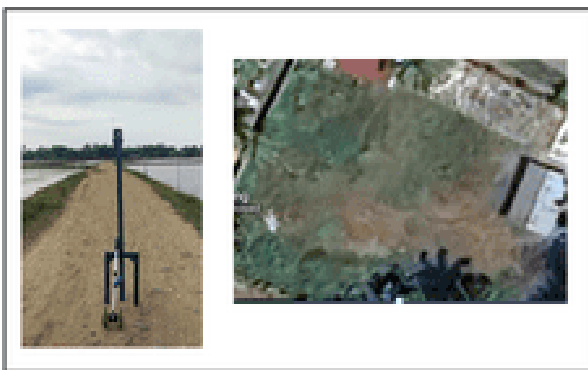
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Lokasi

Lingkungan gelombang radio open area yang dipilih untuk uji akurasi analisis redaman gelombang radio dengan membandingkan pendekatan model empiris Okumura-Hata terhadap model eksperimen Log-distance path loss model.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Lingkungan dan peta lokasi (a) lokasi persawahan Syamtalira Bayu, (b) lokasi tambak Lancouk dan (c) lokasi padang rumput lapangan Golf Club Arun.

Ada tiga lokasi, yaitu Lokasi pertama, lokasi persawahan yang terletak di daerah Syamtalira bayu dibelakang PLN. Lokasi kedua, terletak lokasi tambak Lancouk dan lokasi ketiga terletak dipadang rumput padang Golf Club Arun. Lebih jelasnya ketiga lokasi tersebut diperlihatkan pada gambar 3(a), 3(b) dan 3(c)

Dari gambar 3, dapat diuraikan bahwa gambaran umum situasi lingkungan lintasan gelombang radio pada ketiga lokasi, dapat dijelaskan sebagai berikut;

1. Lokasi sawah di syamtalira bayu: Merupakan lokasi open area atau daerah terbuka, dimana lingkungannya 95% ditumbuhi oleh tumbuhan padi dan sebagian vegetasi dari jenis rumput dengan vegetasi rendah.

2. Lokasi tambak Lancouk: Merupakan daerah lingkungan tambak yang tersebar sekitar 85% adalah lingkungan air tambak dan selebihnya jalan setapak yang terletak diantara petak-petak tambak.

3. Lokasi Padang rumput lapangan golf club Arun: Merupakan daerah terbuka yang didominasi hamper 80% adalah padan rumput dengan vegetasi yang sangat rendah. Yang lainnya disekitar vinggiran ada tumbuhan vetasi yang memiliki ketinggian sekitar 2 sam 3 meter, demikian juga didaerah tengah lapangan golf juga terdapat beberapa tumbuhan pinus dengan sebaran sangat sedikit dan memiliki ketinggian antara 3 sampai 4 meter.

B. Spesifikasi Radio Base Transceiver Station

Pada sub-bab ini dijelaskan data teknis BTS pada beberapa lokasi pengukuran. Seperti diberikan pada tabel 2. Ada tiga lokasi pengukuran dengan tipe open area, antara lain; Syamta-

Tabel 2 Spesifikasi Teknis Base Transceiver Station

| Lokasi | Nama BTS Telkomcell | Frekuensi (MHz) | | Jarak (m) | | | Daya pancar (dBm) |
|-------------------------|---------------------|-----------------|----------------|-----------|--------------------|----|-------------------|
| | | T _x | R _x | d (m) | d _o (m) | ht | |
| Syamtalira Bayu | Blang Bayu | 22078 | 232 | 350 | 12 | 4 | 18 |
| Meuraksa Lancok | Jambo Timu | 14417 | 187 | 350 | 11 | 7 | 12 |
| Lapangan Arun Golf Club | SP Pelabuhan | 8266.5 | 187 | 350 | 12 | 7 | 26 |
| | | 8 | 0 | | 0 | 2 | |

lira Bayu - Blang Bayu, Meuraksa - Lancok Jambo Timu dan lapangan Arun Golf Club - SP Pelabuhan. Frekuensi kerja dari sistem komunikasi radio cellular pada ke-3 BTS tersebut adalah 2329 MHz, 1870 MHz, 1870 MHz.

