

ANALISIS PERBANDINGAN MODEL PROPAGASI PADA KOMUNIKASI SELULER 5G WILAYAH JAKARTA UTARA

Achmad Zaidan Zaki¹, Peby Wahyu Purnawan², Nifty Fath³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Budi Luhur Jakarta, Indonesia

¹1952500138@student.budiluhur.ac.id, ²pebywahyupurnawan@budiluhur.ac.id,

³nifty.fath@budiluhur.ac.id

ABSTRAK

Dalam bidang komunikasi nirkabel, pemilihan frekuensi dan model propagasi sangat memengaruhi karakteristik propagasi sinyal. Studi ini mengulas analisis perbandingan model propagasi dalam komunikasi seluler 5G, dengan fokus khusus pada wilayah Jakarta Utara. Dengan menggunakan alat NYUSIM bersama model 3GPP, Walfish-Ikegami, dan ITU-R, simulasi dilakukan pada frekuensi 28 GHz dan 3,5 GHz. Temuan menunjukkan adanya korelasi positif antara jarak transmisi dan kedua kerugian Line-of-Sight (LOS) dan Non-Line-of-Sight (NLOS). Seiring bertambahnya jarak, nilai LOS dan NLOS cenderung meningkat. Pada 28 GHz dengan antenna Omni, LOS pada 200 meter mencapai 115,00 dB, sedangkan NLOS adalah 130,04 dB. Namun, menggunakan antenna Direc pada frekuensi dan jarak yang sama, LOS meningkat menjadi 122,80 dB, dan NLOS menjadi 137,50 dB. Selain itu, variasi frekuensi memengaruhi hasil simulasi, dengan 3,5 GHz menunjukkan rentang nilai Path Loss yang lebih luas (3,66 dB hingga 22,82 dB) dibandingkan dengan 28 GHz (4,40 dB hingga 23,53 dB). Oleh karena itu, studi ini menekankan peran penting pemilihan frekuensi dalam menentukan tingkat kehilangan sinyal dan pentingnya pemahaman terhadap karakteristik frekuensi untuk desain jaringan komunikasi nirkabel yang efisien dan handal.

Kata kunci : Komunikasi seluler 5G, Model propagasi, Analisis perbandingan, Frekuensi 28 GHz dan 3,5 GHz, Wilayah Jakarta Utara

ABSTRACT

In the realm of wireless communication, the choice of frequency and propagation model significantly influences signal propagation characteristics. This study delves into the comparative analysis of propagation models in 5G cellular communication, specifically focusing on the North Jakarta region. By employing the NYUSIM tool alongside 3GPP, Walfish-Ikegami, and ITU-R models, simulations were conducted at frequencies of 28 GHz and 3.5 GHz. The findings reveal a positive correlation between transmission distance and both Line-of-Sight (LOS) and Non-Line-of-Sight (NLOS) losses. As distance increases, LOS and NLOS values tend to elevate. At 28 GHz with the Omni antenna, LOS at 200 meters reaches 115.00 dB, while NLOS is 130.04 dB. However, using the Direc antenna at the same frequency and distance, LOS increases to 122.80 dB, and NLOS to 137.50 dB. Furthermore, frequency variation affects simulation outcomes, with 3.5 GHz displaying a broader range of Path Loss values (3.66 dB to 22.82 dB) compared to 28 GHz (4.40 dB to 23.53 dB). Consequently, the study underscores the critical role of frequency selection in determining signal loss levels and emphasizes the necessity of understanding frequency characteristics for efficient and reliable wireless communication network design.

Keywords : 5G cellular communication, Propagation models, Comparative analysis, 28 GHz and 3.5 GHz frequencies, North Jakarta region

I. PENDAHULUAN

Teknologi seluler terus berkembang dari generasi ke generasi, dan saat ini telah mencapai generasi 5G dengan peningkatan signifikan pada kecepatan, cakupan, dan kehandalan. Teknologi 5G membawa perubahan pada pengembangan jaringan yang ada dan potensi implementasi jaringan baru, serta dapat memungkinkan interkoneksi antara jaringan nirkabel dan serat optik. *Path loss* (redaman jaringan) dipengaruhi oleh jarak, frekuensi, dan penghalang, sehingga kekuatan sinyal yang diterima akan berkurang. Perhitungan *path loss* didasarkan pada model propagasi untuk menentukan besarnya redaman sinyal dalam suatu lintasan komunikasi [1].

Propagasi dalam konteks ruang bebas terjadi ketika tidak ada penghalang yang menghalangi penyebaran gelombang radio antara pemancar dan penerima, termasuk dalam *Line of Sight* (LOS) maupun *Non-Line-of-Sight* (N-LOS). Pada propagasi ruang bebas, redaman sinyal terjadi bergantung pada jarak antara pemancar dan penerima. Model paling sederhana terjadi ketika pemancar dan penerima saling melihat satu sama lain, sehingga perhitungan redaman dilakukan berdasarkan rumus redaman ruang bebas [2].

Agar mencapai hasil yang maksimal dalam menentukan model propagasi yang akurat, dilakukan perbandingan antar model di suatu daerah tertentu. Diperlukan suatu pengukuran langsung ke lapangan untuk mendapatkan data propagasi, setelah data propagasi didapat dan diolah sedemikian rupa, maka menghasilkan sebuah pemodelan (model propagasi). Penelitian ini berada di daerah yang merupakan daerah perkotaan dengan kepadatan penduduk tinggi dan fitur manusia besar dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Kota Jakarta menjadi daerah penelitian ini karena kota Jakarta memiliki berbagai macam bangunan-bangunan tinggi [3].

Menurut penelitian Dwi Aryanta yang diperoleh melalui model NYUSIM dapat dihitung selisih nilai *path loss* pada kondisi LOS dan NLOS sebesar 35% pada frekuensi 3,5 GHz dan 26% pada frekuensi 28 GHz [1].

Model probabilitas LOS NYUSIM memiliki kesamaan bentuk dengan model 3GPP. NYUSIM digunakan pada skenario UMi dan UMa untuk tinggi UE 1,5 m. NYUSIM dikembangkan berdasarkan model saluran spasial statistik untuk sistem komunikasi nirkabel gelombang milimeter-gelombang (mmWave) oleh para peneliti di Universitas New York (NYU). Simulator ini berlaku untuk berbagai frekuensi pembawa, bandwidth frekuensi radio (RF), lebar berkas antenna, dan skenario operasional, termasuk penggunaan susunan

antena *Multi-Input Multi-Output* (MIMO) pada pemancar dan penerima.

