

# Analisis Propagasi Gelombang Radio Menggunakan Metode Ray Tracing pada Perencanaan Sistem Komunikasi Seluler 5G untuk Wilayah Urban (Studi Kasus Distrik Bisnis di Kota Lhokseumawe)

Yassir, Ipan Suandi, Syahrul Azmi, Suryati, Rachmawati

*Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 Indonesia*

\*yassir.yassir@pnl.ac.id

**Abstrak**— Implementasi jaringan 5G di lingkungan perkotaan adalah sebuah tantangan yang kompleks. Kehadiran berbagai faktor seperti bangunan, pohon, penghalang, serta kondisi atmosfer seperti hujan dan kabut mempengaruhi propagasi gelombang radio. Oleh karena itu, perencanaan dan analisis yang akurat tentang karakteristik propagasi di lingkungan perkotaan menjadi penting untuk memastikan efisiensi dan keandalan propagasi gelombang radio dalam sistem komunikasi seluler 5G. Salah satu solusi adalah menggunakan metode ray tracing. Penelitian ini fokus pada karakteristik jalur jamak pada frekuensi mmWave untuk perencanaan jaringan 5G di kota Lhokseumawe, Aceh, Indonesia. Metode simulasi digunakan untuk mengevaluasi efektivitas metode ray tracing dalam memprediksi propagasi gelombang radio di lingkungan perkotaan. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan daya terima seiring dengan bertambahnya jumlah refleksi. Dengan daya pancar 5W, daya terima karena refleksi ganda meningkat sekitar 5,1286 dB dibandingkan dengan refleksi tunggal. Demikian pula, daya terima karena empat refleksi meningkat sekitar 7,4145 dB dibandingkan dengan refleksi tunggal. Lebih banyak refleksi juga berarti area cakupan yang lebih luas. Namun, hasil perhitungan path loss menunjukkan bahwa material beton menghasilkan path loss yang lebih besar dibandingkan dengan material pantulan sempurna.

**Kata kunci**— propagasi, ray tracing, path loss, daya terima, lhokseumawe, 5G.

**Abstract**— The implementation of 5G networks in urban environments is a complex challenge. The presence of various factors such as buildings, trees, obstructions, as well as atmospheric conditions such as rain and fog affect radio wave propagation. Therefore, accurate planning and analysis of propagation characteristics in urban environments is important to ensure the efficiency and reliability of radio wave propagation in 5G mobile communication systems. One solution is to use the ray tracing method. This research focuses on multi-path characteristics at mmWave frequencies for 5G network planning in the city of Lhokseumawe, Aceh, Indonesia. Simulation methods are used to evaluate the effectiveness of the ray tracing method in predicting radio wave propagation in urban environments. The simulation results show an increase in received power as the number of reflections increases. With a transmit power of 5W, the receiving power due to multiple reflections increases by about 5.1286 dB compared to single reflection. Similarly, the receiving power due to four reflections increases by about 7.4145 dB compared to single reflection. More reflections also mean a wider coverage area. However, the path loss calculation results show that the concrete material produces a greater path loss compared to the perfectly reflective material.

**Keywords**— propagation, ray tracing, path loss, received power, lhokseumawe, 5G.

## I. PENDAHULUAN

Sistem komunikasi seluler 5G menghadirkan perubahan dalam penggunaan perangkat seluler dan mengakses internet. Dengan Peningkatan kecepatan, latensi rendah, dan bandwidth yang lebih lebar, teknologi 5G mampu menyediakan layanan dan aplikasi baru yang tidak layak dengan sistem komunikasi generasi sebelumnya. Namun, keberhasilan implementasi dan pengoperasian jaringan 5G memerlukan perencanaan dan manajemen yang cermat, terutama mengenai propagasi gelombang radio. Pengembangan sistem komunikasi seluler 5G telah membawa peningkatan yang signifikan terhadap kinerja jaringan nirkabel, yang mengarah pada kecepatan data yang lebih tinggi, kapasitas yang lebih besar, dan latensi yang lebih rendah. Kinerja jaringan komunikasi seluler 5G akan tercapai sesuai standar jika direncanakan dengan efisien untuk memastikan cakupan jaringan yang handal dan kuat.

Kota Lhokseumawe khususnya daerah distrik bisnis merupakan daerah padat penduduk dengan banyak gedung gedung. Dengan mobilitas orang yang tinggi di wilayah tersebut, maka permintaan akses internet seluler berkecepatan tinggi terus meningkat. Namun, sampai saat ini infrastruktur jaringan komunikasi seluler 5G belum tersedia di Kota Lhokseumawe. Oleh karena itu diperlukan analisis perencanaan propagasi gelombang radio pada sistem komunikasi seluler 5G untuk wilayah Kota Lhokseumawe.