Jarak d_o (m) dan d (m) pada ke-3 lokasi pengukuran untuk lokasi Syamtalira Bayu masing masing 120 m dan 350 meter, pada daerah Meuraksa Lancok adalah 110 m dan 350 m serta pada daerah lapangan Arun golf adalah 120 m dan 350 meter. Daya pancar pada ke-masing-masing BTS berturut-turut adalah 18 dBm, 12 dBm dan 26 dBm.

C Analisa Redaman Lintasan Gelombang Radio

Redaman lintasan gelombang radio pada daerah open area dapat diprediksi dengan menggunakan model berikut.

1. Redaman Open Area Empiris: Pada sub-bab ini dijelaskan hasil analisa empiris redaman transmisi sinyal gelombang radio open area pada ke-3 daerah lokasi pengamatan. Berdasarkan data teknis pada lajur 1,2,3,4 pada tabel 3 dan dengan menggunakan persamaan (3), (5),(6) dan (8), maka redaman dapat diprediksi dan hasilnya ditampilkan pada lajur 6 tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Redaman Lintasan Gelombang Radio Metode Empiris

| Lokasi | Parameter teknis | | | Hasil analisa | |
|-----------------|------------------|--------|-------|---------------|---------|
| | fc (MHz) | Ht (m) | d (m) | ahr(m) | Lu (dB) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Syamtalira Bayu | 2329 | 42 | 350 | 0.49 | 121 |
| Meuraksa Lancok | 1870 | 72 | 350 | 0.47 | 104 |

| | | | | | |
|-------------------------|------|----|-----|------|-----|
| Lapangan Arun Golf Club | 1870 | 72 | 350 | 0.47 | 104 |
|-------------------------|------|----|-----|------|-----|

Masing-masing BTS memiliki frekuensi operasi dan ketinggian antenna tersendiri. Berdasarkan hasil analisa empiris tersebut, maka diketahui bahwa redaman sinyal tertinggi terjadi di lokasi persawahan Syamtalira Bayu dengan nilai sebesar 121 dB, hal ini disebabkan oleh karena frekuensinya yang lebih tinggi (2329 MHz). Redaman sinyal yang lebih rendah, terjadi di dua lokasi berturut-turut pada lokasi Meuraksa Lancok dan Lapangan Arun Golf Club, yaitu; 104 dB, karena frekuensinya lebih rendah (1870 MHz). Tinggi antenna penerima, h_t juga mempengaruhi nilai koreksi a_{hr} , meskipun efeknya kecil., karena semua lokasi memiliki jarak (d) dan tinggi antenna BTS yang sama, yaitu; 350 m, maka frekuensi menjadi faktor utama yang memengaruhi redaman pada perhitungan empiris ini.

2. Analisa Redaman Dengan Metode *Eksperimen*: Berdasarkan data hasil pengukuran fluktuasi level daya yang terdeteksi pada penerima disepanjang lintasan gelombang radio antara T_x-R_x pada ketiga lokasi, maka dengan menggunakan persamaan (3), konstanta propagasi gelombang radio dapat diketahui dan hasilnya ditampilkan pada tabel 4 lajur 8.

Selanjutnya dengan menggunakan perasamaan (1) Nilai redaman drata-rata pada daerah persawahan diketahui sebesar 121 dBm nilai sangat tinggi dibanding yang lainnya, meskipun lokasinya adalah open area. Eksponen propagasi memiliki nilai yang tertinggi, yaitu; 5.40. Hal ini menunjukkan laju kecepatan redaman pada daerah ini berubah sangat cepat dan sangat tinggi. Ini menandakan kondisi propagasi lebih buruk dari ruang bebas $n = 2$.

