

Studi komparatif empat model propagasi empiris dalam ruangan untuk jaringan nirkabel kampus

Comparative study of four indoor empirical propagation models for campus wireless network

Fransiska Sisilia Mukti^{*)}

Program Studi Informatika, STMIK Asia Malang
Jl. Soekarno Hatta – Rembeksari No. 1A, Malang, Indonesia 65113

Cara sitasi: Fransiska Sisilia Muki and Allin Junikhah, "Studi komparatif empat model propagasi dalam ruangan untuk jaringan nirkabel kampus," Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, vol. 7 no. 4, pp. 154-160, 2019. doi: 10.14710/jtsiskom.7.4.2019.154-160, [Online].

Abstract - Propagation is one of the important factors to understand in wireless communication systems. Prediction of the value of propagation, especially for closed areas, is very necessary to determine success in building wireless networks. Various kinds of propagation modeling were developed to find the best approach to calculate the value of signal losses. A comparative study of 4 types of empirical propagation modeling was made to provide the most suitable propagation modeling analysis for campus wireless networks. The ITU-R model (P.1238) provides predictive results that are closest to the actual data in the field, with a relative error rate of 16.381%.

Keywords - propagation; wireless network; indoor; campus

Abstrak – Propagasi menjadi salah satu faktor yang penting untuk dipahami dalam sistem komunikasi wireless. Prediksi terhadap nilai propagasi, khususnya untuk area tertutup, sangat diperlukan untuk menentukan keberhasilan dalam membangun jaringan wireless. Berbagai macam pemodelan propagasi dikembangkan untuk mencari pendekatan terbaik untuk menghitung nilai rugi-rugi sinyal yang terjadi. Sebuah studi komparatif terhadap 4 jenis pemodelan propagasi empiris dibuat guna memberikan analisis pemodelan propagasi yang paling sesuai untuk jaringan wireless kampus. Pemodelan ITU-R (P.1238) memberikan hasil prediksi yang paling mendekati data aktual di lapangan, dengan tingkat kesalahan relatif sebesar 16,381%.

Kata kunci - propagasi; jaringan nirkabel; dalam ruangan; kampus

I. PENDAHULUAN

Lingkungan *indoor* menjadi skenario pengujian tersulit dalam sistem komunikasi, karena kepadatan dan bertambahnya jumlah perangkat komunikasi *wireless*

[1]. Sebuah ringkasan diberikan untuk memberi gambaran kepada para desainer jaringan mengenai permasalahan utama dari sebuah jaringan *wireless* pada area *indoor*, dimana sinyal yang dipropagasikan dari antenna *transmitter* akan mengalami banyak sekali transformasi sinyal dan perubahan jalur menuju ke antenna *receiver* [2]-[4]. Hal ini terjadi karena jalur antara *transmitter* dan *receiver* umumnya terdapat benda-benda di sekitar ruangan seperti dinding, jendela, pintu dan furniture yang memungkinkan terjadinya pemantulan (*reflection*), pembelokan sinyal (*diffraction*) dan penghamburan sinyal (*scattering*).

Karakteristik propagasi gelombang radio menjadi salah satu isu yang penting untuk dipahami. Untuk mendapatkan performansi sistem komunikasi *wireless* yang optimal, diperlukan sebuah analisis dan pemahaman yang benar mengenai pola dan karakteristik dari sistem propagasi, khususnya untuk area tertutup. Pemahaman ini diperlukan untuk memprediksikan efek dari sinyal elektromagnetik [1], [5]. Prediksi ini dilakukan dengan cara membuat sebuah pendekatan-pendekatan teoritis yang memiliki nilai akhir seperti hasil pengukuran yang sesungguhnya.

Beragam penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan pendekatan propagasi dalam bentuk pemodelan untuk mempermudah pihak *network engineer* dalam melakukan desain jaringan *wireless* [6]. Pemodelan propagasi untuk area lingkungan *indoor* haruslah memperhatikan parameter-parameter, yaitu konstruksi bangunan, interior yang digunakan, lokasi bangunan, lokasi antenna pemancar dan antenna penerima, dan sebagainya [7].

Pemodelan propagasi ini dilakukan untuk menentukan probabilitas dari keberhasilan dalam membangun sebuah jaringan *wireless* [1]. Secara garis besar, pemodelan propagasi jaringan *wireless* dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu model empiris, model deterministik, dan kombinasi antara keduanya [1], [3], [6]-[8]. Model empiris menggunakan ekstrapolasi statistik berdasarkan sampel data yang didapatkan dari obyek penelitian. Pengaruh lingkungan menjadi salah satu aspek yang diperhitungkan secara implisit. Hasil

^{*)} Penulis korespondensi (Fransiska Sisilia Mukti)
Email: ms.frans@asia.ac.id

yang diberikan dalam pemodelan ini bergantung kepada ketepatan langkah-langkah yang dilakukan, serta persamaan antara analisis dengan lingkungan referensinya [8].