Perhitungan *path loss* dilakukan untuk memahami seberapa besar redaman sinyal saat bergerak dari pemancar ke penerima dalam komunikasi nirkabel. Tujuannya adalah untuk menentukan seberapa jauh jangkauan sinyal tersebut, seberapa kuat sinyal yang diterima, serta untuk merencanakan jaringan komunikasi yang efisien. Dan mengapa kawasan PIK di ambil sebagai pergitungan *path loss* karena ada beberapa alasan kepadatan populasi, tingkat penggunaan frekuensi radio, perencanaan jaringan komunikasi.

Maka penelitian ini menyajikan suatu hasil perhitungan *path loss* teknologi seluler generasi 5G dengan kasus di Wilayah Jakarta Utara. Model prediksi yang digunakan untuk melakukan perhitungan *path loss*. Analisis dilakukan pada semua hasil perhitungan *path loss* dari masing-masing model yang digunakan, dan dapat diputuskan model prediksi perhitungan Analisis Prediksi *Path Loss* Teknologi Seluler 5G Wilayah Jakarta Utara.

II TINJAUAN PUSTAKA

A. Study Literatur

Penelitian [4] menggunakan simulasi dan pemodelan kanal untuk mengevaluasi kinerja sistem komunikasi berbasis gelombang sub-THz dan millimeter (mmWave). Menggunakan alat simulasi ns-3, penelitian membandingkan dua model kanal, yaitu drop-based NYU channel model (NYUSIM) dan 3GPP statistical channel model (SCM), pada frekuensi 28 GHz dengan bandwidth 100 MHz. Penelitian dilakukan dalam empat skenario berbeda (UMi, UMa, RMa, InH) dengan mentransmisikan data video 50 Mbps menggunakan protokol UDP.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kanal RMa dalam kondisi *non-line of sight* (NLOS) memiliki kinerja optimal, dengan *throughput* maksimum 48.1 Mbps dan latensi sekitar 20 ms. Perbandingan antara model kanal menunjukkan kesamaan *throughput* dan kehilangan paket antara UMa dan RMa dalam kondisi NLOS menggunakan model NYUSIM. Namun, latensi pada skenario UMi dan InH jauh lebih tinggi.

Kesimpulan dari penelitian adalah bahwa mmWave bands dapat mendukung *data rates* 50 Mbps dengan kehilangan paket minimal dan latensi di bawah 150 ms dalam semua skenario menggunakan model kanal NYUSIM. Penelitian ini memberikan pemahaman mendalam tentang kinerja sistem mmWave, yang penting untuk perancangan modem nirkabel masa depan.

Penelitian ini [5] bertujuan menganalisis cakupan layanan teknologi seluler 5G di Tanjung Karang, Indonesia, yang belum sepenuhnya diimplementasikan. Metode simulasi menggunakan tiga model: NYUSIM, ABG, dan CI, pada frekuensi 28 GHz dengan *bandwidth* 100 MHz. Hasil simulasi NYUSIM mendekati nilai *path loss* dari metode *link budget* dengan nilai sekitar 154,05 dB. Perbandingan menunjukkan selisih *path loss* pada *uplink* sebesar 5,94 dB dan *downlink* sebesar 6,44 dB. Evaluasi sensitivitas penerima menghasilkan nilai *receiver sensitivity* -154,93 dBm (*uplink*) dan *reception sensitivity* -109,45 dBm (*downlink*). Penelitian ini memberikan gambaran potensi cakupan layanan 5G di Tanjung Karang, menjadi landasan penting untuk pemahaman kelayakan dan implementasi teknologi 5G di wilayah tersebut.

Studi ini bertujuan merinci perkembangan teknologi jaringan generasi kelima (5G) di Indonesia dan potensinya dalam meningkatkan efisiensi serta kecepatan layanan komersial, medis, akademis, dan pemerintah dalam bidang komunikasi. Teknologi 5G dianggap sebagai kebutuhan mendatang yang penting. Penelitian ini mengusulkan penerapan optimal teknologi 5G di Indonesia pada tahun 2020 dengan mempertimbangkan parameter berdasarkan kanal 5G Indonesia. Fokusnya adalah pada model kanal 38 GHz untuk komunikasi 5G, menggunakan simulasi NYUSIM dengan data SSCM berbasis Matlab. Lokasi penelitian adalah sub-Distrik Pekanbaru City, dengan skenario urban microcell (UMi) yang mencerminkan kondisi perkotaan. Hasil studi mencakup nilai *path loss* sebesar 125.5 dB, daya terima -95.5 dBm, sudut kedatangan (AOA) dan sudut keberangkatan (AOD) sinyal, serta nilai Omnidirectional Power Delay Profile (PDP). Temuan ini memberikan informasi penting untuk peneliti, instalator, perencana, dan pihak-pihak terkait dalam konteks implementasi teknologi 5G di Indonesia, khususnya dalam skenario urban microcell.[6]

Penelitian ini bertujuan untuk menguji model kanal 5G yang akan digunakan dalam jaringan masa depan, dengan fokus pada karakteristik model kanal yang memengaruhi kinerja jaringan, terutama dalam frekuensi mmWave di atas 6 GHz. Evaluasi dilakukan pada parameter frekuensi 28 GHz, modulasi 16-QAM, *bandwidth* 50 MHz, dan metode modulasi CP-OFDM. Hasil perbandingan model kanal 5G menunjukkan probabilitas gangguan sebesar 10^{-4} pada suhu maksimum dan minimum. Penentuan nilai E_b/N_0 yang diperlukan untuk rasio coding 1:2, 3:4, dan 1 pada probabilitas gangguan 10^{-4} serta pada suhu maksimum dan minimum

juga dilakukan. Penelitian menunjukkan bahwa suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja sistem komunikasi pada jaringan 5G, dan penggunaan rasio coding 1/2 pada suhu minimum menunjukkan efisiensi yang lebih baik dalam meningkatkan kualitas dan kapasitas kanal komunikasi. Temuan ini memberikan wawasan penting bagi perancang jaringan untuk mempertimbangkan kondisi suhu dalam merancang dan mengoptimalkan jaringan 5G untuk mendapatkan kinerja yang optimal.[7]