Pada daerah lingkungan tambak, yaitu didaerah Meuraksa Lancok, redaman yang terjadi lebih rendah dibanding didaerah persawahan, yaitu sebesar 104 dB, meskipun daya pancarnya juga lebih kecil. Nilai eksponen propagasinya sebesar $n = 4.82$ masih menunjukkan lingkungan tidak ideal, namun sedikit lebih baik. Redaman 104.3 dB, menandakan kerugian sinyal masih cukup besar, tetapi relatif lebih ringan dibanding dua lokasi lainnya.

Tabel 4. Hasil Perhitungan redaman lintasan gelombang radio metode Ekperimen

| Lokasi | Frekuensi (MHz) | Pt (mW) | Pr (mW) | d_0 (m) | d(m) | N | n | \overline{PL} (dB) |
|-------------------------|-----------------|---------|----------|-----------|------|-----|------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Syamtalira Bayu | 2329 | 18 | 9.45E-09 | 120 | 350 | 144 | 5.40 | 121 |
| Meuraksa Lancok | 1870 | 12 | 1.48E-09 | 110 | 350 | 150 | 4.82 | 104 |
| Lapangan Arun Golf Club | 1870 | 26 | 2.99E-08 | 120 | 350 | 144 | 4.89 | 112 |

Pada lingkungan padang rumput di lapangan Arun Golf Club, meskipun memiliki daya pancar tertinggi, redaman tetap tinggi, yaitu; 112 dB. Nilai eksponen propagasi bernilai n sebesar 4.89, menunjukkan tingginya redaman disbanding pada lokasi tambak.

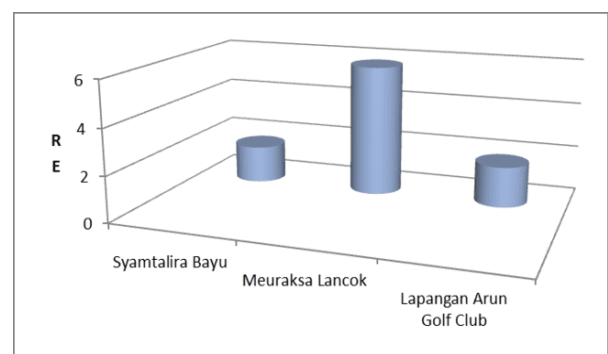
D. Memvalidasi dan Memverifikasi Model Empiris

Validasi serta verifikasi model empiris bertujuan untuk mengukur akurasi terhadap hasil prediksi redaman gelombang radio pada daerah open area. Berdasarkan hasil analisis redaman menggunakan metode empiris dan metode eksperimen seperti pada tabel 3 lajur 6 dan tabel 4 lajur 9 atau pada tabel 5 lajur 2 dan 3, maka dengan menggunakan persamaan (9), (10), (11) dan (12), validasi dan verifikasi model empiris dapat dilakukan dengan menghitung MAPE, RMSE, MAD dan RE dan hasilnya diperlihatkan pada tabel 5 lajur 4,5,6 dan 7.

Tabel 5. Validasi Dan Verifikasi Model Empiris

| Lokasi | Redaman (dB) | | Validasi | | | |
|-------------------------|--------------|------------|----------|------|-----|------|
| | Empiris | Eksperimen | MAPE | RMSE | MAD | RE |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Syamtalira Bayu | 119 | 121 | 0.02 | 2 | 2 | 1.65 |
| Meuraksa Lancok | 110 | 104 | -0.06 | 6 | -6 | 6.77 |
| Lapangan Arun Golf Club | 110 | 112 | 0.02 | 2 | 2 | 1.79 |

a. *Mean Absolut Percentage Error*: Berdasarkan tabel 5 dan gambar 4 menunjukkan nilai MAPE (Mean Absolute Percentage Error) dari perbandingan antara hasil pengukuran (model eksperimen) dengan hasil prediksi model empiris. Gambar 4 menunjukkan nilai MAPE (Mean Absolute Percentage Error) antara hasil pengukuran empiris dan eksperimen. Berdasarkan gambar 4, diketahui pola dan perilaku kurva dimana nilai MAPE berkisar antara 2% hingga 6%, Nilai memiliki makna bahwa tingkat kesalahan relatif cukup rendah. Terdapat naik-turun nilai MAPE di antara 3 lokasi pengamatan, namun perubahan nilainya masih dalam kisaran kecil, menandakan variasi kesalahan yang tidak ekstrem.



