

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Kajian Pustaka dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini :

**Tabel 2. 1 Kajian Pustaka**

No	Judul	Nama Penulis	Parameter Luaran	Hasil	Tahun
1	Propagation <i>Pathloss</i> Models for 5G Urban <i>Micro and Macro-Cellular</i>	S. Sun, G. R. Maccartney, and T. S. Rappaport	Perhitungan <i>pathloss</i> Model Prediksi ABG dan CI	Sistem menerapkan skenario mikro dan makro seluler di wilayah perkotaan. Perbandingan dibuat menggunakan data yang diperoleh dari 20 hasil pengukuran propagasi atau studi <i>ray-tracing</i> pada frekuensi 2 GHz hingga 73,5 GHz dengan jarak mulai dari 5 m hingga 1429 m. Hasilnya menunjukkan bahwa model CI memiliki satu nilai parameter yang sesuai pada lingkungan <i>line of-sight</i> (LOS) maupun <i>non-line-of-sight</i> (NLOS). Model CI	2016

				lebih sederhana dan lebih stabil pada variasi frekuensi dan jarak[5]	
2	Analisis Perencanaan Pengembangan Ekspansi Jaringan LTE Pada Frekuensi <i>High Band</i> (1800MHz) Dan <i>Low Band</i> (900MHz)	A. F. Mappareppa, U.K.Usman dan N.M. Andriansyah	Perancangan pengembangan jaringan pada frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz dengan menambah site	Hasil perancangan ini, terdapat 3,122 <i>site</i> yang di ekspansi sesuai kebutuhan <i>traffic</i> . 353 <i>site</i> dari 3,122 telah di ekspansi namun tidak sepenuhnya dapat memenuhi kebutuhan <i>traffic</i> sehingga dibutuhkan 362 <i>new site</i> . Untuk jenis ekspansi LTE 900MHz sebanyak 2,091 <i>site</i> , LTE 1800MHz sebanyak 948 <i>site</i> , dan LTE 2100MHz sebanyak 1763 <i>site</i> [6]	2021

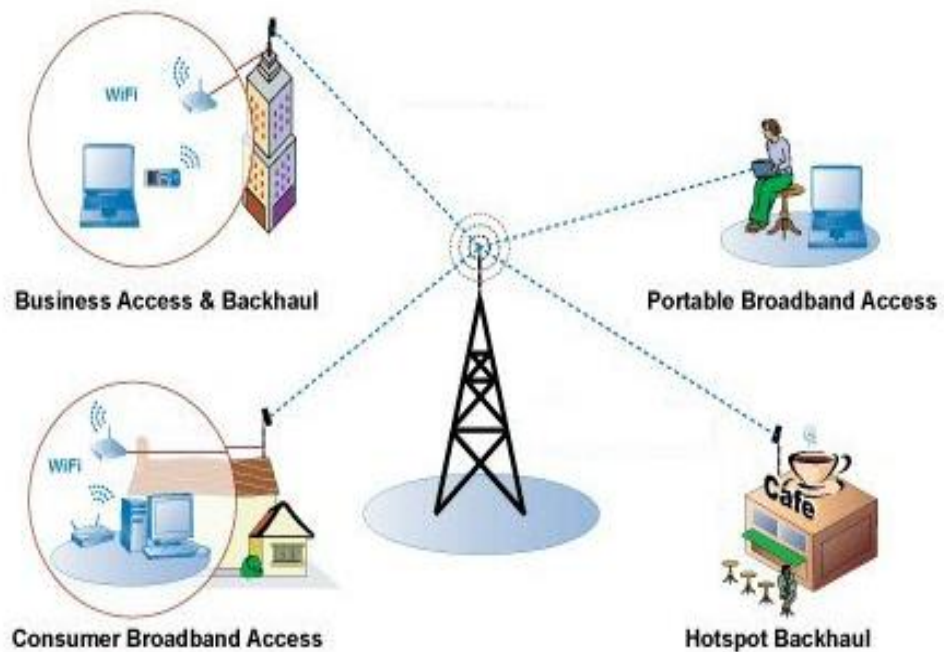
3	<p>Analisa Pemilihan Frekuensi 1805 MHz Dan 2330 MHz Lte <i>Advanced</i> Di Kota Bandung</p>	<p>L.R. Pratama, U.K. Usman dan H. Vidyaningtyas</p>	<p>Membandingkan nilai SINR dan RSRP pada frkuensi 1805 MHz dan 2330 MHz</p>	<p>perencanaan berdasarkan <i>coverage planning</i> didapatkan hasil pada frekuensi 1805 MHz untuk nilai <i>Throughput uplink</i> dan <i>downlink</i> sebesar 6.327 Kbps dan 18.120 Kbps, SINR uplink dan downlink sebesar 16,53 dB dan 11,51 dB dan RSRP sebesar sedangkan untuk -72,56 dBm, sedangkan untuk frekuensi 2330 MHz di dapatkan nilai <i>Throughput uplink</i> dan <i>downlink</i> sebesar 19.020 Kbps dan 54.365 Kbps, SINR uplink dan downlink sebesar 17,77 dB dan 20,37 dB dan RSRP sebesar -47,18 dBm[7].</p>	2020
4	<p>Pengukuran Kinerja Kuat Sinyal 4g Pada Kawasan Penghalang</p>	<p>U. Cahyati, M.S.Yadnya dan Sudi M.Al Sasongko</p>	<p>Menggunakan perhitungan FSL dan <i>PATHLOSS</i> Okumura</p>	<p>Perhitungan RSRP menggunakan model <i>Free Space Loss</i> didapatkan nilai -98,56 dBm.</p>	2018