Penelitian ini menunjukkan bahwa untuk jaringan 5G, dibutuhkan sekitar tiga kali lebih banyak stasiun dasar dibandingkan dengan jaringan 3G dan 4G saat ini. Namun, dengan antenna yang diarahkan dengan baik, cakupan jaringan dapat diperluas tanpa menambah interferensi, sehingga mengurangi jumlah stasiun dasar yang diperlukan. Kapasitas jaringan 5G dengan antenna acak bisa meningkat hingga 20 kali lipat dibandingkan dengan jaringan LTE generasi keempat saat ini, dan peningkatan lebih lanjut bisa dicapai dengan menggunakan antenna yang diarahkan pada sudut terkuat, dengan bantuan teknik beam combining. Temuan ini memberikan panduan sederhana untuk merencanakan jaringan 5G agar lebih efisien dan memiliki cakupan yang lebih baik.[8]

B. Pengertian Propagasi

Propagasi adalah penyebaran gelombang microwave melalui udara dari antenna pemancar ke antenna penerima dengan jarak hingga ribuan kilometer. Ada dua kondisi propagasi: Line of Sight (LOS) dan Non-Line-of-Sight (N-LOS), di mana LOS memiliki penghalang yang minim antara pemancar dan penerima. Pada propagasi ruang bebas, hanya ada redaman sinyal seiring dengan jarak antara pemancar dan penerima. Pemahaman propagasi sangat penting dalam merencanakan sistem komunikasi nirkabel, memastikan kualitas sinyal yang handal dan aman dari pengirim ke penerima. Faktor-faktor seperti redaman, disperse, pantulan, difraksi, dan penghalang fisik seperti bangunan dapat memengaruhi proses propagasi. Pengetahuan tentang propagasi penting dalam perencanaan, perancangan, dan operasi sistem komunikasi nirkabel seperti jaringan seluler, WLAN, atau satelit, untuk meningkatkan kualitas sinyal dan keandalan komunikasi.

C. Pemodelan propagasi

Pada perencanaan jaringan seluler untuk memodelkan cakupan suatu base station perlu diketahui nilai redaman lintasan sehingga pemilihan jenis perangkat yang diperlukan dapat menjadi optimal. Terdapat sejumlah model prediksi *path loss*

yang dapat digunakan untuk perencanaan jaringan yang mendukung implementasi teknologi seluler 5G. Penggunaan beberapa model prediksi path loss diperlukan untuk mencari nilai optimal redaman lintasan untuk mengurangi faktor kesalahan perencanaan. 3GPP TR38.900, ITU-R, Walfish – Ikegami dan NYUSIM adalah model yang menggunakan persamaan untuk menghitung prediksi path loss, sedangkan NYUSIM merupakan suatu software dengan sejumlah pengaturan parameter sesuai kebutuhan.

D. Pengertian Path loss

Path loss (kehilangan jalur) adalah fenomena di mana kekuatan sinyal elektromagnetik berkurang saat sinyal tersebut merambat melalui suatu media transmisi, seperti udara atau ruangan bebas. Path loss terjadi karena sinyal mengalami redaman saat bergerak melalui medium dan menjauh dari sumber.

Ada beberapa faktor yang berkontribusi terhadap path loss, termasuk:

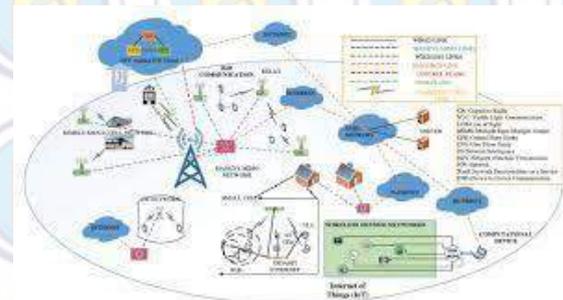
1. Jarak: semakin jauh jarak antena pengirim dan penerima, semakin besar path loss yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh penyebaran energi sinyal dalam ruangan dan dispersi yang terjadi seiring dengan jarak.
2. Frekuensi: path loss juga bergantung pada frekuensi sinyal. Pada frekuensi yang lebih tinggi, seperti di dalam spektrum gelombang milimeter yang digunakan dalam komunikasi 5G, path loss cenderung lebih tinggi karena sinyal lebih rentan terhadap redaman.
3. Karakteristik lingkungan: Faktor-faktor seperti kepadatan bangunan, vegetasi, dan objek lainnya dalam jalur transmisi juga dapat menyebabkan
4. Path loss. Objek-objek ini dapat memantulkan, menyebarkan, atau menyerap sinyal, mengakibatkan penurunan kekuatan sinyal yang diterima oleh penerima.
5. Path loss merupakan bagian penting dalam perencanaan dan perancangan jaringan seluler, karena mempengaruhi jangkauan, kapasitas, dan kualitas sinyal yang diterima oleh pengguna. Dalam studi path loss, model matematika dan pengukuran empiris digunakan untuk memodelkan dan memprediksi kehilangan jalur dalam berbagai kondisi dan lingkungan.

Path loss merupakan bagian penting dalam perencanaan dan perancangan jaringan seluler, karena mempengaruhi jangkauan, kapasitas, dan kualitas sinyal yang diterima oleh pengguna. Dalam studi path loss, model matematika dan pengukuran

empiris digunakan untuk memodelkan dan memprediksi kehilangan jalur dalam berbagai kondisi dan lingkungan

E. Teknologi seluler 5G

Perkembangan teknologi seluler telah mencapai generasi ke-5 (5G), dengan banyak negara telah menerapkannya. Teknologi 5G menawarkan sejumlah parameter layanan dan kinerja, dengan dukungan mmWave untuk frekuensi antara 3 GHz hingga 300 GHz. Implementasi MIMO pada 5G meningkatkan efisiensi dan kecepatan transmisi melalui penggunaan antena pada pengiriman dan penerimaan. Jaringan 5G memiliki cakupan yang luas dan menggunakan jaringan heterogen dengan sel-sel mikro dan satu sel makro. Teknologi 5G mendukung layanan Device-to-Device (D2D) untuk Massive Machine Communications (MMC), Internet of Things (IoT), Moving Networks (MN) untuk pengguna yang bergerak, Ultra-Dense Networks (UDN) untuk meningkatkan kapasitas dan efisiensi energi, serta Ultra Reliable Network (URN) untuk kehandalan tinggi. Arsitektur jaringan 5G dirancang untuk mendukung fitur-fitur ini secara efektif. dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Arsitektur Jaringan Teknologi Salular 5G