Gambar 4. Nilai MAPE pada ke-3 lokasi pengamatan

Berdasarkan nilai tersebut tidak terdapat lonjakan tajam, yang menandakan bahwa model empiris memiliki performa yang relatif stabil terhadap model eksperimen. Semakin kecil nilai MAPE, maka semakin tinggi akurasi model empiris terhadap model eksperimen. Dengan nilai maksimum sekitar 6%, ini menandakan bahwa model empiris memiliki tingkat kesalahan relatif yang rendah dan masih dalam kategori sangat baik (biasanya MAPE < 10% dianggap sangat akurat).

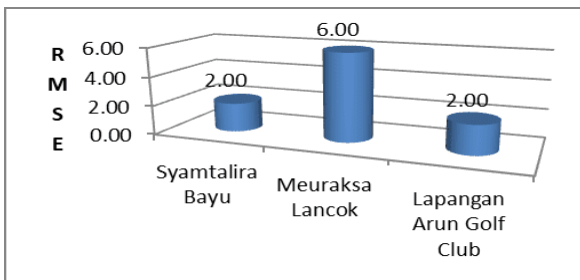
Hal ini menunjukkan bahwa model empiris cukup valid dan relevan digunakan untuk memprediksi redaman gelombang radio pada daerah terbuka. Dengan demikian model empiris layak digunakan untuk menggantikan model eksperimen. Nilai MAPE yang rendah di ketiga lokasi, juga menandakan bahwa model ini konsisten dan tidak sensitif terhadap variasi

lokasi atau kondisi uji, yang merupakan nilai tambah dari sisi keandalan model.

Dengan nilai MAPE berkisar antara 2% hingga 6%, Hal ini mengindikasikan bahwa model eksperimen dapat dipercaya dalam memprediksi nilai sebenarnya dan memiliki potensi untuk digunakan dalam aplikasi nyata atau sebagai alternatif pengembangan dari model empiris.

b. Root Mean Square Error: Pada gambar 5 menampilkan nilai RMSE (Root Mean Square Error) hasil perbandingan model empiris terhadap model eksperimen, di tiga lokasi yang sama. RMSE antara model empiris dan model eksperimen, berada pada rentang 2–6, yang menunjukkan variasi tingkat kesalahan antara lokasi satu dengan lainnya. Semakin kecil RMSE, semakin baik hasil prediksi dari pemodelan tersebut, makin tinggi nilai RMSE dari suatu model, mengindikasikan bahwa model empiris kurang akurat memodelkan kondisi nyata di lokasi tersebut. Lokasi dengan RMSE lebih rendah menunjukkan bahwa model empiris mampu merepresentasikan kenyataan secara lebih baik (mendekati hasil eksperimen).

Berdasarkan gambar 5, Lokasi tambak Meuraksa Lancok memiliki RMSE lebih tinggi dibanding lokasi persawahan Syamtalira Bayu dan Lapangan Golf Arun, yang menandakan pengaruh lingkungan atau topografi terhadap performa model. Ketidaksesuaian nilai RMSE antara lokasi menunjukkan bahwa akurasi model empiris tidak konsisten di semua kondisi geografis atau lingkungan