Penelitian ini bertujuan memberikan komparasi salah satu jenis pemodelan propagasi dalam ruangan, yaitu model empiris. Empat jenis model empiris dibandingkan untuk memprediksikan besaran *pathloss* yang dihasilkan dalam jaringan *wireless* kampus. Sebagai studi kasus, diberikan hasil pengukuran propagasi jaringan *wireless* di area *indoor* gedung STMIK Asia Malang, sebagai pembanding terhadap pendekatan propagasi dalam ruangan model empiris. Hasil komparasi yang diberikan diharapkan mampu memberikan gambaran kepada pihak *network engineer* dalam melakukan prediksi pola penyebaran sinyal *wireless* area *indoor*, dengan menggunakan pemodelan yang sesuai dengan konstruksi dan tipe bangunan kampus, tanpa harus melakukan survei secara langsung.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mencari pemodelan propagasi yang paling sesuai untuk memprediksikan pola penyebaran sinyal *wireless* dalam lingkungan *indoor* kampus. Studi kasus yang digunakan adalah gedung kampus STMIK Asia Malang, dengan struktur bangunan 4 lantai, dimana pada masing-masing lantai terdapat *Access Point* yang tersebar di beberapa titik.

Jenis pendekatan model propagasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah model empiris [3]-[5], [9], yaitu jenis pendekatan yang lebih sesuai untuk lingkungan *indoor* jika dibandingkan dengan model deterministik [1]. Model empiris ini mempertimbangkan nilai *pathloss* sebagai fungsi dari beberapa parameter propagasi, seperti jarak, frekuensi, dan ketinggian antenna [3].

A. One slope model (1SM)

Merupakan pemodelan empiris propagasi dalam ruangan yang paling sederhana, karena pendekatan ini hanya didasarkan pada jarak antara *transmitter* dan *receiver* [7]. Pendekatan ini dikembangkan dari pemodelan *free space model* [4]. Pendekatan *One Slope Model* (1SM) mengasumsikan bahwa *pathloss* secara linear bergantung kepada jarak d [3]. Model ini tidak memperhitungkan keberadaan *obstacle*, melainkan hanya faktor *power decay* saja yang dipertimbangkan [7]. Persamaan 1 digunakan untuk memprediksikan nilai *pathloss* yang dihasilkan dari pendekatan 1SM [1], [3], [4], [7]-[9].

$$PL \text{ (dB)} = L_0 + 10 \cdot n \cdot \log(d) \quad (1)$$

Parameter L_0 merepresentasikan nilai *free space path loss* (FSPL) untuk referensi jarak d_0 antara *transmitter* dan *receiver*. Sedangkan n merupakan eksponen *pathloss* atau yang sering disebut sebagai *power decay factor*. Tabel 1 menunjukkan nilai

Tabel 1. Parameter *one slope model*

Frequency (GHz)	L_0 (dB)	n	Comment
1.8	33.3	4.0	Office
1.8	37.5	2.0	Open space
1.8	39.2	1.4	Corridor
1.9	38.0	3.5	Office building
1.9	38.0	2.0	Passage
1.9	38.0	1.3	Corridor
2.45	40.2	4.2	Office building
2.45	40.2	1.2	Corridor
2.45	40.0	3.5	Office building
2.5	40.0	3.7	Office building
5.0	46.4	3.5	Office building
5.25	46.8	4.6	Office building

koefisien atenuasi sinyal untuk berbagai jenis frekuensi dan lingkungan [10].

B. Log-distance model

Log-distance model dikembangkan untuk menentukan atenuasi sinyal yang ditransmisikan dalam lintasan propagasi *Line of Sight* (LOS) [5]. Pemodelan ini mengijinkan adanya estimasi *loss* propagasi yang terjadi dan memperhitungkan semua faktor yang mempengaruhi propagasi. Dalam studi lain, *log distance model* juga disebut sebagai *log-normal shadowing pathloss model*, karena memperhitungkan adanya efek *shadowing* dalam lintasan propagasi [8]. Pemodelan ini tepat digunakan untuk berbagai jenis lingkungan, yang dituliskan dengan Persamaan 2 [1], [5], [8], [11], [12].

$$PL \text{ (dB)} = L_0 + 10 \cdot n \cdot \log \frac{d}{d_0} + X_\sigma \quad (2)$$

Parameter L_0 merupakan nilai *power loss* pada referensi jarak d_0 , yaitu 30dB [11], sedangkan n merupakan koefisien atenuasi dari *path* yang diukur pada jarak d . Nilai n bergantung kepada jenis lingkungan [8]. X_σ merupakan variable acak, yang menunjukkan standar deviasi σ dalam satuan dB. X_σ termasuk dalam efek *shadowing* untuk area dalam ruangan, dan umumnya bernilai 0 dB jika dianggap tidak ada *shadowing* dalam lingkungan tersebut. Tabel 2 menunjukkan parameter-parameter yang digunakan dalam pendekatan *Log-distance model* [1].