Perencanaan model propagasi gelombang radio yang akurat sangat penting untuk merancang dan mengoptimalkan jaringan komunikasi seluler 5G di daerah perkotaan.

Dalam perencanaan ini, penulis menggunakan sebuah pemodelan propagasi yang disebut metode ray tracing. Berdasarkan penelitian lainnya model ini akurat dan efisien untuk mensimulasikan propagasi gelombang radio di daerah perkotaan [1]. Selanjutnya, perlu dilakukan investigasi mengenai keefektifan metode ray tracing untuk perencanaan propagasi gelombang radio pada sistem komunikasi seluler 5G di daerah distrik bisnis kota Lhokseumawe, Provinsi Aceh, Indonesia.

Permasalahan yang timbul saat ini adalah kelangkaan spektrum pada spektrum gelombang mikro. Untuk mengatasi permasalahan ketersediaan spektrum frekuensi, solusi yang dipilih adalah perpindahan ke spektrum gelombang milimeter (mm-wave). Oleh karena itu, salah satu fokus utama penelitian dibidang komunikasi seluler saat ini adalah perencanaan dan implementasi band frekuensi gelombang milimeter (mmWave) untuk sistem komunikasi nirkabel generasi berikutnya. Tujuannya adalah untuk memenuhi permintaan trafik yang meningkat secara eksponensial di masa depan [2] [3].

Pemodelan saluran radio dibutuhkan untuk desain dan implementasi sistem komunikasi nirkabel. Lingkungan propagasi gelombang radio dapat berupa indoor atau outdoor. Lingkungan indoor mencakup beberapa meter dan dapat

mencakup bangunan kecil atau area kecil seperti pusat perbelanjaan atau stadion sepak bola, dll. Sementara lingkungan outdoor dapat berupa daerah perkotaan, pinggiran kota atau pedesaan yang mencakup beberapa kilometer. Sinyal radio kehilangan kekuatannya (*large scale fading*) saat merambat melalui ruang. Ketika sinyal radio merambat di suatu lingkungan, sinyal radio berinteraksi dengan benda-benda seperti bangunan, dinding, bukit atau tanah di lingkungan tersebut. Interaksi ini menyebabkan refleksi, transmisi, difraksi, dan hamburan terhadap sinyal radio tersebut. Sinyal yang mencapai penerima dapat bertambah secara konstruktif atau destruktif, tergantung pada berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke penerima. Fenomena perubahan kecil pada lokasi penerima yang menyebabkan variasi sinyal yang besar. Kondisi ini disebut dengan *small scale* atau *multipath fading*.

Sebelum desain sistem radio dilaksanakan, kita harus mempertimbangkan seberapa jauh sinyal radio mampu merambat dan bagaimana penerima menangani variasi sinyal lokal akibat pemudaran jalur ganda. Prediksi jangkauan radio menentukan jumlah stasiun pemancar, output daya dan karakteristik antena pemancar yang diperlukan untuk sambungan. Sedangkan *fading skala kecil* menentukan karakteristik penerima dan kemampuannya untuk mengatasi sinyal *multipath*. Parameter ini dapat diestimasi dengan menggunakan pengukuran di lapangan yang mahal dan memakan waktu. Alternatifnya adalah dengan menggunakan model kanal radio untuk memprediksi parameter kanal radio.

Rentang frekuensi gelombang milimeter (*mmWave*) menawarkan spektrum yang luas dan jarang digunakan mulai dari 3 GHz hingga 300 GHz, termasuk 28-30 GHz, 38-40 GHz, spektrum bebas lisensi di 57-71 GHz, serta 12,9 GHz yang terletak di E-band pada 71-76 GHz, 81-86 GHz, dan 92-95 GHz. Rentang frekuensi ini dapat diakses oleh sistem 5G dan memberikan solusi potensial untuk mencapai peningkatan kapasitas 1000 kali lipat dibandingkan dengan jaringan LTE-A yang ada saat ini [4-7]. Untuk mempelajari karakterisasi kanal pada *mm-wave band*, sejumlah penelitian telah dilakukan dengan melakukan berbagai analisis simulasi. Dalam salah satu penelitian tersebut, penulis membahas tentang evaluasi *path loss* untuk menilai propagasi *mm-wave* pada sistem akses seluler menggunakan metode *ray tracing* di daerah perkotaan yang sibuk pada 60 GHz [8]. Penelitian lainnya mengevaluasi dampak polarisasi terhadap kinerja link *mm-wave* didalam ruangan indoor, yang fokus pada dampak polarisasi terhadap penyebaran sudut dan peringkat kanal [9]. Selanjutnya, karakteristik saluran propagasi diteliti dengan menggunakan antena omnidirectional dan pelacakan sinar pada 26 GHz, 28 GHz, dan 60 GHz pada skenario indoor-ke-indoor dan indoor-ke-outdoor untuk mengukur daya yang diterima, arah kedatangan, dan penyebaran tunda [10]. Pengaruh alokasi frekuensi pada kinerja *mm-wave* dipelajari dalam [11], dimana penggunaan ulang frekuensi fraksional digunakan untuk meningkatkan kapasitas jaringan di lingkungan luar ruangan.