<p>Tinggi Di Daerah <i>Urban</i> (Study Kasus : Hotel Golden Tulip Mataram)</p>		<p>Hatta untuk mengukur kualitas pada jam sibuk dan non sibuk pada 2 <i>provider</i>.</p>	<p>Sedangkan perhitungan RSRP menggunakan model Okumura-Hatta didapatkan nilai sebesar -103,972 dBm. Untuk pengukuran pada jam sibuk <i>provider</i> Telkomsel didapat nilai RSRP -95,45 dBm dan pada <i>provider</i> XL Axiata didapatkan nilai RSRP -97,71 dBm. Untuk pengukuran jam tidak sibuk didapatkan nilai RSRP pada <i>provider</i> Telkomsel -86,29 dBm dan pada <i>provider</i> XL Axiata dengan nilai RSRP - 92,31 [8]</p>	
---	--	---	---	--

## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 KOMUNIKASI NIRKABEL

Komunikasi nirkabel merupakan suatu bentuk transfer informasi antara dua titik atau lebih menggunakan kanal radio sebagai media penyalur sinyal informasi. Selama melewati kanal radio, sinyal melalui berbagai macam halangan. Hal ini menyebabkan terjadinya pelemahan sinyal pada penerima. Kanal *wireless* merupakan faktor pokok yang membatasi kinerja sistem komunikasi nirkabel. Jarak antara pemancar dan penerima dapat bervariasi dari LOS (*line of sight*) hingga tertutup oleh penghalang (NLOS). Secara umum terdapat 6 macam tipe sistem komunikasi nirkabel, yakni *Satellite fixed links*, *Terrestrial fixed links*, *Megacell*, *Macrocell*, *Microcell*, dan *Picocells* [9].



Gambar 2.1 Komunikasi Nirkabel [9]

## 2.2.2 EVOLUSI TEKNOLOGI TELEKOMUNIKASI

Berawal dari teknologi 1G pada tahun 1981 yang kini telah berkembang mencapai generasi *industry* teknologi kelima (5G). tentunya setiap generasi selalu ada perubahan.

### a. Generasi Kesatu (1G)

Tahun 1980, generasi pertama (1G) pertama kali ditemukan. Pada generasi ini seluruh sistem masih berbasis analog berupa analog radio. Sistem tersebut hanya bisa mengakses sistem berbasis suara dengan menggunakan protocol analog, teknologi *circuit switched*. Generasi pertama digunakan pada ponsel yang hanya bisa melakukan panggilan telepon saja. Kecepatan 1G dalam mentransmisikan data hanya 2 Kbps saja. Masih ada kekurangan pada generasi pertama selain kecepatan yang rendah yaitu kapasitas yang sangat rendah, keamanan yang kurang serta adanya masalah pada proses *handoff*. Ada beberapa teknologi yang dikelompokkan ke dalam generasi pertama (1G), yaitu :

1. *Analog Mobile Phone System* (AMPS)
2. *Total Access Communication System* (TACS)
3. *Nordic Mobile Telephone* (NMT)

Jangkauan dari jaringan 1G ini masih sangat sempit yang belum bisa dipergunakan untuk jangkauan yang lebih luas lagi seperti saat ini.

### b. Generasi Kedua (2G)

Masa generasi kedua dikenal dengan masa peralihan dari analog ke digital. Pada masa itu, jaringan ini menggantikan 1G sekaligus digunakan sebagai standar penggunaan. *Time Divison Multiple Access* (TDMA) dan *Code Division Multiple Access* (CDMA) merupakan teknologi *multiplexing* berbasis waktu dan kode yang digunakan masa generasi kedua ini.

Kecepatan yang dimiliki yakni rata – rata 9 Kbps hingga 14 Kbps. Pada masa ini, jaringan 2G terus dikembangkan. Pada tahun 1990, Mulai dikembangkan teknologi 2G menjadi 2,5G hingga 2,75G. jaringan 2,5G ini dikenal dengan GPRS. Kecepatannya pun lebih cepat dari 2G yakni menjadi 115 Kbps. Selain

itu, jaringan 2,5G ini sudah bisa mampu mengakses internet.