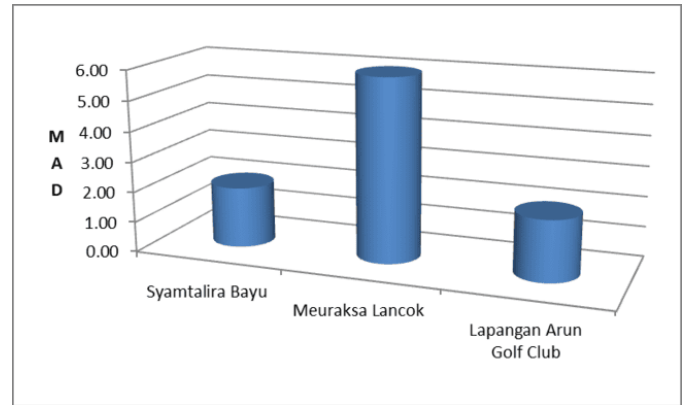
Gambar 5. Nilai RMSE pada ke-3 lokasi pengamatan

Kurva gambar 5, menunjukkan bahwa tingkat akurasi model empiris terhadap eksperimen bervariasi antar lokasi. Nilai RMSE tertinggi menunjukkan lokasi di mana model empiris tidak cocok atau tidak akurat, sementara nilai terendah mengindikasikan lokasi dengan kesesuaian yang baik. Ini menandakan bahwa model empiris memiliki keterbatasan dalam generalisasi dan perlu penyesuaian berdasarkan karakteristik lokal untuk meningkatkan akurasi prediktifnya.

c. Mean Absolut Deviation: Pada gambar 6 menampilkan nilai MAD (Mean Absolute Deviation) dari perbandingan antara model empiris terhadap model eksperimen atau data actual. Mean Absolut Deviasi mengukur rata-rata kesalahan absolut antara model empiris dan model eksperimen. Nilai MAD yang lebih kecil, menunjukkan model empiris lebih akurat mendekati data eksperimen. Nilai MAD yang lebih besar menunjukkan kesalahan lebih tinggi, model empiris kurang sesuai dengan kenyataan di lapangan.

Pada gambar 6, terlihat bahwa nilai MAD bervariasi pada ke-3 lokasi, hal ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi model empiris tidak merata. Lokasi Meuraksa Lancok menunjukkan nilai MAD lebih tinggi, maka di lokasi tersebut model empiris cenderung meleset lebih **--9besar dari hasil eksperimen.

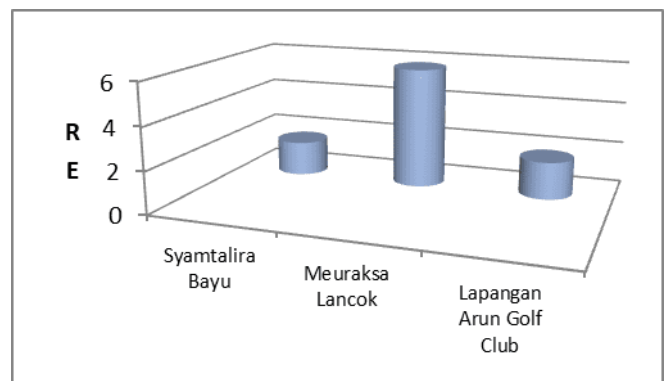
Sebaliknya, lokasi seperti Syamtalira Bayu dengan nilai MAD lebih rendah menunjukkan bahwa model empiris lebih cocok digunakan di sana. Variasi nilai MAD menunjukkan bahwa akurasi model empiris bersifat kontekstual, artinya sangat tergantung pada kondisi geografis, kontur, atau lingkungan lokal. Lokasi dengan nilai MAD tinggi bisa menjadi indikator, model empiris perlu dikalibrasi ulang atau diperlukan pengembangan model baru yang mempertimbangkan variabel lingkungan lokal.



Gambar 6. Nilai MAD pada ke-3 lokasi pengamatan

Pada gambar 6, menunjukkan bahwa beberapa lokasi nilai MAD yang rendah, menandakan kecocokan model empiris terhadap data eksperimen. Namun, lokasi lain menunjukkan nilai MAD yang tinggi, yang mengindikasikan bahwa model empiris memiliki keterbatasan dalam memodelkan kondisi nyata di area tersebut. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian model atau penggunaan model lokal untuk meningkatkan akurasi prediksi.

d. Relatif Error: Pada gambar 7 memperlihatkan nilai Relative Error disebut RE pada ke-3 lokasi pengamatan. Relatif Error (RE) menunjukkan seberapa besar deviasi antara nilai empiris dan eksperimen relatif terhadap nilai aktualnya, semakin besar nilai RE, semakin jauh perbedaan antara model empiris dan model eksperimen. Nilai RE yang kecil menunjukkan bahwa model empiris memberikan hasil yang mendekati hasil eksperimen.