C. COST-231 multiwall model

COST-231 Multi Wall model merupakan pengembangan lebih lanjut dari *wall and floor factor model* [3]. Pemodelan ini memperhitungkan fakta bahwa rugi-rugi dalam propagasi lingkungan *indoor* juga dipengaruhi oleh jumlah dinding dan lantai yang ditembus pada *open space* [8]. Semakin detil deskripsi dari dinding dan lantai yang dituliskan, maka akan memberikan akurasi prediksi yang lebih baik [7]. Persamaan 3 menunjukkan prediksi *pathloss* yang

Tabel 2. Parameter *log-distance model*

Location	Frequency (MHz)	n	σ
Retail store	914	2.2	8.7
Grocery store	914	1.8	5.2
Office, hard partition	1500	3.0	7.0
Office, soft partition	900	2.4	9.6
Office, soft partition	1900	2.6	14.1
Textile/chemical	1300	2.0	3.0
Textile/chemical	4000	2.1	7.0
Paper/cereals (LOS)	1300	1.8	6.0
Metalworking (NLOS)	1300	1.6	5.8
Metalworking (NLOS)	1300	3.3	6.8

Tabel 3. Nilai atenuasi *COST-231 multiwall model*

No	Parameter	Attenuation (dB)
1	Foundation wall	15
2	Brick, concrete, concrete blocks	12
3	Elevator or metal obstacle	10
4	Metal rack	6
5	Drywall or sheetrock	3
6	No tinted glass windows	3
7	Wood door	3
8	Cubicle wall	2

dihasilkan dengan menggunakan *COST-231 Multi Wall model* [3], [7], [8].

$$PL(dB) = L_0 + \sum_{i=1}^N k_{wi} L_{wi} + k_f L_f \quad (3)$$

Parameter L_0 merupakan *pathloss* yang dihasilkan pada *free space*, k_{wi} menunjukkan jumlah dinding dengan tipe i yang terdapat antara *transmitter* dan *receiver*. L_{wi} merupakan faktor atenuasi dari dinding tipe i , N menunjukkan jumlah tipe dinding, sedangkan k_f merupakan jumlah lantai antara *transmitter* dan *receiver*, dan L_f merujuk kepada faktor atenuasinya. Tabel 3 mendefinisikan nilai atenuasi untuk jaringan *wireless* pada frekuensi 2.4GHz di lingkungan *indoor* berdasarkan tipe dindingnya [13].

Nilai L_0 pada pemodelan ini merupakan rugi-rugi yang dihasilkan pada proses perambatan sinyal gelombang radio seiring bertambahnya jarak dari antenna pemancar ke antenna penerima. Besaran dari nilai ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4 [14]. Parameter d merupakan jarak antara antenna pemancar dan antenna penerima, sedangkan f menunjukkan frekuensi perangkat yang digunakan.

$$L_0(dB) = 32,44 + 20 \cdot \log d + 20 \cdot \log f \quad (4)$$

D. ITU-R (P.1238) indoor model

ITU Model merupakan model propagasi gelombang radio yang memprediksikan *pathloss* dalam ruangan yang tertutup, seperti dalam sebuah gedung bangunan.

Tabel 4. Koefisien *power loss* untuk ITU-R (P.1238) model

Frequency	Residential Building	Office Building	Commercial building
900 MHz	-	33	20
1.8 to 2.4 GHz	28	30	22
5 GHz	-	31	-

Tabel 5. Faktor *loss* penetrasi lantai untuk ITU-R (P.1238) model

Frequency	Residential Building	Office Building	Commercial building
900 MHz	-	9 (1 floor) 19 (2 floor) 24 (3 floor)	-
1.8 to 2.4 GHz	$4n$	$15+4(n-1)$	$6+3(n+1)$
5 GHz	-	16 (1 floor)	-

Persamaan 5 menunjukkan bagaimana pemodelan ini digunakan untuk memperhitungkan estimasi *pathloss* yang dihasilkan dalam lingkungan *indoor* [1], [8]. Parameter f menyatakan frekuensi jaringan *wireless* yang digunakan dalam MHz, n merepresentasikan nilai koefisien atenuasi untuk lingkungan *indoor* untuk pemodelan ITU-R (P.1238), d menunjukkan jarak pengukuran antara *transmitter* dan *receiver*, dan L_f merupakan faktor rugi-rugi lintasan (*losses*) yang dihasilkan oleh penetrasi lantai. Tabel 4 menampilkan nilai koefisien *power loss* dan Tabel 5 menunjukkan *loss* yang dihasilkan oleh penetrasi lantai di lingkungan pengukuran [8], [15]. Parameter n menyatakan jumlah lantai yang diperhitungkan penetrasinya (untuk $n \geq 1$).