Kemudian pada teknologi 2,75G, dikenalkan pada teknologi EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). Teknologi EDGE memiliki kecepatan akses yang lebih cepat dari jaringan teknologi sebelumnya, yaitu hingga 384 Kbps. Sehingga pengguna dapat menggunakan dan menikmati akses yang lebih cepat. Selain itu, EDGE juga sudah mampu digunakan untuk mengakses dalam pengiriman MMS, e-mail dan lainnya.

c. Generasi Ketiga (3G)

Tidak berhenti sampai pada generasi kedua, pada awal tahun 2000-an, teknologi terus bergerak untuk mengembangkan generasi – generasi selanjutnya. Tentunya untuk terus meningkatkan kualitas jaringan yang lebih baik. Seiring dengan dibutuhkannya kecepatan serta akses internet pada saat ini, teknologi harus dikembangkan lebih baik lagi. Teknologi 3G memiliki kecepatan dan kualitas yang lebih baik. Saat ini, teknologi 3G memiliki kecepatan transmisi dari 144 Kbps hingga 2 Mbps. Ada beberapa teknologi yang dikelompokkan ke dalam generasi ketiga (3G), yaitu :

1. IMT Multi-Carrier/CDMA2000
2. WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)
3. TD SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access)

Dengan kecepatan yang dimiliki, jaringan 3G sudah bisa mengakses serta mendukung fitur video langsung hingga data panggilan video. Tak hanya itu, teknologi 3G dapat mengakses fitur music, games dan lainnya. Jika dibandingkan dengan generasi sebelumnya, tentunya generasi ketiga memiliki kelebihan, diantaranya kualitas suara yang jauh lebih bagus, tentunya keamanan terjamin, jangkauan sudah lebih luas dan yang pastinya kecepatan transmisi mencapai hingga 2 Mbps.

d. Generasi Keempat (4G)

Teknologi jaringan terus – menerus berkembang dengan sangat cepat. Lahirlah tercipta generasi keempat ini yang dikenal dengan sebutan 4G. Generasi keempat biasa disebut juga LTE. Pada zamannya, 4G menjadi standar jaringan yang banyak dipakai untuk berbagai keperluan. Generasi keempat melahirkan

berbagai fitur layaran baru yang tentunya lebih canggih. Salah satu kelebihan pada teknologi 4G memiliki kecepatan berkali lipat dibandingkan dengan generasi sebelumnya. Kecepatan yang diberikan dapat mencapai 1 Gbps. Selain itu, 4G bisa digunakan pada berbagai macam perangkat digital.

Saat ini di Indonesia, standar teknologi jaringan yang digunakan masih pada generasi keempat yakni teknologi 4G. Jaringan 4G juga memiliki kelebihan serta kualitas yang baik untuk memenuhi kebutuhan. Teknologi tersebut sudah memiliki kualitas audio visual yang lebih baik, tingginya tingkat keamanan, dapat menjangkau area yang sangat luas dan segala layanan dapat diakses dengan harga yang terjangkau [10].

e. Generasi Kelima (5G)

5G atau fifth generation merupakan sebuah istilah untuk menyebut generasi kelima dalam standar telekomunikasi seluler. 5G rencananya akan resmi dirilis pada tahun 2020. Dalam teknologi 5G, data akan dikirimkan melalui gelombang radio yang akan terbagi menjadi frekuensi-frekuensi yang berbeda. Setiap frekuensi disiapkan untuk kebutuhan komunikasi yang berbeda, seperti aeronautical dan sinyal navigasi maritime, siaran televisi, dan mobile data. Dari konsep-konsep tersebut, terdapat beberapa tujuan utama dari teknologi 5G, seperti Kecepatan data yang lebih signifikan dari 4G, Memiliki transfer data dari satu perangkat ke perangkat lain dengan kecepatan satu milidetik, Dapat terkoneksi dengan perangkat lainnya seperti alat rumah tangga, dll. (convergence).

Teknologi 5G pertama kali diperkenalkan oleh 3GPP (Third Generation Partnership Project) yang diusung oleh kolaborasi organisasi dan beberapa industri perangkat yang dinaungi oleh METIS (Mobile and wireless communications Enablers for Twenty twenty (2020) Information Society). Beberapa teknologi-teknologi telekomunikasi seluler yang dikembangkan pada 5G, yaitu :

1. Penggunaan frekuensi di atas 5 GHz (mmWave)
2. Penggunaan antena MIMO (Massive Input Massive Output).
3. Penggunaan antena array
4. Heterogeneous Network dan Automatic Offloading (HetNet).



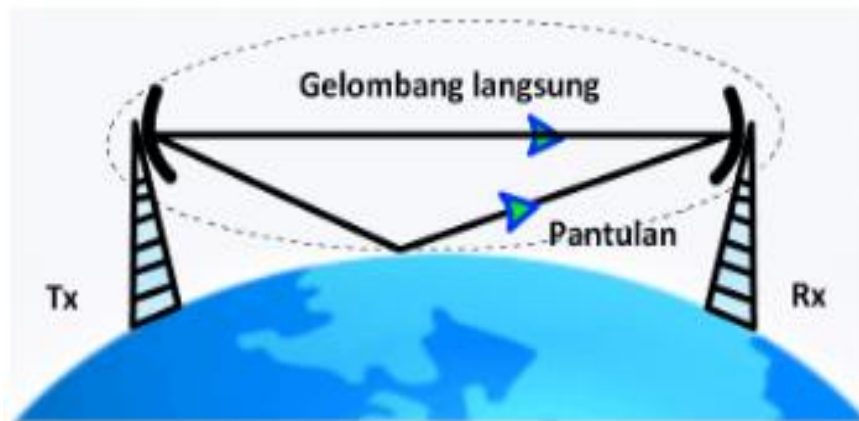
5. Penggunaan beberapa macam sumber daya dalam satu jaringan.
6. Komunikasi tanpa e-Node B (device-to-device communication).
7. Mengganti fungsi BSC sebagai controller dengan fungsi sebagai self coordinating network
8. Peningkatan latency sampai dengan batas 1 ms.
9. Penggunaan caching
10. Peningkatan sistem manajemen interferensi (Interference Management)[11].