Terdapat 3 kategori spektrum frekuensi yang diperlukan pada teknologi 5G agar memberikan jangkauan luas dan dapat mendukung semua use case yang dapat dihadirkan dengan teknologi 5G Ketiga spektrum frekuensi yang digunakan pada teknologi seluler 5G yaitu:

1. Low bands, dibawah 1GHz untuk kebutuhan coverage terutama untuk aplikasi MMTC (Massive IoT dan mobile broadband)
2. Mid bands, 1-6 GHz, bandwidth yang lebih lebar untuk kebutuhan eMBB (enhanced mobile broadband) dan mission-critical.
3. Hight bands, di atas 24 GHz (mmWave) : untuk kebutuhan bandwidth yang sangat besar

Spektrum frekuensi yang umum untuk teknologi 5G adalah pada 700 MHz, 3,5 GHz dan 26/28 GHz. Saat ini di Indonesia spektrum frekuensi

700 MHz masih digunakan untuk layanan broadcast analog

III. METODE PENELITIAN

A. Tahapan penelitian path loss

Penelitian ini adalah perencanaan jaringan 5G NR (New Radio) berkaitan dengan cakupan area layanan. Hasil akhir penelitian ini berupa perhitungan pathloss yang didapatkan dari kondisi di Jakarta utara. Pada penelitian ini melakukan implementasi mmWave menggunakan frekuensi kerja sebesar 28 GHz dan 3,5 GHz dengan bandwidth 100 MHz dan 800 MHz untuk komunikasi seluler 5G di Jakarta Utara. Saat merencanakan jaringan seluler untuk memodelkan cakupan suatu base station perlu mengetahui nilai redaman jalur untuk menentukan jenis perangkat. dengan sejumlah model prediksi pathloss yang tersedia untuk mendukung perencanaan jaringan untuk implementasi seluler 5G. penggunaan beberapa model prediksi path loss diperlukan untuk menemukan nilai redaman jalur yang optimal untuk mengurangi faktor kesalahan perencanaan.

B. Model 3GPP TR38.900

Model ini memperhitungkan path loss yang dihasilkan transmisi jaringan radio pada penggunaan pita frekuensi dibawah 6 GHz. Pada pemodelan ini terdapat 2 kategori kondisi yang berbeda yaitu LOS (Line Of Sight) dan Nlos (Non-Line Of Sight). Pada penelitian kali ini model propagasi dapat diterapkan oleh Urban Macro (Uma) dalam kondisi pengamatan yang Nlos (Non-Line Of Sight) maka pemodepan propagasi ini dituliskan dengan PL merupakan pathloss d3D menunjukkan jarak dari transmitter ke receiver yang diukur dalam satuan meter, kemudian f_c yang merupakan frekuensi kerja yang diamati atau dianalisis pada penelitian ini, serta h_{UT} yang menunjukkan tinggi antena pada transmitter.[9]

$$PL'_{UMA-NLOS} = 13.54 - 39.08 \log_{10} (d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) - 0.6(h_{UT} - 1.5) \quad (1)$$

Keterangan:

d_{3D} : menunjukkan jarak dari transmitter ke receiver yang diukur dalam satuan meter

f_c : yang merupakan frekuensi kerja yang diamati atau dianalisis

h_{UT} : yang menunjukka tinggi antena pada transmitter

C. Model ITU-R

ITU-R merupakan model propagasi gelombang radio yang memprediksikan suatu pathloss dalam ruangan yang tertutup, seperti didalam gedung

bagaimana pemodelan ini digunakan untuk memperhitungkan estimasi pathloss yang dihasilkan dalam lingkungan indor. Sedangkan parameter F menyatakan frekuensi jaringan wireless yang digunakan dalam MHz, n merepresentasikan nilai koefisien untuk lingkungan indoor, D menunjukkan jarak pengukuran transmitter dan receiver, sedangkan L_f merupakan faktor rugi-rugi lintasan (losses).[10]

$$PL(dB) = 20 \cdot \log f + n \cdot \log d + L_f - 28 \quad (3.2)$$

Keterangan :

F : menyatakan frekuensi jaringan wireless yang digunakan dalam MHz

n : merepresentasikan nilai koefisien untuk lingkungan indoor

D : menunjukkan jarak pengukuran transmitter dan receiver

L_f : merupakan faktor rugi-rugi lintasan (losses).

D. Model walfish ikegami

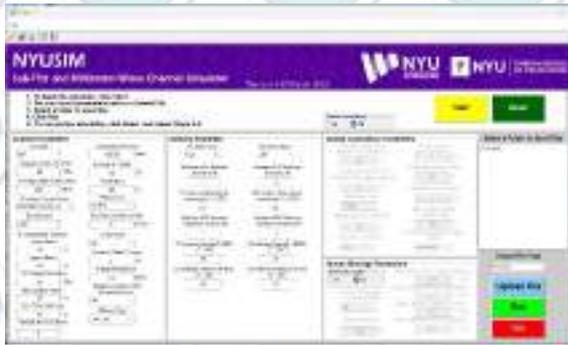
Pemodelan ini dapat digunakan untuk menyempurnakan perhitungan pathloss dengan memperhitungkan lebih banyak data yang menggambarkan daerah seperti ketinggian gedung (penghalang), hr, Lebar jalan w, Jarak antar gedung . pemodelan ini dibedakan antara situasi Line of Sight (LOS) dan Non-Line Of Sight (Non-LOS) pada situasi seperti ini dapat diaplikasikan propagasi sederhana, dimana pathloss dapat dicari dengan persamaan.

$$L = 42,6 + 26 \log d \text{ (km)} + 20 \log f \text{ (MHz)} ; d > 20 \text{ km} \quad (3.4)$$

Untuk situasi Non-LOS total rugi-rugi transmisinya merupakan penjumlahan dari free space loss (LFS), rooftop to street diffraction and scatter loss (Lrts), dan multiscreen loss (Lmsd). Pasa situasi seperti ini dapat diaplikasikan dimana path loss dapat dicari dengan. [12]

E. Model NYUSIM

NYUSIM adalah simulator pemodelan propagasi yang digunakan untuk memperkirakan perambatan gelombang dengan berbagai model dasar. Simulator open-source ini (Gambar 2) memungkinkan pengguna untuk melakukan simulasi dan analisis propagasi gelombang pada berbagai lingkungan, termasuk perkotaan, pinggiran kota, dan pedesaan. NYUSIM didasarkan pada data pengukuran kanal empiris dari berbagai lokasi di seluruh dunia, sehingga memberikan hasil simulasi yang lebih realistis.