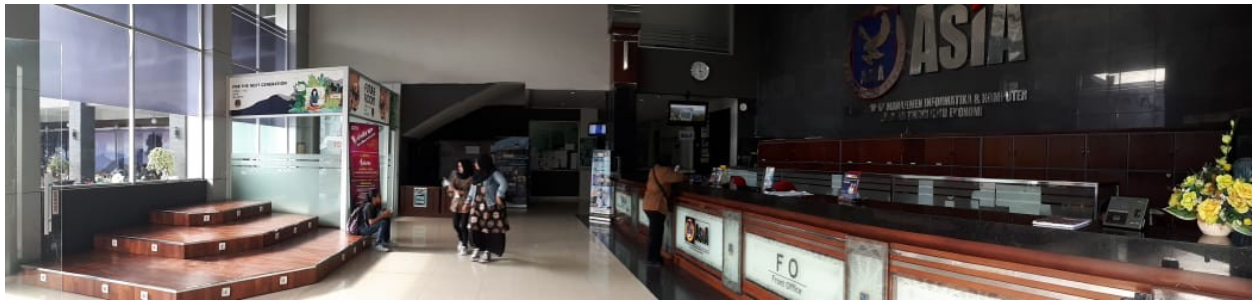
$$PL(dB) = 20 \cdot \log f + n \cdot \log d + L_f - 28 \quad (5)$$

E. Link budget

Performansi dari semua teknologi komunikasi bergantung kepada kualitas dari perangkat yang digunakan. *Link Budget* merupakan cara yang digunakan untuk mengukur performa setiap *link*. Daya yang diterima pada jaringan *wireless* 802.11 ditentukan berdasarkan 3 faktor, antara lain *transmit power*, *transmitter antenna gain*, dan *receiver antenna gain* [16]. Ketiga faktor ini kemudian akan diperhitungkan bersama-sama dengan nilai *pathloss* yang didapatkan dari hasil perhitungan pemodelan propagasi. Persamaan 6 menunjukkan rumus perhitungan *link budget* untuk mengetahui seberapa besar daya yang diterima oleh pengguna [10].

$$P_R = P_T + G_T + G_R - PL \quad (6)$$

Parameter P_R merupakan level daya yang diterima *user* dalam satuan dBm, P_T menunjukkan daya pancar antenna *transmitter* yang diukur (dBm), G_T merupakan nilai *gain* antenna *transmitter* yang diukur (dBm), G_R



Gambar1. Gedung STMIK Asia lantai 1, area front office (propagasi LOS)

menunjukkan nilai *gain antenna receiver* yang digunakan untuk mengukur (dBm), dan *PL* merepresentasikan nilai rugi-rugi lintasan (*pathloss*) yang didapatkan berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan pemodelan propagasi dalam ruangan.

F. Skenario Pengujian

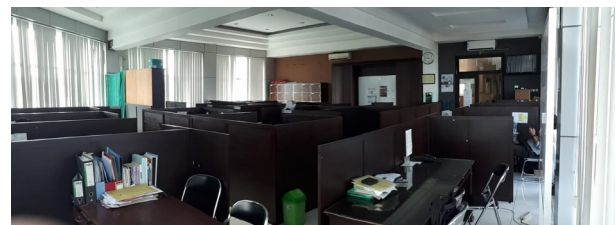
Dua lokasi yang dipilih dalam penelitian ini adalah lantai 1 dan lantai 3 pada gedung kampus STMIK Asia Malang, yang merupakan dua lokasi utama kegiatan civitas akademika. Kedua lokasi penelitian tersebut dideskripsikan berikut ini:

1. **Gedung lantai 1:** berada pada satu area dengan luasan sebesar 349,738 m² dengan spesifikasi area *front office* dengan meja marmer dan lemari kayu, satu ruang *customer service* yang diberikan sekat pembatas kaca, 4 area laboratorium yang diberi sekat pembatas kaca, dan 2 buah ruangan yang menggunakan pintu kayu. Koridor pada area depan laboratorium memiliki luasan sebesar 64,32 m²
2. **Gedung lantai 3:** memiliki 7 ruang perkuliahan dan 2 ruang lembaga yang memiliki luasan area yang sama masing-masing sebesar 37,95 m², dan satu ruangan besar yang digunakan sebagai ruang dosen dengan luasan sebesar 140,304 m² Pada area lantai 3 memiliki area koridor dengan ukuran panjang 21,86 m dan lebar 3,846 m. Kontruksi dari bangunan di lantai 3 menggunakan dinding pembatas dengan ketebalan 170mm.

Prosedur pengukuran dilakukan pada jenis lintasan propagasi *Line of Sight (LOS)*, yaitu gelombang sinyal yang dipancarkan langsung berpropagasi menuju antenna penerima, atau dengan kata lain penerima dapat melihat posisi antenna pemancar secara langsung tanpa adanya penghalang.

Pengukuran kuat sinyal pada propagasi LOS dilakukan di area lantai 1 dan lantai 3, dan nilai *pathloss* diperhitungkan berdasarkan parameter yang diperlukan oleh masing-masing pemodelan. Gambar 1 menunjukkan area *free space* pada lantai 1, sedangkan Gambar 2 menunjukkan ruang dosen pada lantai 3 yang terdapat banyak *obstacle* di sekitar antenna pemancar.