### **2.2.3 PROPAGASI GELOMBANG RADIO**

Propagasi gelombang adalah perambatan gelombang pada media perambatan/transmisi. Dalam penerapannya dalam teknologi komunikasi bergerak, propagasi menggunakan udara sebagai media transmisi. Tidak seperti media transmisi wireline, yang sifatnya statis dan mudah diprediksi, media transmisi wireless lebih rumit dan sulit untuk diprediksi. Bahkan kecepatan UE bergerak dapat mempengaruhi seberapa cepat level sinyal berkurang. salah satu tahap yang paling sulit dalam mendesain sistem radio mobile adalah memodelkan kanal radio, yang biasanya dilakukan dengan cara statistik berdasarkan data pengukuran yang ditujukan untuk alokasi spektrum atau sistem komunikasi tertentu. Pemodelan propagasi berfokus untuk memprediksi rata-rata kuat sinyal yang diterima pada jarak tertentu dari transmitter. Propagasi pada komunikasi bergerak dipengaruhi oleh tiga mekanisme dasar propagasi, yaitu Refleksi, Difraksi, dan Hamburan [12].

#### **2.2.3.1 REFLEKSI**

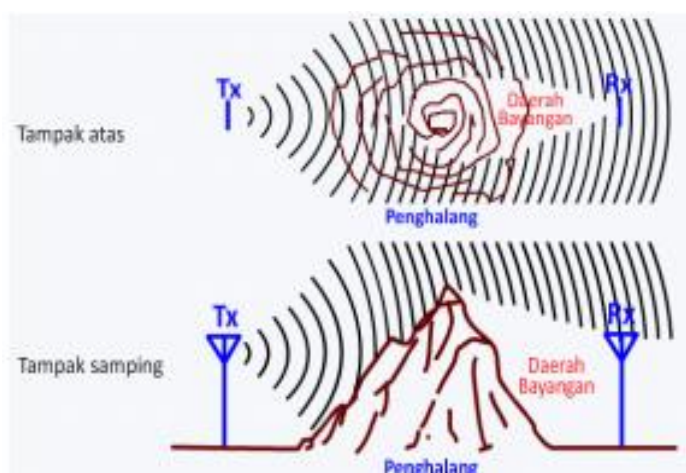
Refleksi terjadi saat gelombang elektromagnetik yang merambat bersinggungan dengan objek yang mempunyai dimensi sangat besar jika dibandingkan dengan panjang gelombang dari gelombang propagasi. Refleksi terjadi dari permukaan bumi, bangunan, dan dinding.



**Gambar 2.2 Ilustrasi Gelombang Elektromagnetik Yang Terpantul Ke Permukaan [13]**

### 2.2.3.2 DIFRAKSI

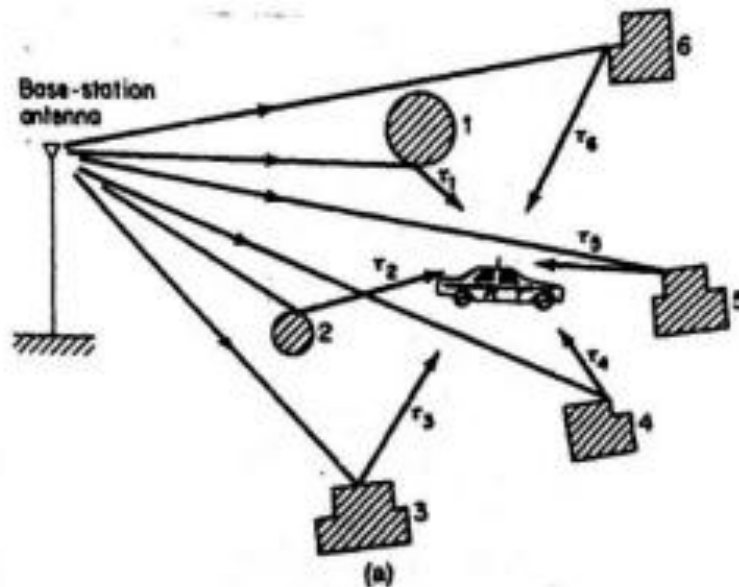
Difraksi terjadi saat radio path antara pemancar dan penerima terhalang oleh sebuah permukaan yang memiliki sudut tajam. Gelombang sekunder yang dihasilkan dari permukaan yang menghambat tersebut hadir di seluruh ruang dan bahkan di belakang hambatan itu sendiri, sehingga menimbulkan gelombang yang membelok sekitar hambatan, bahkan ketika jalur LOS (*Line Of Sight*) tidak ada antara pemancar dan penerima. Pada frekuensi tinggi difraksi bergantung kepada geometri dari objek tersebut, seperti amplitude, fasa, dan polarisasi gelombang pada titik difraksi.