Gambar 7 Nilai RE pada ke-3 lokasi pengamatan

Pada lokasi tambak, nilai RE yang lebih tinggi dibanding dilokasi persawahan dan dilokasi padang rumput lapangan Golf. Hal ini menunjukkan bahwa, model empiris kurang cocok digunakan di lokasi tersebut. Sebaliknya, nilai RE rendah pada Syamtalira Bayu dan Lapangan Golf Arun Club, menunjukkan kesesuaian yang baik antara model empiris dan eksperimen.

Tingkat kesalahan relatif bervariasi di antara ke-3 lokasi, menunjukkan bahwa model empiris tidak bersifat universal, dan perlu penyesuaian atau kalibrasi lokal. Nilai RE yang tinggi menunjukkan tingkat kesalahan relative besar, mengindikasikan bahwa model empiris tidak akurat memodelkan kondisi nyata di lokasi tersebut. Sebaliknya, lokasi dengan nilai RE yang rendah menunjukkan kesesuaian dan akurasi yang lebih baik. Oleh karena itu, model empiris mungkin perlu penyesuaian kontekstual atau pengembangan model lokal agar akurasinya meningkat dan lebih andal digunakan di berbagai kondisi geografis.

E. Rekomendasi Pengembangan dan Penyempurnaan Model Empiris

Berdasarkan hasil analisis model perhitungan empiris terhadap model eksperimen (MAPE, RMSE, MAD, RE), terlihat bahwa model empiris cukup akurat untuk memprediksi redaman gelombang radio pada kondisi open area, tetapi masih memiliki variasi kesalahan antar lokasi. Oleh karena itu, perbaikannya dapat diarahkan ke:

1. *Kalibrasi Lokal (Site-Specific Adjustment)*: Model empiris perlu ditambahkan faktor koreksi lingkungan (*local correction factor*) untuk menyesuaikan kondisi geografis (persawahan, tambak, padang rumput). Modifikasi formula seperti pada persamaan (13).

$$L_{u(new)} = L_{u(empiris)} + \Delta L_{(lokal)} \quad (13)$$

dengan $\Delta L_{(lokal)}$ diperoleh dari selisih rata-rata antara hasil eksperimen dan empiris di tiap jenis lingkungan.

2. *Penambahan Variabel Koreksi Vegetasi & Topografi*: Perbedaan redaman gelombang radio pada lokasi persawahan, tambak, dan padang rumput menunjukkan adanya pengaruh vegetasi, kontur tanah, dan multipath. Model empiris bisa diperbaiki dengan menambahkan faktor koreksi, seperti ditunjukkan oleh persamaan (14).

$$L_{total} = L_{u,new} + K_v + K_t \quad (14)$$

di mana K_v adalah koreksi vegetasi, K_t adalah koreksi topografi.

3. *Hybrid Empirical-Experimental Model*: Menggunakan data eksperimen untuk mengupdate parameter model empiris secara dinamis (mirip metode *data-driven calibration*), sehingga hasil perhitungan lebih adaptif.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut; Hasil penelitian menunjukkan bahwa model empiris memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam memprediksi redaman gelombang radio di area terbuka, dengan nilai Mean Absolute Percentage Error berada pada rentang 2–6% pada ketiga lokasi pengukuran, namun, nilai Root Mean Square Error, Mean Absolute Deviation, dan Relative Error menunjukkan, adanya variasi antar lokasi, yang mengindikasikan bahwa akurasi model empiris tidak bersifat seragam dan belum universal. Lingkungan tambak, yaitu Meuraksa Lancok, menghasilkan akurasi prediksi yang lebih rendah akibat tingginya perbedaan kesalahan terhadap model eksperimen dalam memprediksi redaman gelombang radio. Oleh karena itu, diperlukan koreksi dan pengembangan model empiris melalui penambahan konstanta lingkungan serta kalibrasi