Berdasarkan lokasi penelitian yang diambil, terdapat 4 buah perangkat *Access Point* yang tersebar di kedua area tersebut. 2 buah perangkat untuk area lantai 1 (depan laboratorium dan *front office*), dan 2 perangkat untuk area lantai 3 (koridor lantai 3 dan ruang dosen, 19



Gambar 2. Ruang dosen, gedung STMIK Asia lantai 3 (propagasi NLOS)

Tabel 6. Spesifikasi perangkat dan lokasi penempatan

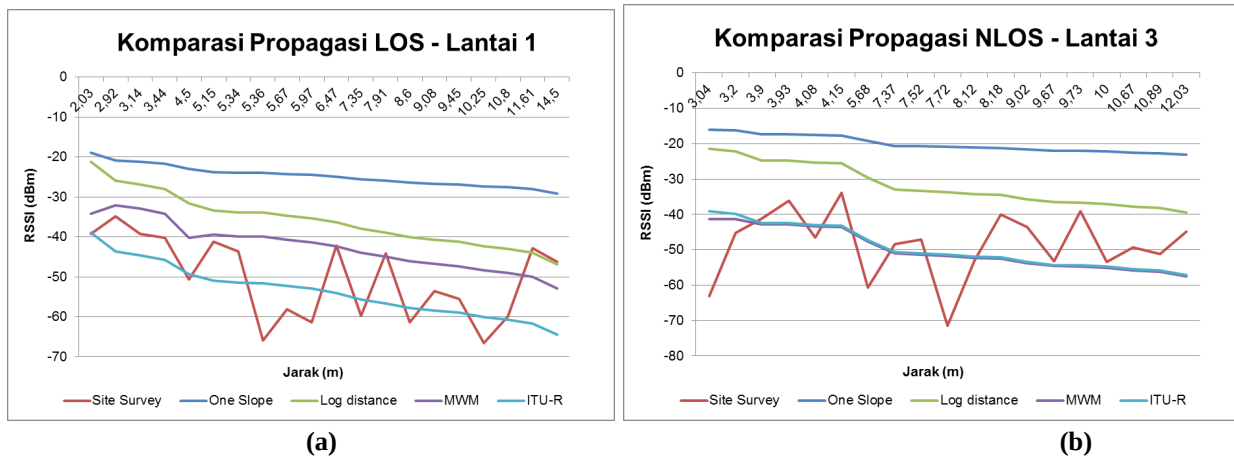
Jenis Perangkat	Spesifikasi		Lokasi
	Parameter	Nilai	
TP-Link TL-WA701ND	Operating Band	2.4 GHz	Front Office
	Gain Antenna	5 dBi	
	Max. TX Power	20 dBm	
TP-Link Archer AC1750	Operating Band	2.4 GHz	Depan Laboratorium
	Gain Antenna	5 dBi	
	Max. TX Power	20 dBm	
Ubiquiti Unifi AP Long-Range	Operating Band	2.4 GHz	Lantai 3
	Gain Antenna	3 dBi	
	Max. TX Power	27 dBm	

kedua perangkat memiliki spesifikasi yang sama). Tabel 6 menunjukkan spesifikasi perangkat (data diambil dari *datasheet* dalam [17]-[19]) yang diukur performansi berikut dengan lokasi penempatannya.

Hasil akhir dari penelitian ini adalah memberikan komparasi pemodelan mana yang menghasilkan akurasi prediksi nilai propagasi mendekati hasil pengukuran yang sebenarnya di lapangan. Oleh karena itu, dilakukan proses *site survey*, yaitu proses pengukuran kuat sinyal yang diterima oleh pengguna, yang disebut sebagai *Received Signal Strength Indicator (RSSI)* [20].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan hasil komparasi yang valid, proses perhitungan propagasi dengan keempat *empirical model* menggunakan titik dan jarak yang sama dengan titik dan jarak yang digunakan dalam proses *site survey*. Hasil perhitungan link budget pada masing-masing pemodelan akan dibandingkan dengan nilai RSSI yang didapatkan dari proses *site survey* dan dihitung nilai kesalahan relatifnya untuk mendapatkan kesesuaian



Gambar 3. Komparasi pengujian nilai RSSI terhadap jarak pada: (a) propagasi LOS (b) propagasi NLOS

pemodelan yang dibutuhkan untuk jaringan wireless dalam ruangan skala kampus.

Pengukuran *site survey* dilakukan dengan cara melakukan *walk test* pada 4 lokasi penelitian, yaitu area *front office* dan koridor laboratorium pada lantai 1, serta ruang dosen dan koridor untuk lantai 3. Pada masing-masing lokasi, diambil 10 sampel pengukuran nilai RSSI pada jarak tertentu. Proses pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi Wi-Fi SNR, untuk menghitung nilai RSSI-nya, dan *digital distance meter* untuk menghitung jarak antara *Access Point* dan posisi perangkat penerima.