**Gambar 2.3 Ilustrasi Gelombang elektromagnetik yang mengalami Difraksi[13]**

### 2.2.3.3 HAMBURAN

Hamburan terjadi ketika gelombang berjalan melalui media yang terdiri dari benda-benda dengan dimensi yang kecil dibandingkan dengan panjang gelombang dan di mana jumlah hambatan per satuan volume besar. gelombang yang terhambur terjadi karena oleh permukaan kasar, benda kecil, atau dengan penyimpangan lain dalam kanal.



Gambar 2.4 Ilustrasi Gelombang elektromagnetik yang mengalami Hamburan[13]

### 2.2.4 FADING

*Small-scale fading* atau biasa disebut *fading* digunakan untuk menjelaskan perubahan secara cepat amplitudo pada sinyal radio dalam waktu yang singkat, agar *large-scale pathloss* dapat diabaikan. *Fading* disebabkan oleh gangguan antara 2 atau lebih variasi sinyal yang dikirimkan dan diterima pada penerima dalam selisih waktu yang sedikit berbeda. Gelombang tersebut disebut gelombang multipath, yang kemudian dikombinasikan di antena penerima dan menghasilkan sinyal yang sangat bervariasi pada fasa dan amplitudonya. Tipe fading yang dialami oleh propagasi sinyal melalui kanal mobile radio bergantung pada sifat dari sinyal yang dipancarkan dalam kaitannya dengan karakteristik kanal. Bergantung pada hubungan parameter sinyal dan parameter kanal, sinyal tertentu yang dipancarkan

akan mengalami jenis berbagai jenis yang berbeda-beda. Mekanisme *time dispersion* dan *frequency dispersion* akan menyebabkan empat kemungkinan efek yang berbeda. Faktor – faktor yang mempengaruhi *small-scale fading* adalah :

a. Propagasi *Multipath*

Adanya objek pemantul dan *scatterer* akan menyebabkan hilangnya energi sinyal pada amplituda, fasa, dan waktu. Ini akan menyebabkan penerima menerima banyak versi dari sinyal yang dikirimkan.

b. Kecepatan Pengguna

Pergerakan relatif antara *base station* dan pengguna akan menghasilkan frekuensi modulasi yang acak karena perbedaan *doppler shifts* pada tiap komponen *multipath*. *Doppler shift* akan bernilai positif atau negative tergantung apakah pengguna bergerak mendekat atau menjauh dari *base station*.

c. Kecepatan Objek Sekitarnya

Jika objek pada kanal radio bergerak maka akan terjadi perubahan Doppler shift terhadap waktu pada setiap sinyal *multipath*. Efek pergerakan objek tersebut akan menjadi dominan ketika objek bergerak lebih cepat dibandingkan pengguna dan sebaliknya.

d. *Bandwidht*

jika *bandwidth* sinyal yang ditansmisikan lebih besar daripada *bandwidth* kanal *multipath*, sinyal yang terima akan terdistorsi tetapi kekuatan sinyal tidak akan berkurang banyak.

Jenis – jenis *Fading* :

1. *Flat Fading*

*Flat fading* terjadi ketika kanal memiliki gain konstan dan fasa yang linier terhadap *bandwidth* yang lebih besar dari bandwidth sinyal yang dipancarkan dan ketika *delay spread* lebih kecil dari periode symbol.

## 2. *Frequency selective fading*

*Frequency selective fading* terjadi ketika kanal memiliki gain konstan dan fasa yang linier terhadap bandwidth yang lebih kecil daripada *bandwidth* sinyal yang dipancarkan dan ketika *delay spread* lebih besar daripada periode simbol.

## 3. *Fast fading*

*Fast fading* terjadi karena respon impuls kanal berubah dengan cepat dalam satu durasi simbol. Hal ini diakibatkan coherence time lebih kecil daripada periode simbol sinyal yang ditransmisikan.

## 4. *Slow fading*

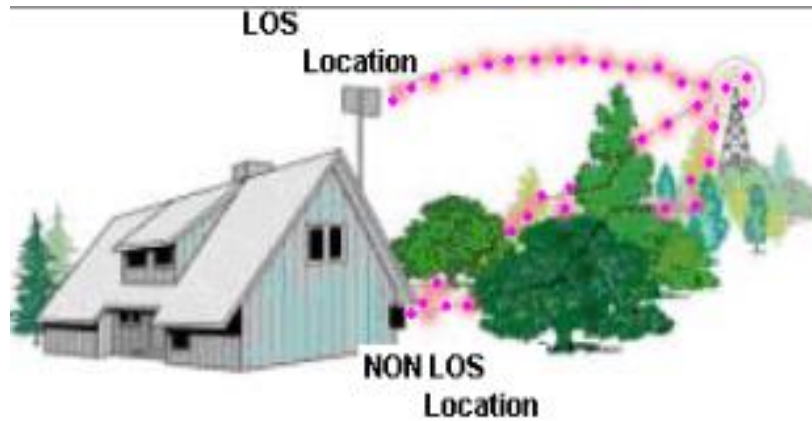
*Slow fading* terjadi karena respon impuls kanal lebih lambat daripada durasi simbol yang ditransmisikan. Hal ini diakibatkan coherence time lebih besar daripada periode simbol sinyal yang ditransmisikan [13].