Permasalahan dasar dalam sistem komunikasi seluler yang bekerja pada band *mmWave* adalah feasibilitasnya di lingkungan luar ruangan, mengingat rugi-rugi propagasi yang jauh lebih besar dibandingkan dengan sistem seluler generasi awal yang beroperasi di bawah frekuensi 6 GHz [12]. Dalam [13], karakteristik saluran dari spektrum *mmWave*, berdasarkan pengukuran lapangan, dianalisis pada 28 GHz dan 38 GHz di lingkungan luar ruangan. Dalam literatur

lainnya, [14] melakukan pengukuran tambahan di lingkungan perkotaan dan mengusulkan model saluran *mmWave*. Sebagai pendekatan alternatif untuk menganalisis karakteristik kanal *mmWave* dan untuk mengisi kesenjangan terististik deskripsi statistik yang disebabkan oleh terbatasnya jumlah sampel dalam pengukuran, teknik *ray-tracing* dapat dipertimbangkan karena memberikan kesesuaian yang baik dengan hasil pengukuran yang sebenarnya [15].

#### A. Karakteristik Propagasi Gelombang Radio

Transmisi sinyal dalam sistem komunikasi nirkabel dipengaruhi oleh propagasi gelombang radio. Kualitas dan keandalan sinyal yang ditransmisikan ditentukan oleh karakteristik propagasi gelombang radio. Di daerah perkotaan, keberadaan bangunan, pohon, dan hambatan lainnya secara signifikan mempengaruhi karakteristik propagasi gelombang radio. Hambatan ini menyebabkan berbagai efek propagasi, seperti redaman sinyal, refleksi, difraksi, dan hamburan. Akibatnya, komunikasi yang andal di lingkungan perkotaan menimbulkan tantangan. Oleh karena itu penting untuk memahami perilaku propagasi gelombang radio di daerah perkotaan untuk mengoptimalkan desain jaringan nirkabel dan meningkatkan kinerja komunikasi.

Dengan kehadiran bangunan, pohon, dan struktur lainnya menciptakan lingkungan propagasi yang sangat dinamis dan kompleks di daerah perkotaan. Secara khusus, frekuensi yang lebih tinggi mengalami redaman sinyal yang signifikan karena efek penyerapan, refleksi, dan hamburan objek di lingkungan, yang menyebabkan penurunan kekuatan sinyal yang diterima. Konsentrasi padat bangunan di daerah perkotaan memperkuat dampak redaman sinyal. Refleksi adalah efek propagasi signifikan lainnya di daerah perkotaan, di mana gelombang radio bertemu dengan bangunan atau struktur lain dan dipantulkan dan diarahkan ke berbagai arah, menyebabkan banyak jalur antara pemancar dan penerima, yang dikenal sebagai propagasi lintas jamak. Propagasi lintas jamak menyebabkan interferensi dan memudar, yang dapat memperburuk kualitas sinyal yang diterima. Interaksi sinyal langsung dan pantulan dapat mengakibatkan fluktuasi kekuatan sinyal dan mempengaruhi keandalan komunikasi nirkabel.

Difraksi adalah efek propagasi lain yang terjadi ketika gelombang radio menemui hambatan seperti tepi bangunan, yang mengarah pada pembentukan gelombang sekunder yang dapat mengganggu jalur langsung. Efek ini dapat sangat memengaruhi propagasi sinyal di daerah perkotaan, terutama ketika komunikasi garis pandang terhambat.

Untuk mendesain sistem jaringan komunikasi radio dengan benar, penting untuk memahami karakteristik propagasi radio. Model prediksi propagasi klasik tidak dirancang untuk mempertimbangkan gambaran informasi tentang kondisi kanal, yaitu lingkungan. Sedangkan model *ray tracing* menyertakan informasi lingkungan. Teknik ini mampu memberikan karakteristik propagasi radio pada lingkungan multidimensi [16]. Selain itu, saat gelombang radio merambat, maka terjadi mekanisme propagasi yang berbeda, misalnya difraksi dari tepi yang tajam (seperti sudut bangunan dan atap), pantulan dari permukaan yang halus (misalnya tanah, dinding), transmisi ke media yang berbeda (misalnya dinding), dan hamburan dari permukaan kasar atau benda-benda kecil. Oleh karena itu, perambatan *multipath* adalah fenomena yang kompleks; Namun, model *ray tracing* bisa digunakan untuk