Gambar 3 menunjukkan grafik komparasi nilai RSSI terhadap jarak. Gambar 3(a) merupakan komparasi nilai RSSI yang dihasilkan oleh hasil *site survey* dan hasil perhitungan pemodelan propagasi untuk area lantai 1 gedung kampus STMIK Asia Malang. Sedangkan Gambar 3(b) menunjukkan grafik komparasi nilai RSSI terhadap jarak antara hasil *site survey* dan hasil perhitungan pemodelan propagasi untuk area lantai 3. Area lantai 1 merupakan prosedur pengujian propagasi LOS, sedangkan pada area lantai 3 merupakan pengujian sinyal pada propagasi NLOS.

Nilai RSSI pada masing-masing pemodelan didapatkan dengan cara menghitung nilai *link budget* yang mempertimbangkan adanya nilai *pathloss* berdasarkan menurut parameter masing-masing model. Berdasarkan grafik yang dihasilkan pada Gambar 3 di atas, terlihat bahwa nilai RSSI yang dihasilkan oleh pemodelan propagasi *Multiwall Model* dan ITU-R (P.1238) relatif lebih mendekati nilai RSSI yang dihasilkan dari proses pengukuran secara *site-survey*. Hal ini terjadi karena kedua pemodelan ini mempertimbangkan adanya *obstacle* di sekitar AP sesuai dengan [8], [15] dibandingkan 1SM [3]. Keberadaan penghalang di sekitar AP nyatanya memberikan dampak secara signifikan terhadap kuat sinyal yang diterima oleh *user*, khususnya untuk propagasi NLOS. Semakin besar nilai atenuasi yang dihasilkan oleh penghalang, maka semakin kecil kuat sinyal yang diterima oleh *user*.

Hasil penelitian ini merupakan pengembangan dari [10] yang hanya menggunakan pemodelan 1SM dengan nilai RSSI yang dihasilkan berdasarkan penempatan titik AP. Untuk menunjukkan bahwa *barrier* di sekitar AP memiliki dampak terhadap kuat sinyal yang diterima user, maka dilakukan pengujian dengan menggunakan pemodelan propagasi *log-distance*, *Cost-231 Multiwall model* dan ITU-R (P.1238) model.

Pendekatan pemodelan propagasi *Log-distance* yang diuraikan pada [8] menuliskan tingkat akurasi prediksi nilai RSSI yang dihasilkan mencapai 95%. Sementara itu, pemodelan *COST-231 Multiwall Model* memberikan prediksi nilai RSSI yang lebih mendekati nilai aktual di lapangan pada propagasi LOS (lihat Gambar 3a). Hasil yang lebih baik diberikan oleh pemodelan propagasi ITU-R (P.1238) model untuk propagasi NLOS (lihat Gambar 3b), mengingat pada propagasi NLOS banyak ditemui *barrier* di sekitar AP. Pemodelan propagasi memberikan gambaran bagaimana penyebaran kuat sinyal pada propagasi LOS dan NLOS, namun sebaiknya hasil prediksi ini diverifikasikan dengan prosedur *site-survey* sebagai perbandingan analisisnya.

Untuk mengetahui keakurasian dalam pemodelan yang diperbandingkan, maka dilakukan proses perhitungan nilai kesalahan (*error*) yang dihasilkan oleh pemodelan. Nilai RSSI pada masing-masing pemodelan didapatkan dengan cara menghitung nilai *link budget* yang mempertimbangkan adanya nilai *pathloss* berdasarkan menurut parameter masing-masing model. Masing-masing nilai RSSI yang dihasilkan dari pemodelan dikomparasikan dengan nilai RSSI *site survey* untuk dihitung tingkat kesalahan relatifnya. Nilai kesalahan relatif didapatkan dengan menggunakan Persamaan 7.

$$Error(\%) = \frac{RSSI_{site} - RSSI_{model}}{RSSI_{site}} \times 100\% \quad (7)$$

Tabel 7 menunjukkan sampel komparasi nilai RSSI yang didapatkan dari hasil *site survey* dan dari hasil perhitungan pemodelan propagasi pada area lantai *front office* di lantai 1 gedung kampus STMIK Asia Malang.

Tabel 7. Komparasi pengukuran *site survey* dan model empiris (Lantai 1: area *front office*)