### 2.2.5 LOS dan NLOS

Line-of-sight (LOS) adalah suatu kondisii dimana sinyal berjalan melalui udara secara langsung dari pemancar nirkabel menuju penerima nirkabel tanpa melewati penghalang. LOS adalah kondisi ideal untuk transmisi nirkabel karena hambatan propagasi hanya datang dari cuaca atau parameter atmosfer dan karakteristik dari frekuensi kerja yang digunakan. Dalam lingkungan LOS, sinyal dapat mencapai jarak yang lebih jauh dengan kekuatan sinyal yang lebih baik dan throughput yang lebih tinggi.

Sebaliknya, non-line-of-sight (NLOS) adalah suatu kondisi dimana sinyal yang berasal dari pemanacar akan melewati beberapa penghalang sebelum sampai ke penerima nirkabel. Sinyal tersebut dapat mengalami pepantulan, refraksi, difraksi, penyerapan dan penghamburan. Hal ini menghasilkan duplikat sinyal yang akan sampai di penerima pada waktu yang berbeda, dari arah yang berbeda, dan dengan kuat sinyal yang berbeda. Akibatnya, sistem nirkabel yang dikembangkan untuk lingkungan NLOS harus memiliki teknik-teknik untuk menghadapi masalah ini. Hal ini menyebabkan sistem NLOS akan menjadi lebih kompleks dibandingkan

sistem LOS. Namun sistem NLOS yang handal dapat menyederhanakan perencanaan jaringan dan pengambilalihan lokasi [14].



**Gambar 2.5 Transmisi pada Kondisi LOS dan NLOS[14]**

### 2.2.6 PATHLOSS

*Pathloss* adalah (melemah/hilangnya) kekuatan daya sinyal informasi yang dipancarkan oleh antena pengirim sinyal (Tx) menuju penerima (Rx) yang berlangsung selama data/sinyal melewati media udara dan terjadi selama proses transmisi sinyal berlangsung dari antena pengirim menuju penerima dalam jarak tertentu. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai level daya dan *pathloss* adalah jarak pengukuran antara (Tx) dan (Rx), tinggi antena (Tx dan Rx), serta jenis area pengukuran yang digunakan [15]. Path loss adalah komponen utama dalam analisis dan desain link budget sistem telekomunikasi. Path loss terjadi karena banyak hal, refraction, diffraction, reflection, serta penyerapan akibat masa jenis material yang berbeda-beda. Path loss juga dipengaruhi oleh kontur medan (gunung dan lembah), lingkungan (urban, rural, suburban, remote area, vegetation dan lain- lain), media propagasi (udara kering, lembab, hujan, kabel tembaga, dan lain- lain), jarak antara pemancar dan penerima, serta tinggi dan lokasi antena berada.

Path loss biasanya mencakup kerugian propagasi yang disebabkan oleh perluasan alami dari depan gelombang radio di ruang bebas (yang biasanya mengambil bentuk sebuah bola yang terus mengembang). kerugian akibat adanya penyerapan (kadang-kadang disebut penetrasi) ketika sinyal melewati suatu material-material tertentu yang menyerap gelombang elektromagnetik. Kerugian

akibat difraksi terjadi ketika bagian dari gelombang radio terhalang oleh suatu material-material yang dapat memantulkan gelombang elektromagnetik. Sinyal yang berupa gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh pemancar dalam sepanjang perjalanan akan memiliki banyak jalur berbeda ke penerima secara bersamaan yang diakibatkan oleh pemantulan akibat material-material sepanjang perjalanan, fenomena ini disebut sering kali disebut dengan multipath. Sinyal dari gelombang-gelombang elektromagnetik dengan jalur multipath ini kemudian bergabung pada antena penerima, sehingga sinyal yang diterima oleh antena penerima sangat bervariasi.

Fenomena ini sering disebut dengan multipath fading. Tergantung kepada distribusi intensitas dan waktu relatif dari propagasi gelombang-gelombang elektromagnetik yang datang, serta bandwidth dari sinyal yang ditransmisikan. maka daya total dari pencampuran gelombang-gelombang elektromagnetik tersebut dalam skenario rayleigh fading akan bervariasi dengan sangat cepat sebagai fungsi ruang dan waktu. Maka apabila gelombang- gelombang elektromagnetik tersebut bertemu dengan fasanya yang berbeda-beda, hasilnya adalah sinyal-sinyal yang saling melemahkan. namun apabila ternyata fasanya sama maka sinyal-sinyal tersebut akan saling menguatkan. Hasilnya adalah amplitudo sinyal radio yang diterima oleh penerima gelombang elektromagnetik akan berubah dengan sangat cepat, sehingga kadang-kadang dapat mengubah nilai dari bit-bit yang ditransmisikan. Model *Pathloss* pada terbagi menjadi 3 yaitu urban micro (UMa), urban micro (UMi) dan rural micro (RMa).