Gambar 2. simulasi NYUSIM

IV. Hasil dan Analisis

A. Hasil Pemodelan Propagasi

Pemodelan propagasi gelombang radio pada frekuensi 28 GHz dan 3,5 GHz dengan variasi jarak 25-200 meter menunjukkan seberapa jauh sinyal dapat mencapai perangkat pengguna dengan kualitas optimal. Hasilnya mencakup data path loss, menggambarkan seberapa banyak daya sinyal yang hilang selama perjalanan. Empat model berbeda (3GPP TR38.900, ITU-R, Walfish-Ikegami, dan NYUSIM) digunakan untuk memberikan gambaran yang komprehensif tentang karakteristik propagasi gelombang radio pada frekuensi tinggi.

B. Hasil Pemodelan Propagasi Perhitungan 3GPP

Tabel 1 menampilkan hasil simulasi path loss dalam dB pada frekuensi 28 GHz dan 3,5 GHz, dengan jarak tertentu dalam meter. Berdasarkan model 3GPP TR38.900, path loss meningkat seiring dengan jarak, menunjukkan pelemahan sinyal saat menyebar. Pada frekuensi 28 GHz, path loss cenderung lebih tinggi daripada pada 3,5 GHz, menunjukkan rentannya sinyal pada frekuensi tinggi terhadap redaman dalam lingkungan yang sama.

Tabel 1. Parameter Perhitungan

NO	Komponen	Nilai
1.	Frekuensi Kerja (GHz)	3,5 GHz (BW = 100 MHz) 28 GHz (BW = 800 MHz)
2.	Daya Pancar (base station)	30 dBm
3.	Tinggi antena (base station)	35 m
4.	Tinggi antena (user)	1,5 m
5.	Nilai Koefisien N	6

Tabel 2 Hasil Perhitungan path loss model 3GPP

Jarak (meter)	Model 3GPP TR38.900	
	frekuensi 28 GHz	frekuensi 3,5 GHz
25	129,86	111,8
50	132,13	114,06
75	134,74	116,68
100	137,84	119,77
125	141,62	123,56
150	146,51	128,44
175	153,39	135,33
200	165,15	147,09

Tabel 2 menampilkan hasil simulasi path loss dalam dB pada frekuensi 28 GHz dan 3,5 GHz, dengan jarak tertentu dalam meter. Berdasarkan model 3GPP TR38.900, path loss meningkat seiring dengan jarak, menunjukkan pelemahan sinyal saat menyebar. Pada frekuensi 28 GHz, path loss cenderung lebih tinggi daripada pada 3,5 GHz, menunjukkan rentannya sinyal pada frekuensi tinggi terhadap redaman dalam lingkungan yang sama.

C. Hasil perhitungan ITU-R

Tabel 3 menampilkan hasil simulasi path loss dalam decibel (dB) pada frekuensi 28 GHz dan 3,5 GHz, berdasarkan model standar teknis ITU-R. Seperti sebelumnya, path loss meningkat seiring dengan jarak, dengan path loss pada frekuensi yang lebih tinggi (28 GHz) cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi yang lebih rendah (3,5 GHz), menunjukkan rentannya sinyal pada frekuensi tinggi terhadap redaman dan kehilangan daya. Model ITU-R umumnya digunakan untuk pemodelan path loss di industri telekomunikasi, sementara 3GPP TR38.900 lebih spesifik untuk jaringan 5G pada frekuensi tertentu.

Tabel 3. Hasil Perhitungan path loss model ITU-R

Jarak (meter)	Model ITU-R	
	frekuensi 28 GHz	frekuensi 3,5 GHz
25	159,33	141,27
50	161,14	143,08
75	162,19	144,13
100	162,94	144,88
125	163,52	145,46
150	164	145,94
175	164,4	146,34
200	164,75	146,69

D. Hasil perhitungan Walfish Ikegami

Tabel 4 memperlihatkan hasil simulasi path loss dalam dB pada frekuensi 28 GHz dan 3,5 GHz, pada jarak tertentu, berdasarkan model Walfish-Ikegami. Path loss juga meningkat seiring dengan jarak, seperti pada tabel sebelumnya. Perbandingan dengan model lain menunjukkan perbedaan nilai path loss, karena setiap model memiliki asumsi dan parameter yang berbeda. Oleh karena itu, pemilihan model yang sesuai dengan kebutuhan simulasi atau perencanaan jaringan sangat penting.

Table 4 Hasil Perhitungan path loss model Walfish Ikegami

Jarak (meter)	Model Walfish Ikegami	
	frekuensi 28	frekuensi 3,5
	GHz	GHz
25	105,63	100,21
50	113,46	108,04
75	118,03	112,62
100	121,28	115,86
125	123,8	118,38
150	125,86	120,44
175	127,6	122,18
200	129,11	123,69

E. Hasil pemodelan dengan simulasi NYUSIM

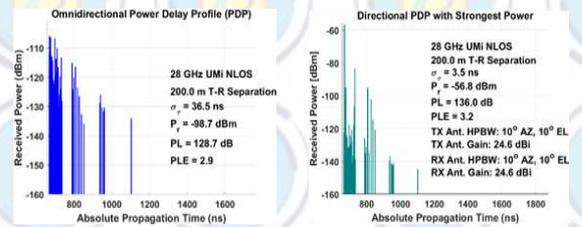
Dalam penelitian ini, dilakukan estimasi path loss antara Base Station (BS) dan User Equipment (UE) menggunakan sejumlah parameter yang relevan dengan teknologi seluler 5G di Kota Jakarta Utara. Skenario sel yang digunakan adalah sel urban berukuran mikro, dengan berbagai kondisi propagasi, baik Line-of-Sight (LOS) maupun Non-Line-of-Sight (NLOS). Parameter yang digunakan pada simulasi tercantum dalam Tabel 5.