<i>d</i> (m)	RSSI (dBm)					Kesalahan Relatif (%)			
	Site Survey	1SM	Log-distance	COST-231 MWM	ITU-R (P.1238)	1SM	Log-distance	COST-231 MWM	ITU-R (P.1238)
2,03	-39,3	-18,890	-21,225	-34,244	-38,908	51,934	45,992	12,865	0,997
2,92	-34,9	-20,785	-25,961	-32,006	-43,645	40,444	25,613	8,292	25,057
3,14	-39,3	-21,163	-26,908	-32,952	-44,591	46,15	31,532	16,153	13,463
3,44	-40,2	-21,639	-28,097	-34,141	-45,780	46,172	30,107	15,072	13,881
4,5	-50,7	-23,040	-31,600	-40,240	-49,280	54,556	37,673	20,631	2,801
5,15	-41,2	-23,742	-33,354	-39,3988	-51,038	42,374	19,044	4,372	23,879
5,34	-43,6	-23,930	-33,826	-39,870	-51,510	45,115	22,417	8,555	18,142
5,36	-66	-23,950	-33,870	-39,920	-51,560	63,712	48,682	39,515	21,879
5,67	-58,1	-24,240	-34,610	-40,650	-52,290	58,279	40,43	30,034	10
5,97	-61,4	-24,510	-35,280	-41,320	-52,960	60,081	42,541	32,704	13,746
6,47	-42,1	-24,931	-36,327	-42,371	-54,011	40,781	13,713	0,644	28,292
7,35	-59,8	-25,600	-37,990	-44,030	-55,670	57,191	36,472	26,371	6,906
7,91	-44,1	-25,978	-38,945	-44,990	-56,629	41,093	11,689	2,018	28,41
8,6	-61,4	-26,410	-40,030	-46,080	-57,72	56,987	34,805	24,951	5,993
9,08	-53,6	-26,700	-40,740	-46,790	-58,43	50,187	23,993	12,705	9,011
9,45	-55,6	-26,910	-41,260	-47,310	-58,95	51,601	25,791	14,91	6,025
10,25	-66,6	-27,330	-42,320	-48,370	-60,01	58,964	36,456	27,372	9,895
10,8	-59,9	-27,600	-43,000	-49,050	-60,69	53,923	28,214	18,114	1,319
11,61	-42,9	-27,979	-43,945	-49,989	-61,628	34,781	2,436	16,524	43,655
14,5	-46,3	-29,136	-46,841	-52,885	-64,525	37,071	1,168	14,222	39,363
			Kesalahan relatif rata-rata (%)			49,569	27,938	17,301	16,136

Secara akumulatif, Tabel 8 menunjukkan rata-rata nilai kesalahan relatif untuk keseluruhan lokasi penelitian, baik propagasi LOS dan NLOS.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada 40 titik sampel pada propagasi LOS, pemodelan *One Slope* memberikan nilai kesalahan yang paling besar. Hal ini terjadi karena *One Slope* hanya mempertimbangkan jarak antara antenna pemancar dan antenna penerima [3], [7]. Sebaliknya, pemodelan propagasi ITU-R (P.1238) memberikan nilai kesalahan terkecil, karena pemodelan ini menggunakan nilai koefisien kontruksi bangunan yang akan mengkalkulasikan nilai rugi-rugi sinyal yang dihasilkan berdasarkan tipe-tipe bangunan *indoor* pada beragam jenis frekuensi [8]. Nilai yang dihasilkan oleh pemodelan *COST-231 Multi Wall* memiliki nilai yang cukup mendekati nilai kesalahan yang dihasilkan oleh pemodelan ITU-R (P.1238), karena pemodelan ini juga memperhitungkan keberadaan *obstacle* atau penghalang yang berada di sekitar perangkat, termasuk furniture di sekitaran AP [15]. Namun, hal yang perlu diperhatikan adalah jumlah dinding yang dimasukkan ke dalam perhitungan, untuk mencegah adanya proses perhitungan yang rumit sehingga menghasilkan nilai *pathloss* yang terlalu besar.

Keberadaan pemodelan propagasi ini dapat digunakan sebagai bahan analisis dan pertimbangan bagi pihak desainer jaringan untuk memprediksikan rugi-rugi sinyal yang diakibatkan kontruksi dan tipe gedung, khususnya untuk area *indoor* gedung kampus, secara empiris [3]-[5], [9]. Pemilihan pemodelan propagasi juga penting untuk diperhatikan, mengingat prediksi nilai propagasi yang dihasilkan akan bergantung kepada ketepatan pihak desainer jaringan

Tabel 8. Nilai kesalahan relatif rata-rata untuk beragam propagasi

Jenis Propagasi	1SM	Log-distance	MWM	ITU-R (P.1238)
LOS	49,569	27,938	17,301	16,136
NLOS	57,269	32,642	16,719	16,626
Rata-rata(%)	53,419	30,29	17,01	16,381

dalam memilih jenis pemodelan berdasarkan jenis lokasi yang dihitung. Dari keempat jenis model propagasi yang dibandingkan, ITU-R (P.1238) memberikan prediksi yang terbaik karena menghasilkan nilai kesalahan relatif terkecil, yaitu sebesar 16,381%.