menggunakan data eksperimen. Kombinasi pendekatan empiris dan eksperimental terbukti menghasilkan model prediksi redaman yang lebih representatif terhadap kondisi nyata dan berpotensi dimanfaatkan dalam perencanaan jaringan komunikasi seluler di area terbuka secara lebih efisien dan realistis.

REFERENSI

[1] N. Aini, Munawar, Amir D., "Analisa Karakteristik Propagasi Gelombang Radio Pada Komunikasi Bergerak," *J. Tektro*, vol. 4, no. 2, pp. 113–117, 2020. *J. Tektro*, ISSN 2581-2890. 2020

[2] Youhei Kawamura, Hyongdoo Jang, Markus Wagner, Hajime Nobuhara, Ashraf M. Dewan, Bert Veenendaal, and Itaru Kitahara, "Analysis of radio wave propagation in an urban environment and its application to insiyial disaster response support". *Journal of Disaster Research* Vol.10.No.4.2015.

[3] Rappaport, T.S., "Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd ed ". Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall PTR.2002.

[4] Amir D, Naziruddin, Jamaluddin, Fakhur Razi, Ariefin, Halim Zaini, "Analisa Perhitungan Pathloss Propagasi Gelombang Radio Outdoor Menggunakan Model Hata dan Model Cost 231 Pada Jaringan 3G Telkomsel Lhokseumawe. *Jurnal Serambi*, Volume IX, No.2, April 2024 Hal 9109 – 9115, p-ISSN : 2528-3561, e-ISSN : 2541-1934. 2024.

[5] Amir D, Hanafi, Fakhur Razi, Jamaluddin." Analisa Eksponen Rugi-rugi Lintasan Propagasi Gelombang Radio Dalam Ruang Pada Jaringan Komunikasi Bergerak.". *Prosiding Politeknik Negeri Lhokseumawe*, Vol 4, No 1. 2020.

[6] Nazar Elfadil, "Impact of Using Modified Open Area Okumura-Hata Propagation Model in Determination of Path-loss: Malaysia as Cas..."*International Journal Of Modern Engineering Research (IJME)*. | Vol. 7 | Iss. 5 | May. 2017.

[7] Nazar, Elfadhil, M.A Salam, A. Al-Lawati, O. Al Qasmi, M. Al Geithi, Z. Nadir," Modification of an open area Okomura-Hata Propagation Model Suitabel For Oman. *TENCON, IEEE Region 10 Conference*.2005.

[8] Bengawan Alfaresi1, M.Vierly Eltha Satya , Feby Ardianto, " Analisa Model Propagasi Okumurahata Dan Cost-Hata Pada Komunikasi Jaringan Wireless 4g LTE;". *Jurnal Ampere*, Volume 5, No 1, Juni 2020 P-ISSN : 2477-2755 E-ISSN : 2622-2981.

[9] Zia Nadir , Mohammad B. Al-Suwailam , Mohammad Idrees, "Pathloss Measurements and Prediction using Statistical Models", *MATEC of Conferences* 5405006, 2016.

[10] Alfaresi, T. Barlian, F. Ardianto, and M. Hurairah, "Path loss propagation evaluation and modelling based ECC-Model in Lowland Area on 1800 MHz. 2022.

[11] Amir D, Naziruddin, Jamaluddin, Ariefin, Halim Saini, " Analisa Perhitungan Pathloss Propagasi Gelombang Radio Outdoor Menggunakan Model Hata dan Model Cost 231 Pada Jaringan 3G Telkomsel Lhokseumawe;". *Journal Serambi*, vol 9 No 2. 2024.