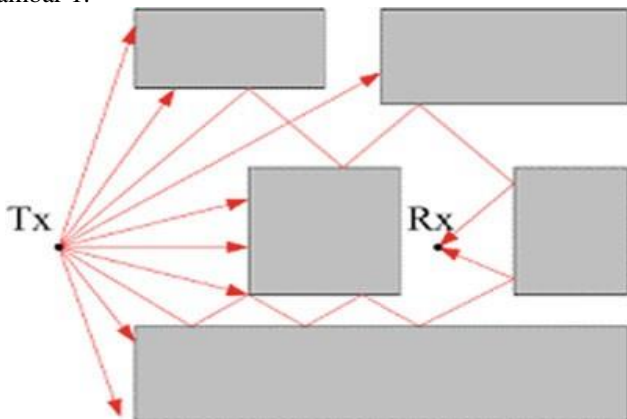
menemukan kemungkinan jalur antara pemancar dan penerima.

**B. Metode Ray Tracing**

Teknik pemodelan Ray Tracing menggunakan geometri tiga dimensi untuk menentukan jalur propagasi rentang frekuensi mulai dari 100 MHz hingga 100 GHz. Model Ray Tracing terdiri dari dua metode, yaitu metode shooting and Bouncing Rays (SBR) dan metode image. Penentuan sinar dari titik awal ke titik lapangan adalah aspek penting dari algoritma Ray Tracing.

Untuk penelitian ini, metode SBR dipilih karena waktu eksekusi biasanya lebih cepat dibandingkan dengan metode image. Ray Tracing mampu menghitung beberapa jalur, sementara model lain hanya mempertimbangkan satu jalur. Selain itu, pendekatan ini mendukung skenario indoor dan outdoor dalam tiga dimensi.

Analisis elektromagnetik digunakan untuk mengatur atenuasi dan pergeseran fase setiap sinar, yang mencakup melacak berbagai polarisasi sinyal di sepanjang jalur propagasi. Rugi ruang bebas dan kerugian refleksi dianggap sebagai rugi-rugi lintasan. Pendekatan SBR memungkinkan penentuan perkiraan jalur propagasi hingga sepuluh rute refleksi. Prinsip kerja dari ray tracing diilustrasikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Metode SBR yang digunakan dalam evaluasi jalur propagasi antara sumber transmisi dan ujung penerima.

Dalam teknik SBR, sejumlah besar sinar dipancarkan dari Pemancar Tx ke banyak arah dan kemudian dilacak sampai kriteria penghentian terpenuhi. Kompleksitas interaksi meningkat secara linier dengan jumlah interaksi.

Lingkungan luar ruangan untuk propagasi radio 5G dicirikan oleh banyak objek yang tersebar seperti bangunan dengan eksterior kaca reflektor yang sempurna, struktur beton, pohon, kendaraan, dan pejalan kaki. Sinyal sinar yang berinteraksi dengan penghamburan ini mencapai penerima Rx dengan variasi penguatan lintasan dan rugi lintasan. Dalam lingkungan komunikasi 5G yang padat, komunikasi line-of-sight tidak selalu memungkinkan, baik di dalam maupun di luar ruangan, karena lingkungan seluler dapat bersifat stasioner atau bergerak.

Kanal radio untuk 5G ditentukan oleh beberapa karakteristik berikut :path loss dan daya terima.

**C. Pengaruh Material Permukaan**

Dalam sistem komunikasi nirkabel material permukaan dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap rugi

propagasi, yang mengacu pada pengurangan kekuatan sinyal saat merambat melalui medium. Material permukaan dapat meningkatkan atau menghambat propagasi sinyal nirkabel, sehingga mempengaruhi jangkauan, kualitas sinyal, dan kinerja sistem komunikasi secara keseluruhan.

Material permukaan dapat dikategorikan menjadi dua jenis: reflektif dan absorptif. Bahan reflektif, seperti logam, kaca, dan beton yang halus, memiliki kemampuan untuk memantulkan sebagian besar sinyal yang datang. Ketika sinyal bertemu dengan permukaan reflektif, sinyal akan memantul, sehingga menghasilkan kehilangan energi yang minimal dan memperluas area cakupan. Fenomena ini biasanya diamati di area terbuka dengan struktur logam atau fasad kaca, di mana sinyal yang dipantulkan dapat berkontribusi pada beberapa jalur dan meningkatkan kekuatan sinyal.

Di sisi lain, bahan penyerap, seperti vegetasi, kayu, dan beberapa jenis beton, menyerap sebagian sinyal yang datang. Bahan-bahan ini dapat menyebabkan pelemahan yang signifikan dan mengakibatkan kehilangan propagasi yang lebih tinggi. Vegetasi, khususnya, dapat menyebabkan kehilangan yang cukup besar karena kandungan air yang tinggi dan dedaunan yang lebat, yang menyerap dan menyebarkan sinyal. Akibatnya, area dengan vegetasi yang lebat atau hutan yang lebat dapat mengalami penurunan kekuatan sinyal dan cakupan yang terbatas.