Table 5 Parameter Simulasi NYUSIM

No	Komponen	Nilai	Keterangan
1.	Tekanan Udara	1010,50 hPa	Data cuaca untuk kota Jakarta Utara (Sumber BMKG), dipergunakan pada pemodelan NYUSIM
2.	Kelembaban Udara	77%	
3.	Temperatur	31 C	
4.	Curah Hujan	6 mm/jam	

Melalui pemodelan menggunakan NYUSIM dengan parameter yang tercantum pada Tabel 6, hasil simulasi pada frekuensi 28 GHz untuk jarak 200 meter ditampilkan dalam Gambar 3. Gambar tersebut menggambarkan gelombang sinyal dengan sumbu x sebagai waktu propagasi absolut dalam nanosekon (ns) dan sumbu y sebagai jumlah

daya yang diterima dalam miliwatt desibel (dBm), dengan skenario Omnidirectional (biru) dan directional (hijau). Setiap hasil simulasi menunjukkan nilai PathLoss (PL) antara Base Station (BS) dan User Equipment (UE) pada jarak tertentu untuk kondisi Non-Line-of-Sight (NLOS). Profil path delay yang mencerminkan karakteristik multipath sinyal juga ditampilkan pada hasil simulasi NYUSIM.



Gambar 3. Simulasi Path Loss antenna NLOS pada frekuensi 28 GHz

Simulasi menggunakan NYUSIM pada frekuensi 28 GHz, skenario UMi NLOS, memberikan pemahaman mendalam tentang saluran nirkabel. Dalam lingkungan omnidirectional, path loss mencapai 128,7 dB dengan tantangan dalam saluran urban. Namun, dengan antenna directional, penundaan saluran lebih rendah (3,5 ns) dan daya terima lebih tinggi (-56,8 dBm), menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam mengatasi gangguan dan meningkatkan kapasitas saluran. Analisis lebih lanjut dapat meningkatkan desain dan kinerja jaringan 5G pada frekuensi tinggi.

Tabel 6 Nilai Path loss Hasil Simulasi NYUSIM (Frekuensi 28 GHz)

Jarak (m)	28 GHz (BW = 800 MHz)			
	Omnidirectional		Directional	
	LOS	NLOS	LOS	NLOS
25	94,23	106,9	104,5	107,07
50	101,15	105,9	106,54	114
75	105,2	127,5	102,9	133,04
100	108,08	129,02	105,01	136,2
125	110,31	129,52	118,6	132,9
150	112,13	144	120,02	148,01
175	113,67	133,2	139,05	139,55
200	115	130,04	122,8	137,05

Analisis simulasi pada frekuensi 28 GHz dengan bandwidth 800 MHz menyoroti keunggulan antenna directional dibandingkan antenna omnidirectional dalam kondisi Line-of-Sight (LOS) maupun Non-Line-of-Sight (NLOS) pada berbagai jarak. Antena directional secara konsisten menunjukkan daya terima yang lebih tinggi

dibandingkan dengan antenna omnidirectional. Implikasinya, pemilihan antenna directional dapat meningkatkan keandalan dan kualitas sinyal pada jarak tertentu. Perlu diingat bahwa penurunan daya terima terjadi seiring dengan peningkatan jarak, sehingga desain jaringan nirkabel harus mempertimbangkan trade-off antara jarak dan kinerja daya terima.

Tabel 7 Nilai Path loss Hasil Simulasi NYUSIM (Frekuensi 3,5 GHz)

Jarak (m)	3,5 GHz (BW = 100 MHz)			
	Omnidirectional		Directional	
	LOS	NLOS	LOS	NLOS
25	68,8	85,4	72,4	84,7
50	84,6	94,13	83,5	94,33
75	79,3	99,24	78,6	99,97
100	85,2	102,86	84,57	103,97
125	87,5	105,67	86,47	107,07
150	82,05	107,97	85,08	109,6
175	87,31	109,91	91,8	111,74
200	80,9	111,59	93,2	113,6

Hasil simulasi menunjukkan perbandingan daya terima antara antenna omnidirectional dan directional pada frekuensi 3,5 GHz dengan bandwidth 100 MHz dalam kondisi Line-of-Sight (LOS) dan Non-Line-of-Sight (NLOS) pada berbagai jarak. Meskipun perbedaannya tipis pada jarak pendek, antenna directional secara konsisten menunjukkan keunggulan dalam memberikan daya terima yang lebih tinggi, terutama pada kondisi NLOS dan jarak yang lebih jauh. Keunggulan ini menjadi faktor penting dalam pemilihan antenna tergantung pada kebutuhan spesifik jaringan dan kondisi lingkungan.

F. Hasil perbandingan 4 pemodelan

Model perhitungan path loss 3GPP TR38.900, ITU-R, Walfish-Ikegami dan NYUSIM digunakan untuk melakukan estimasi nilai path loss khususnya pada kondisi NLOS. Pada perhitungan ini, peneliti menggunakan parameter yang telah tercantum pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8 Perhitungan Path Loss Setiap Model, Frekuensi 28 GHz

Jarak (m)	Model yang digunakan (28 GHz)			
	NYUSIM	3GPP TR38.900	ITU-R	Walfish Ikegami
25	107,07	129,86	159,33	105,63
50	114	132,13	161,14	113,46
75	133,04	134,74	162,19	118,03
100	136,2	137,84	162,94	121,28
125	132,9	141,62	163,52	123,8
150	148,01	146,51	164	125,86
175	139,55	153,39	164,4	127,6
200	137,05	165,15	164,75	129,11

Penelitian ini melakukan pemodelan path loss pada frekuensi 28 GHz menggunakan empat model yang berbeda: 3GPP TR38.900, ITU-R, dan Walfish-Ikegami. Hasil simulasi menunjukkan bahwa path loss cenderung meningkat seiring dengan peningkatan jarak, menyoroti kompleksitas lingkungan frekuensi tinggi. Model-model tersebut memberikan wawasan yang berharga untuk perencanaan jaringan 5G, dengan model Walfish-Ikegami menunjukkan prediksi yang lebih baik dalam memperkirakan redaman sinyal pada jarak-jarak yang diuji. Keseluruhan, pemahaman mendalam tentang karakteristik path loss pada frekuensi 28 GHz menjadi dasar yang kokoh bagi pengembangan jaringan 5G yang berkualitas tinggi dan dapat diandalkan di masa depan.