#### **2.2.6.1 Urban Micro (UMa)**

Model propagasi *Urban Micro* (UMa) salah satu jenis model propagasi 3D pada 5G NR yang di gunakan daerah urban / dense urban/ sub urban area. Skenario propagasi yang digunakan pada model *Urban Micro* yaitu dalam keadaan *Line of Sight* (LOS) dan *Non Line of Sight* (NLOS) Bentuk modelnya dalam keadaan *Line of Sight* (LOS) di ekspresikan dengan persamaan (2.1) dan (2.2) berikut [15] :

$$PL = 22.0 \log_{10}(d_{3D}) + 28.0 + 20\log_{10}(fc) \quad (2.1)$$

$$PL = 40\log_{10}(d_{3D}) + 28.0 + 20\log_{10}(fc) - 9\log_{10}(d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2 \quad (2.2)$$

$PL$  adalah nilai *pathloss* yang dihitung dari data *link budget* 5G New Radio,  $d_{3D}$  merupakan jarak dengan model 3D dan frekuensi *carrier* ( $fc$ ) adalah dalam (GHz),  $d'_{BP}$  adalah jarak *break point* yang dapat di cari dengan cara menghitung tinggi efektif antena *base station* dengan tinggi efektif antena *User terminal* dibagi dengan nilai ( $c$ ) yaitu kecepatan cahaya ( $3.8 \times 10^8$  m/s),  $h_{BS}$  adalah tinggi antena pada propagasi UMa ini mempunyai parameter tinggi *base station* sekitar 20 meter, dan  $h_{UT}$  tinggi antena yang diperbolehkan  $1.5 \text{ m} \leq h_{UT} \leq 22.5 \text{ m}$ .

#### 2.2.6.2 Urban Micro (UMi)

Model propagasi *Urban Micro* (UMa) salah satu jenis model propagasi 3D yang di pergunakan daerah *urban dense urban area*. Skenario propagasi yang digunakan pada model *Urban Micro* yaitu dalam keadaan *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS) Bentuk modelnya dalam keadaan *Line of Sight* (LOS) di ekspresikan dengan model mempunyai persamaan (2.3) berikut [15]:

$$PL = 32.4 + 21\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(fc) \quad (2.3)$$

*Pathloss* ( $PL$ ) menentukan nilai *pathloss* yang dihitung dari perhitungan *link budget*,  $d_{3D}$  merupakan jarak dengan model 3D dan frekuensi *carrier* ( $fc$ ) adalah dalam (GHz),  $d'_{BP}$  sendiri adalah jarak *break point* yang dapat dicari dengan cara menghitung tinggi efektif antena *base station* dengan tinggi efektif antena *User terminal* dibagi dengan nilai ( $c$ ) yaitu kecepatan cahaya ( $3.8 \times 10^8$  m/s).

$$d'_{BP} = \frac{4h \times h_{BS} \times h_{UT} \times fc}{c} \quad (2.4)$$

Untuk penerapan pada range model ini parameter tinggi antenna yang ditetapkan yaitu :

$d_{2D}$  : jarak model 2D ( $10\text{m} < d_{2D} < 5000\text{m}$ )



$h_{BS}$  : Tinggi antenna *Base Station* (10m ,  $1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$ )

Untuk model propagasi UMi dalam keadaan *Non Line of sight* (NLOS) di ekspresikan dengan persamaan (2.5) berikut [15]:

$$PL_{NLOS} = 35,3 \log_{10}(d_{3D}) + 22.4 + 21.3 \log_{10}(fc) - 0.3(h_{UT} - 1.5) \quad (2.5)$$

Dengan ketentuan Parameter :

$d_{2D}$  : jarak model 2D ( $10m < d_{2D} < 5000m$ )

$h_{BS}$ : Tinggi antenna *Base Station* (10m)

$h_{UT}$ : Tinggi antenna *User Terminal* ( $1.5m \leq h_{BS} \leq 22.5m$ )

### 2.2.6.3 Rural Micro (RMA)

Model propagasi *Rural Micro* diaplikasikan pada skenario *dense urban* dimana Daerah Rural ialah kawasan yang tidak terdapat pohon-pohon dan bangunan-bangunan tinggi sepanjang lintasan pengukuran, jarak pandang 30400 meter tidak ada halangan. Skenario propagasi yang digunakan pada model *Rural Micro* yaitu dalam keadaan *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS). Bentuk modelnya dalam keadaan *Line of Sight* (LOS) di ekspresikan dengan model persamaan (2.6) dan persamaan (2.7) di bawah ini[15]:

$$PL_1 = 20 \log_{10}(40\pi d_{3D} fc/3) + \min(0.03h, 10) \log_{10} d_{3D} - (0.044h, 14.77 + 0.002 \log_{10}(h) d_{3D}) \quad (2.6)$$

$$PL_2 = PL_1(d_{BP}) + 40 \log_{10} \left( \frac{d_{3D}}{d_{BP}} \right) 0.002 \log_{10} (h) \quad (2.7)$$

$PL$  menunjukan nilai *pathloss* yang dihitung dari perhitungan *link budget* 5G *New Radio*,  $d_{3D}$  merupakan jarak dengan model 3D dan frekuensi *carrier* ( $fc$ ) adalah dalam (GHz),  $d_{BP}$  sendiri adalah jarak *break point* yang dapat di cari dengan cara menghitung tinggi efektif antenna *base station* dengan tinggi efektif antenna *User terminal* dibagi dengan nilai ( $c$ ) yaitu kecepatan cahaya ( $3.8 \times 10^8$  m/s).