Komposisi, tekstur, dan ketebalan material permukaan juga mempengaruhi kehilangan propagasi. Misalnya, permukaan yang kasar, seperti dinding bata atau beton kasar, dapat menyebarkan sinyal ke berbagai arah, yang menyebabkan hilangnya kekuatan sinyal. Sebaliknya, permukaan yang halus, seperti jendela kaca atau logam yang dipoles, cenderung menghasilkan lebih sedikit hamburan dan menawarkan pantulan sinyal yang lebih baik. Selain itu, ketebalan bahan permukaan mempengaruhi penetrasi sinyal, dengan bahan yang lebih tebal umumnya menyebabkan kerugian yang lebih tinggi.

Frekuensi sinyal yang ditransmisikan adalah faktor penting lainnya dalam efek bahan permukaan pada kehilangan propagasi. Bahan yang berbeda menunjukkan sifat penyerapan dan pantulan yang berbeda pada frekuensi yang berbeda. Sebagai contoh, bahan tertentu mungkin sangat menyerap pada frekuensi yang lebih tinggi, yang mengakibatkan pelemahan sinyal yang signifikan. Ketika sinar (ray) berinteraksi dengan suatu permukaan, material permukaan menyebabkan rugi pantulan.

Model ray tracing menggabungkan material dari bangunan dan permukaan ke dalam perhitungan rugi propagasi dengan menggunakan permitivitas relatif kompleks permukaan,  $\epsilon_r$ . Hal tersebut sesuai dengan rekomendasi ITU-R P.2040-1 dan ITU-R P.527 yang mencakup metode, persamaan, dan nilai yang digunakan untuk menghitung  $\epsilon_r$  untuk berbagai frekuensi. Persamaan untuk  $\epsilon_r$  sebagai berikut

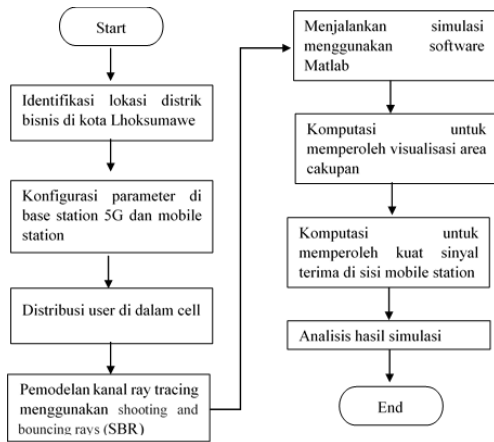
$$\epsilon_r = \epsilon_r' + j\epsilon_r''$$

$$\epsilon_r'' = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0 f}$$
(1)

dimana  $\epsilon_r'$  adalah permitivitas relatif yang sebenarnya,  $\sigma$  adalah konduktivitas dalam S/m,  $\epsilon_0$  adalah permitivitas ruang bebas, dan f adalah frekuensi dalam Hz.

**II. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian kuantitatif untuk mengevaluasi keefektifan metode ray tracing dalam memprediksi propagasi gelombang radio di lingkungan perkotaan. Selanjutnya, penulis juga menganalisis dampak morfologi perkotaan terhadap propagasi gelombang radio dan menilai keakuratan metode ray tracing dalam memprediksi



cakupan dan interferensi. Objek area studi yang dipilih yaitu distrik bisnis di kota Lhokseumawe, Aceh, Indonesia.

Bagan penelitian berisi proses pengerjaan penelitian dan luaran yang akan dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

A. Parameter Simulasi

Langkah pertama mengumpulkan data geografis dan spesifikasi teknis untuk simulasi jaringan komunikasi seluler 5G. Data mencakup kondisi lingkungan di sekitar distrik bisnis Kota Lhokseumawe, diantaranya informasi tentang struktur bangunan, kontur medan, dan faktor lain yang relevan. Data dikumpulkan dengan dengan mengunduh peta digital dari halaman <https://www.openstreetmap.org/>. Spesifikasi teknis yang dipakai seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Frekuensi	28 GHz
Antena BTS	Omnidirectional
Tinggi BTS	10 m
Daya pancar BTS	5W-25W
Daya pacar MS	20 dBm
Antena MS	Dipole 1/2 lambda
Jumlah refleksi	4
Jumlah lintasan	4

Metode Ray tracing

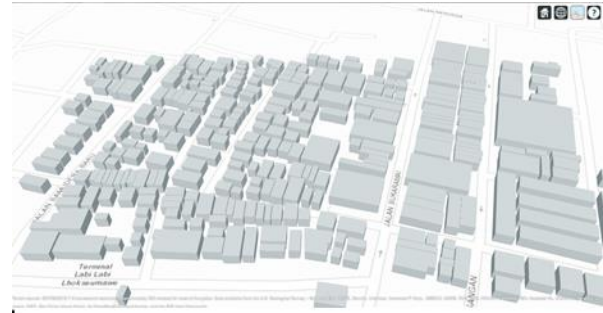
SBR

Model propagasi

Full 3 dimensi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk analisa efektivitas ray tracing 3D, lokasi simulasi dipilih jalan sukaramai yang merupakan lingkungan perkotaan.