Tabel 9. Perhitungan Path Loss Setiap Model, Frekuensi 3,5 GHz

Jarak (m)	Model yang digunakan (3,5 GHz)			
	NYUSIM	3GPP TR38.900	ITU-R	Walfish-Ikegami
25	84,7	111,8	141,27	100,21
50	94,33	114,06	143,08	108,04
75	99,97	116,68	144,13	112,62
100	103,97	119,77	144,88	115,86
125	107,07	123,56	145,46	118,38
150	109,6	128,44	145,94	120,44
175	111,74	135,33	146,34	122,18
200	113,6	147,09	146,69	123,69

Penelitian ini melibatkan empat model pemodelan path loss pada frekuensi 3,5 GHz: 3GPP TR38.900, ITU-R, Walfish-Ikegami, dan NYUSIM. Setiap model memberikan perspektif yang berbeda dalam memahami redaman sinyal pada saluran nirkabel. Model-model tersebut memberikan pandangan yang lebih akurat dan holistik terkait dengan perancangan dan pengoptimalan sistem komunikasi nirkabel pada frekuensi tersebut. Pemahaman ini penting untuk pengembangan jaringan 5G dan teknologi frekuensi tinggi lainnya,

serta dalam merancang infrastruktur komunikasi nirkabel yang efektif dalam menghadapi lingkungan sel mikro urban. Penelitian ini memberikan sumbangan yang berharga untuk pemahaman dan perancangan infrastruktur komunikasi nirkabel pada frekuensi 3,5 GHz.

G. Analisis Rata-Rata dengan 4 pemodelan Propagasi

Maka untuk memperoleh nilai terbaik dari keempat model prediksi pathloss, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan rata-rata path loss pada setiap jarak, sehingga diperoleh nilai pathloss seperti yang tercantum dalam Tabel 10.

Tabel 10. Rata-rata Nilai Path loss Sel Mikro Urban NLOS

Jarak BS – UE (m)	Rata-rata PL 28 GHz (dB)	Rata-rata PL 3,5 GHz (dB)
25	125,47	109,49
50	130,18	114,88
75	137	118,35
100	139,57	121,12
125	140,46	123,62
150	146,09	126,11
175	146,24	128,9
200	149,02	132,77

Hasil rata-rata path loss pada frekuensi 28 GHz dan 3,5 GHz pada berbagai jarak antara base station (BS) dan user equipment (UE) memberikan pemahaman yang penting tentang karakteristik saluran nirkabel pada frekuensi yang berbeda. Secara konsisten, frekuensi 28 GHz menunjukkan rata-rata path loss yang lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi 3,5 GHz pada setiap jarak yang diuji. Hal ini menandakan bahwa saluran nirkabel pada frekuensi yang lebih tinggi cenderung mengalami lemah sinyal, yang memiliki implikasi penting dalam desain dan kinerja jaringan nirkabel pada frekuensi tersebut. Diperlukan strategi penanganan sinyal yang efektif untuk mengatasi tantangan yang dihadapi pada frekuensi 28 GHz.

Tabel 11 Selisih Terhadap Nilai Rata-rata Path loss pada Frekuensi 28 GHz

Jarak BE – UE (m)	Selisih Terhadap Nilai Rata-rata PL-pada frekuensi 28 GHz			
	NYUSIM	3GPP TR38.900	ITU – R	Walfish - Ikegami
25	18,4	4,39	33,86	19,84
50	16,18	1,95	30,96	16,72
75	3,96	2,26	25,19	18,97
100	3,37	1,73	23,38	18,28
125	7,56	1,16	23,06	16,66
150	1,92	0,41	17,91	20,23
175	6,69	7,15	18,17	18,63
200	11,97	16,14	15,73	19,91
Rata-rata Selisih	8,75	4,4	23,53	18,66

Analisis selisih nilai rata-rata path loss pada frekuensi 28 GHz antara beberapa model (NYUSIM, 3GPP TR38.900, ITU-R, dan Walfish-Ikegami) pada jarak antara Base Station (BS) dan User Equipment (UE) memberikan gambaran tentang performa dan ketepatan model-model tersebut dalam memodelkan propagasi gelombang radio pada frekuensi tinggi. Pada jarak 25 meter, selisih antara nilai path loss yang dihasilkan berkisar antara 4,39 hingga 33,86 dB, menunjukkan variasi yang signifikan dalam proyeksi path loss pada frekuensi 28 GHz. Perbedaan ini tetap signifikan dengan peningkatan jarak, dengan selisih pada jarak 200 meter berkisar antara 11,97 hingga 19,91 dB. Rata-rata selisih untuk keempat model tersebut mencerminkan keberagaman karakteristik, dengan 3GPP menunjukkan selisih terkecil dan ITU-R menunjukkan selisih terbesar. Pentingnya pemilihan model yang tepat dalam perencanaan jaringan komunikasi nirkabel pada frekuensi tinggi ini disoroti, karena selisih yang signifikan dapat memengaruhi kualitas dan keandalan sinyal dalam implementasi jaringan 5G. Oleh karena itu, pemahaman karakteristik dan variabilitas model-model tersebut menjadi krusial dalam merancang infrastruktur komunikasi nirkabel pada frekuensi 28 GHz, yang merupakan fondasi dalam mewujudkan konektivitas tingkat lanjut dan teknologi berbasis 5G.