IV. KESIMPULAN

Dari 40 titik sampel yang diambil di area gedung kampus STMIK Asia Malang pada propagasi LOS dan NLOS, didapatkan hasil bahwa pemodelan propagasi ITU-R (P.1238) memberikan nilai kesalahan relatif terkecil sebesar 16,144% dibandingkan *one slope model*, *log-distance model*, dan *COST-231 multiwall model*. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan ini memiliki tingkat prediksi propagasi yang paling mendekati hasil pengukuran yang sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Morocho-yaguana, P. Lude, F. Sandoval, B. Poma-velez, and A. Erreyes-dota, "An optimized propagation model based on measurement data for

- indoor environments,” *Journal of Telecommunication and Information Technology*, vol. 2, pp. 69–75, 2018. doi: [10.26636/jtit.2018.117217](https://doi.org/10.26636/jtit.2018.117217)
- [2] J. C. Stein, “Indoor radio WLAN performance part II : range performance in a dense office environment,” Intersil Corporation, 1998.
- [3] M. Luo, “Indoor radio propagation modeling for system performance prediction,” thesis, INSA de Lyon, France, 2013.
- [4] F. Agren, “Indoor radio propagation modelling with antenna placement optimization,” thesis, Lund University, Sweden, 2017.
- [5] P. Thu, Z. Tun, and A. S. Hlaing, “Modification of propagation prediction model for 2.4 GHz indoor wireless environment,” in *International Conference on Advances in Engineering and Technology*, Singapore, Mar. 2014, pp. 360–364. doi: [10.15242/IIIE.E0314173](https://doi.org/10.15242/IIIE.E0314173)
- [6] S. Y. Yeong, W. Al-Salihy, and T. C. Wan, “Indoor WLAN monitoring and planning using empirical and theoretical propagation models,” in *the 2nd International Conference on Network Applications, Protocols and Services*, Kedah, Malaysia, Sept. 2010, pp. 165–169. doi: [10.1109/NETAPPS.2010.36](https://doi.org/10.1109/NETAPPS.2010.36)
- [7] M. O. Omae, E. N. Ndungu, P. L. Kibet, and H. Tarus, “Artificial intelligence approach to signal propagation modeling for outdoor to indoor wireless communication networks; a proposed study,” in *the Mechanical Engineering Conference on Sustainable Research and Innovation*, Nairobi, Kenya, May 2012, pp. 289–299.
- [8] F. J. Carlos Vesga, H. Martha Fabiola Contreras, and B. Jose Antonio Vesga, “Design of empirical propagation models supported in the log-normal shadowing model for the 2.4GHz and 5GHz bands under indoor environments,” *Indian Journal of Science & Technology*, vol. 11, no. 22, pp. 1-18, 2018. doi: [10.17485/ijst/2018/v11i22/122149](https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i22/122149)
- [9] S. Zvanovec, P. Pechac, and M. Klepal, “Wireless LAN networks design: site survey or propagation modeling?,” *Radioengineering*, vol. 12, no. 4, pp. 42-49, 2003.
- [10] F. S. Mukti and D. A. Sulisty, “Analisis penempatan access point pada jaringan wireless lan stmik asia malang menggunakan one slope model,” *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, vol. 13, no. 1, pp. 13-22, 2018.
- [11] B. R. Jadhavar and T. R. Sontakke, “2.4 GHz propagation prediction models for indoor wireless communications within building,” *International Journal of Soft Computing and Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 108-113, 2012.
- [12] A. R. Sandeep, Y. Shreyas, S. Seth, R. Agarwal, and G. Sadashivappa, “Wireless network visualization and indoor empirical propagation model for a campus Wi-fi network,” *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 18, pp. 730-734, 2009.
- [13] D. Akin *et al.*, *Certified wireless network administrator official study guide*. Bremen Georgia: Planet3 Wireless Inc., 2002.
- [14] M. A. Amanaf, E. S. Nugraha, and D. Kurnianto, “Analisis simulasi model cost-231 multiwall pathloss indoor berbasis wireless sensor network pada aplikasi absensi mahasiswa dengan tag RFID menggunakan RPS (radiowave propagation simulator),” *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, vol. 16, no. 1, pp. 17-26, 2018. doi: [10.17933/bpostel.2018.160102](https://doi.org/10.17933/bpostel.2018.160102)
- [15] *Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radio communication systems and the radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz*, ITU-R Recommendations, Geneva, 2001.
- [16] J. Butler *et al.*, *Wireless networking in the developing world*, 3rd Edition. Copenhagen: BbookSprint, 2013.
- [17] L. TP-Link Technologies Co, “Access point TL-WA701ND specification,” 2019. [Online]. Available: <https://www.tp-link.com/id/home-networking/access-point/tl-wa701nd/#specifications>.
- [18] L. TP-Link Technologies Co, “Access point Archer C7 specification,” 2019.
- [19] Ubiquiti Networks, “UniFi dataSheet,” Ubiquiti Networks, Inc., 2016.
- [20] Y. Chapre, P. Mohapatra, S. Jha, and A. Seneviratne, “Received signal strength indicator and its analysis in a typical WLAN system,” in *IEEE Conference on Local Computer Networks*, Sidney, Australia, Oct. 2013, pp. 304-307. doi: [10.1109/LCN.2013.6761255](https://doi.org/10.1109/LCN.2013.6761255)