Gambar 3. Peta Digital Lokasi Simulasi

Karena di lokasi ini ada bangunan beton dengan jarak sangat dekat satu dengan yang lain, maka potensi gangguan transmisi langsung antara pemancar dan penerima sangat besar. Tata letak area simulasi seperti pada Gambar 3.

Untuk menganalisa jangkauan, kami menempatkan pemancar seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Digital Lokasi Pemancar

Karakteristik Pemancar sebagai berikut. Ketinggian antenna pemancar 10 m, elevasi permukaan 5 m, posisi garis lintang di 5,176347, posisi garis bujur di 97,148784. Selanjutnya lokasi penerima seperti pada Gambar 5.



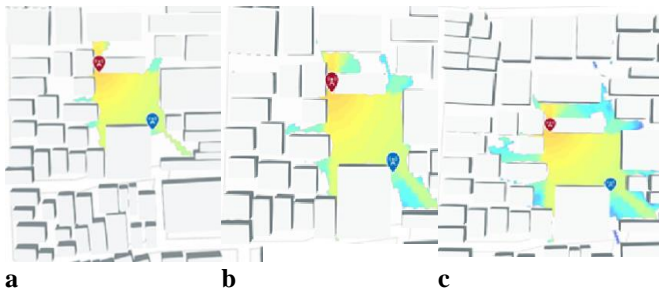
Gambar 5. Peta Digital Lokasi Penerima

Karakteristik Penerima sebagai berikut. Ketinggian antenna pemancar 1 m, elevasi permukaan 5 m, posisi garis lintang di 5.175952, posisi garis bujur di 97.148955. Pengaturan yang disebutkan di atas disimulasikan dalam lingkungan 5G dan lingkungan ray tracing 3D. Analisis lengkap simulasi ini diuraikan dalam bagian selanjutnya.



**A. Analisis Cakupan Menggunakan Ray Tracing**

Hasil simulasi cakupan menggunakan Ray Tracing ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Daerah cakupan menggunakan ray tracing dengan a refleksi tunggal, b refleksi ganda, dan c empat refleksi di kota lhokseumawe

Gambar 6 adalah hasil simulasi ray tracing yang menghasilkan peta area cakupan sinyal. Peta cakupan menunjukkan bahwa kekuatan sinyal sangat bervariasi di sekitar lokasi simulasi karena adanya gedung-gedung tinggi, berbagai jenis material permukaan, dan medan yang berbeda-beda.

**B. Analisis Karakteristik Kanal Dengan Refleksi Tunggal**

Analisis karakteristik kanal menggunakan ray tracing di sekitar kota Lhokseumawe memberikan informasi tentang perilaku propagasi gelombang radio di lingkungan perkotaan yang kompleks. Dengan menggunakan metode ray tracing, yang mensimulasikan propagasi gelombang radio saat berinteraksi dengan berbagai permukaan dan objek, kami memperoleh informasi daya terima di sisi penerima. Dengan demikian, kami bisa menghitung karakteristik kanal lainnya yaitu nilai path loss.

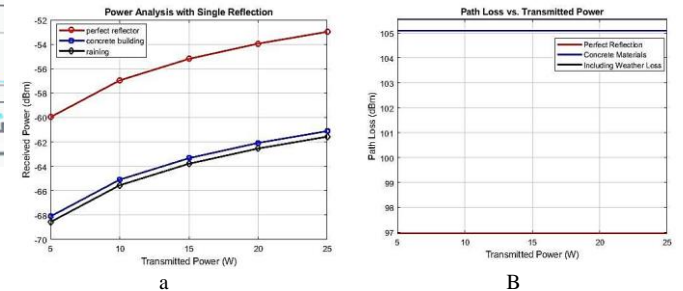
Berikut ini adalah hasil simulasi yaitu daya terima. Daya terima di analisis saat daya pancar yang diberikan antara 5W sampai dengan 25W dengan rentang setiap 5W. Dalam penelitian ini, ada tiga skenario yang diterapkan: pemantulan sempurna (kaca), bangunan dengan dinding beton, dan kondisi cuaca saat hujan. Tujuannya adalah untuk memahami bagaimana material bangunan dan faktor lingkungan yang berbeda berdampak pada karakteristik propagasi. Jumlah refleksi dalam simulasi terdiri dari refleksi tunggal, refleksi ganda, dan empat refleksi. Daya terima dengan refleksi tunggal ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Daya Terima Dengan Refleksi Tunggal