Tabel 12 Selisih Terhadap Nilai Rata-rata PL pada Frekuensi 3,5 GHz

Jarak BE-UE (m)	Selisih Terhadap Nilai Rata-rata PL pada frekuensi 3,5 GHz			
	NYUSIM	3GPP TR38.900	ITU-R	Walfish-Ikegami
25	24,79	2,3	31,77	9,28
50	20,55	0,81	28,2	6,84
75	18,38	1,67	25,78	5,73
100	17,15	1,35	23,76	5,26
125	16,55	0,06	21,84	5,24
150	16,51	2,34	19,83	5,66
175	17,16	6,43	17,44	6,71
200	19,17	14,32	13,92	9,08
Rata-rata Selisih	18,78	3,66	22,82	6,73

Hasil rata-rata selisih nilai rata-rata path loss pada frekuensi 3,5 GHz, dibandingkan dengan beberapa model path loss (NYUSIM, 3GPP TR38.900, ITU-R, Walfish-Ikegami), memberikan pemahaman tentang perbedaan karakteristik antara model-model tersebut. Analisis menunjukkan bahwa setiap model memiliki perbedaan karakteristik dalam memodelkan redaman sinyal pada frekuensi 3,5 GHz pada jarak antara Base Station (BS) dan User Equipment (UE). Pada jarak 25 meter, selisih antara model-model tersebut berkisar antara 2,30 hingga 31,77 dB, menyoroti proyeksi yang berbeda terkait dengan kondisi propagasi gelombang radio pada frekuensi 3,5 GHz pada jarak pendek. Peningkatan jarak hingga 200 meter menunjukkan tren yang serupa, dengan selisih antara model-model tersebut tetap signifikan. Selain itu, terdapat variasi selisih yang berbeda pada setiap jarak, menunjukkan pentingnya pemilihan model yang sesuai dengan kondisi lingkungan tertentu. Analisis selisih ini memberikan wawasan yang berharga bagi perancang jaringan dan peneliti untuk memilih model yang paling akurat dan sesuai dengan kebutuhan spesifik pada frekuensi 3,5 GHz, yang penting dalam implementasi jaringan 5G. Kesimpulannya, pemahaman tentang selisih ini penting untuk mengoptimalkan kinerja jaringan dan meminimalkan ketidakpastian dalam perencanaan sistem komunikasi nirkabel pada frekuensi 3,5 GHz.

V. KESIMPULAN

Pada kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil simulasi pada NYUSIM menunjukkan hubungan positif antara jarak transmisi dan nilai Loss of Signal (LOS) serta Non-Line-of-Sight (NLOS). Artinya, semakin jauh jarak yang diuji,

semakin tinggi nilai LOS dan NLOS yang terukur. Pada frekuensi 28 GHz dengan antena omnidirectional, nilai LOS terendah adalah 94,83 dB, sedangkan pada frekuensi 3,5 GHz nilai LOS tertinggi adalah 87,50 dB. Untuk NLOS, pada frekuensi 3,5 GHz mendapatkan nilai terendah sebesar 85,40 dB, sedangkan pada frekuensi 28 GHz mendapatkan nilai tertinggi sebesar 144,00 dB. Ketika menggunakan antena directional, pada frekuensi 28 GHz nilai LOS terendah adalah 102,90 dB, sedangkan pada frekuensi 3,5 GHz mendapatkan nilai terbesar sebesar 93,20 dB. Untuk NLOS, pada frekuensi 3,5 GHz mendapatkan nilai terendah sebesar 84,70 dB, sedangkan pada frekuensi 28 GHz mendapatkan nilai tertinggi sebesar 148,01 dB. Kesimpulannya, nilai LOS dan NLOS cenderung meningkat seiring dengan peningkatan jarak transmisi, dengan variasi yang signifikan tergantung pada frekuensi yang digunakan dan jenis antena yang dipergunakan.

2. Analisis dari empat pemodelan, yaitu NYUSIM, Walfish-Ikegami, ITU-R, dan 3GPP, menunjukkan perbedaan signifikan dalam prediksi path loss pada frekuensi 3,5 GHz dan 28 GHz. Model NYUSIM cenderung memberikan prediksi path loss terendah pada kedua frekuensi, dengan nilai tertinggi pada 28 GHz. Sebaliknya, pemodelan ITU-R cenderung memberikan prediksi path loss tertinggi, dengan nilai terendah pada 28 GHz. Model lainnya, seperti Walfish-Ikegami dan 3GPP TR38.900, menunjukkan variasi dalam hasil prediksinya tergantung pada frekuensi yang diuji.

REFERENSI

- [1] D. Aryanta, "Analisis Prediksi Path Loss Teknologi Seluler 5G Pada Sel Micro Urban Wilayah Kota Bandung," vol. 9, no. 3, pp. 548–561, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v5i3.548.
- [2] T. A. Nugraha and A. Hikmaturokhman, "<title/>," *JURNAL INFOTEL*, vol. 9, no. 1, p. 24, Feb. 2017, doi: 10.20895/infotel.v9i1.144.
- [3] M. P. A. Simarmata, S. Soim, and M. Fadli, "ANALISA LINK BUDGET DENGAN PERBANDINGAN PEMODELAN PROPAGASI PADA KOMUNIKASI SELULAR DAERAH URBAN," *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan*, vol. 5, no. 2, p. 712, Jul. 2019, doi: 10.25124/jett.v5i2.1989.
- [4] H. Poddar, T. Yoshimura, M. Pagin, T. S. Rappaport, A. Ishii, and M. Zorzi, "Full-

Stack End-To-End mmWave Simulations Using 3GPP and NYUSIM Channel Model in ns-3,” Feb. 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2302.12385>

- [5] G. Di and T. Karang, “Prediksi Point to Point Path Loss Frekuensi 28.”
- [6] I. A. Pohan *et al.*, “PEMODELAN KANAL 38 GHZ UNTUK KOMUNIKASI 5G MENGGUNAKAN NYUSIM.”
- [7] K. NĪ'AMAH, S. NURJANAH, and A. R. DANISYA, “Model Kanal 5G Frekuensi 28 GHz dengan Pengaruh Suhu di Kota Yogyakarta,” *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 8, no. 2, p. 276, May 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i2.276.
- [8] A. Iyanda Sulyman, A. T. Nassar, M. K. Samimi, G. R. MacCartney Jr, T. S. Rappaport, and A. Alsanie, “MILLIMETER-WAVE COMMUNICATIONS FOR 5G Radio Propagation Path Loss Models for 5G Cellular Networks in the 28 GHz and 38 GHz Millimeter-Wave Bands,” 2014.