Daya pancar (W)	Material / Lingkungan		
	Refleksi Sempurna	Beton	Cuaca
5	-59,9706	68,1065	68,5630
10	-56,9603	65,0962	65,5527
15	-55,1994	63,3352	63,7918
20	-53,9500	62,0859	62,5424
25	-59,9809	61,1168	61,5733

Tabel 2 menunjukkan untuk material bangunan yang berbeda, permukaan pantulan yang sempurna secara konsisten menunjukkan daya yang diterima paling tinggi, sedangkan

permukaan beton secara konsisten menunjukkan nilai daya yang diterima lebih rendah. Selain itu, kondisi cuaca secara signifikan mempengaruhi daya yang diterima, yang menyebabkan pelemahan sinyal lebih lanjut dalam semua skenario. Representasi grafik daya terima dan path loss ditampilkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh refleksi tunggal terhadap (a) daya terima dan (b) path loss

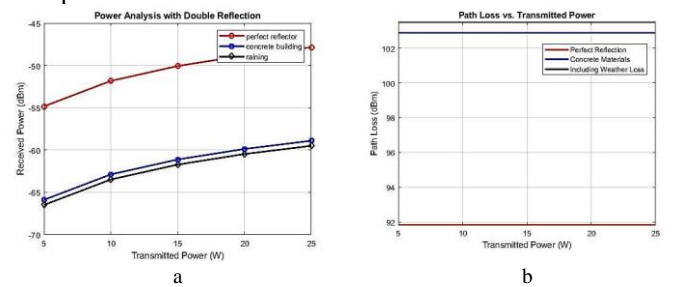
**C. Analisis Karakteristik Kanal Dengan Refleksi Ganda**

Daya terima dengan refleksi ganda ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Daya Terima Dengan Refleksi Ganda

Daya pancar (W)	Material / Lingkungan		
	Refleksi Sempurna	Beto n	Cuac a
5	-54,8420	-65,8921	-66,4938
10	-51,8317	-62,8818	-63,4835
15	-50,0708	-61,1209	-61,7226
20	-48,8214	-59,8715	-60,4732
25	-47,8523	-58,9024	-59,5041

Untuk skenario refleksi ganda daya yang diterima di berbagai tingkat daya pancar dan kondisi lingkungan meningkat. Representasi grafik daya terima dan path loss ditampilkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh refleksi ganda terhadap (a) daya terima dan (b) path loss

**D. Analisis Karakteristik Kanal Dengan Empat Refleksi**

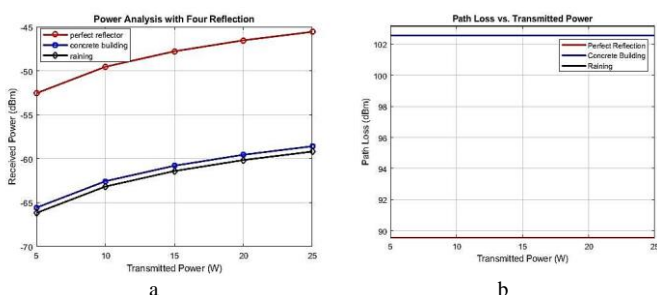
Daya terima dengan empat refleksi ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Daya Terima Dengan Empat Refleksi

Daya pancar (W)	Material / Lingkungan
-----------------	-----------------------

	Refleksi Sempurna	Beton	Cuaca
5	-52,5561	-65,5781	-66,1813
10	-49,5458	-62,5678	-63,1710
15	-47,7848	-60,8069	-61,4101
20	-46,5355	-59,5575	-60,1607
25	-45,5664	-58,5884	-59,1916

Serupa dengan skenario refleksi ganda, skenario empat refleksi menunjukkan daya terima yang lebih baik dibandingkan dengan skenario refleksi tunggal. Hasil ini menunjukkan bahwa metode ray tracing mempunyai peran dominan saat perencanaan propagasi sinyal di daerah perkotaan yang padat. Representasi grafik daya terima dan path loss ditampilkan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh empat refleksi a terhadap (a) daya terima dan (b) path loss

#### IV. KESIMPULAN

Keberhasilan penggelaran dan pengoperasian sistem komunikasi seluler 5G dipengaruhi oleh perencanaan propagasi gelombang radio yang efektif. Dengan mengevaluasi secara cermat perilaku gelombang radio di lingkungan perkotaan yang kompleks menggunakan model simulasi seperti metode ray tracing, perencana jaringan dapat memastikan bahwa jaringan 5G digunakan dan dioperasikan secara efisien dan andal. Seiring dengan penyebaran jaringan 5G yang terus meluas di seluruh dunia, pentingnya perencanaan propagasi gelombang radio yang efektif akan semakin meningkat.

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan maka peneliti mempunyai kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis komprehensif terhadap daya yang diterima karena pengaruh refleksi menunjukkan daya terima meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah refleksi. Dengan daya pancar 5W, daya terima karena refleksi ganda bertambah 5,1286 dB dibandingkan dengan daya terima karena refleksi tunggal. Demikian juga, daya terima karena empat refleksi meningkat 7,4145 dB dibandingkan dengan daya terima karena refleksi tunggal.
2. Untuk area cakupan diperoleh bahwa ketika lebih banyak refleksi yang terjadi, maka area cakupan menjadi lebih luas.
3. Hasil perhitungan path loss untuk setiap refleksi sebagai berikut. Untuk refleksi tunggal, path loss karena material beton 8,1359 dB lebih besar dibandingkan dengan material pantulan sempurna. Untuk refleksi ganda, path loss karena material beton 11,0501 dB lebih besar

dibandingkan dengan material pantulan sempurna. Untuk empat refleksi, path loss karena material beton 13,022 dB lebih besar dibandingkan dengan material pantulan sempurna.

#### REFERENSI

- [1] C. S.Inc., "Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2017 – 2022," Cisco Systems Inc., White Paper, 2019. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
- [2] Z. Pi and F. Khan, "An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 6, pp. 101-107, Jun. 2011.
- [3] F. Boccardi, R. W. Heath Jr., A. Lozano, T. L. Marzetta, and P. Popovski, "Five Disruptive Technology Directions for 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 74-80, Feb. 2014.
- [4] N. Al-falahy and O. Y. K. Alani, "Millimetre Wave Frequency Band as a Candidate Spectrum for 5G Network Architecture: A Survey," *Elsevier Phys. Commun.*, vol. 32, pp. 120-244, 2019.
- [5] W. Roh, et al., "Millimeter-Wave Beamforming as an Enabling Technology for 5G Cellular Communications: Theoretical Feasibility and Prototype Results," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 106–113, 2014.
- [6] F. Boccardi, R. W. H. Jr., A. Lozano, T. L. Marzetta, and P. Popovski, "Five Disruptive Technology Directions for 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 74–80, 2014.
- [7] S. Z. N. Zool Ambia, et al., "Evolution of H-shaped dielectric resonator antenna for 5G applications," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science (IJEECS)*, vol. 13, no. 2, pp. 562-568, 2019.
- [8] W. Keusgen, R. J. Weiler, M. Peter, M. Wisotzki, and B. Goktepe, "Propagation measurements and simulations for millimeter-wave mobile access in a busy urban environment," in *39th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz)*, pp. 1–3, 2014.
- [9] T. A. Thomas and F. W. Vook, "Investigation into the Effects of Polarization in the Indoor mmWave Environment," in *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 2989–2994, 2015.
- [10] W. Manan, H. Obeidat, A. Al-Abdullah, R. Abd-Alhameed, and F. Hu, "Indoor To Indoor And Indoor To Outdoor Millimeter Wave Propagation Channel Simulations At 26 Ghz, 28 Ghz And 60 Ghz For 5G Mobile Networks," in *11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, pp. 1–11, 2018.
- [11] N. Al-falahy and O. Alani, "Network capacity optimisation in millimetre wave band using fractional frequency reuse," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 10924-10932. doi 10.1109/ACCESS.2017.2762338, 2018.
- [12] W. Roh, J.-Y. Seol, J. Park, B. Lee, J. Lee, Y. Kim, J. Cho, K. Cheun, and F. Aryanfar, "Millimeter-Wave Beamforming as an Enabling Technology for 5G Cellular Communications: Theoretical Feasibility and Prototype Results," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 106–113, February 2014.
- [13] T. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, G. Wong, J. Schulz, M. Samimi, and F. Gutierrez, "Millimeter wave mobile communications for 5g cellular: It will work!" *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, 2013.
- [14] S. Hur, Y.-J. Cho, T. Kim, J. Park, A. Molisch, K. Haneda, and M. Peter, "mmWave Spatial Channel Model in Urban Cellular Environments at 28 GHz," in *European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, April 2015.
- [15] G. R. MacCartney, M. K. Samimi, and T. S. Rappaport, "Omnidirectional Path Loss Models in New York City at 28 GHz and 73 GHz," in *Prof. of IEEE PIMRC*, 2014.
- [16] F. Fuschini, H. El-Sallabi, V. Degli-Esposti, L. Vuokko, D. Guiducci and P. Vainikainen, "Analysis of Multipath Propagation in Urban Environment Through Multidimensional Measurements and Advanced Ray Tracing Simulation," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 3, pp. 848-857, March 2015.