### 2.2.7 Model Kanal Propagasi

Perencanaan pada jaringan seluler untuk memodelkan cakupan suatu *base station* perlu diketahui nilai redaman lintasan sehingga pemilihan jenis perangkat yang diperlukan dapat menjadi optimal. Model kanal propagasi adalah model estimasi karakteristik kanal. Model kanal propagasi sangat berperan penting dalam perencanaan jaringan wireless, terutama untuk penentuan coverage base station dan penentuan persyaratan RF bagi perangkat base station maupun perangkat subscriber station. Secara umum, model kanal propagasi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar, yaitu :

a. Model Empirik

Model yang diturunkan dari hasil pengukuran lapangan di lokasi-lokasi yang dianggap mewakili sampel lingkungan wireless.

b. Model Deterministik

Model yang dikembangkan dari teori propagasi gelombang elektromagnetik dan digunakan untuk perhitungan daya pancar di lokasi yang ditinjau.

c. Model Stokastik

Model yang menyertakan peubah acak sebagai representasi kondisi lingkungan yang berubah dari waktu ke waktu dan dari satu lokasi ke lokasi lain

Dari ketiga model kanal propagasi di atas, model kanal propagasi empirik merupakan model yang sangat diminati kalangan peneliti maupun industri karena kemudahan penggunaan serta toleransi terhadap ketidaktersediaan informasi terrain. Terdapat sejumlah model prediksi *pathloss* yang dapat digunakan untuk perencanaan jaringan yang mendukung implementasi teknologi seluler. Penggunaan beberapa model prediksi *pathloss* diperlukan untuk mencari nilai optimal redaman lintasan untuk mengurangi faktor kesalahan perencanaan. Model ABG, CI, dan SUI adalah model yang menggunakan persamaan untuk menghitung prediksi *pathloss*, sedangkan NYUSIM merupakan suatu *software* dengan sejumlah pengaturan parameter sesuai kebutuhan.

### 2.2.7.1 Model Prediksi ABG

Model prediksi *pathloss* ABG dikeluarkan oleh *The Third Generation Partnership Project* (3GPP) yang merupakan suatu kelompok proyek yang mengembangkan teknologi seluler generasi ketiga. Pada model ini terdapat tiga parameter yang didefinisikan sesuai dengan karakteristik sel dan *geotype* suatu wilayah. Redaman pada kondisi *free space loss* merupakan fungsi frekuensi dan jarak yang dinyatakan melalui Persamaan (2.6)[16]. Nilai  $\alpha$  dan  $\gamma$  menyatakan parameter *pathloss* yang terkait dengan jarak dan frekuensi, untuk mencari nilai  $\alpha$  dan  $\gamma$  dapat menggunakan rumus persamaan 2.8 dan 2.10, sedangkan  $\beta$  menyatakan nilai *offset* yang dioptimalkan untuk *pathloss* dalam dB, untuk mencari nilai  $\beta$  dapat menggunakan rumus persamaan 2.9

$$\alpha = \frac{(\sum D \sum B - N \sum DB)((\sum F)^2 - N \sum F^2) - (\sum D \sum F - N \sum DF)(\sum F \sum B - N \sum FB)}{((\sum D)^2 - N \sum D^2)((\sum F)^2 - N \sum F^2) - (\sum D \sum F - N \sum DF)^2} \quad (2.8)$$

$$\beta = \frac{(\sum D \sum FB - \sum B \sum DF)(\sum F \sum D^2 - \sum D \sum DF) - (\sum B \sum D^2 - \sum D \sum DB)(\sum D \sum F^2 - F \sum DF)}{((\sum D)^2 - N \sum D^2)(\sum D \sum F^2 - \sum F \sum DF) + (\sum D \sum F - N \sum DF)(\sum F \sum D^2 - \sum D \sum DF)} \quad (2.9)$$

$$\gamma = \frac{(\sum F \sum B - N \sum FB)((\sum D)^2 - N \sum D^2) - (\sum D \sum F - N \sum DF)(\sum D \sum B - N \sum DB)}{((\sum F)^2 - N \sum F^2)((\sum D)^2 - N \sum D^2) - (\sum D \sum F - N \sum DF)^2} \quad (2.10)$$

Keterangan

D	: Jarak	(Meter)
B	: Panjang Gelombang	(Meter)
N	: Gaya	(Newton)
F	: Frekuensi	(Hz)

Nilai *pathloss* ABG dapat dicari persamaan 2.11, dimana frekuensi pada persamaan 2.9 dinyatakan dalam GHz dan jarak dalam meter,  $X^{ABG}$  merupakan standar deviasi nilai *shadowing fading* yang menggambarkan nilai rata-rata *pathloss*

sepanjang lintasan akibat fluktuasi *large scale fading* [16]. Nilai parameter  $\alpha$ ,  $\gamma$ , dan  $\beta$  untuk berbagi *geotype*, ukuran sel dan karakteristik propagasi sinyal ditampilkan pada Tabel 2.2

$$PL^{ABG}(f, d) = 10\text{Log}\left(\frac{d}{1m}\right) + \beta + 10\gamma\text{Log}\left(\frac{f}{1\text{GHz}}\right) + x_{\sigma}^{ABG} \quad (2.11)$$

**Tabel 2. 2 Parameter pada Model Prediksi ABG [9]**

Skenario		Rentang Frekuensi (GHz)	Jarak (m)	Model	PLE/ $\alpha$	$\beta$ (dB)	$\gamma$	$\alpha$ (dB)
Urban Micro SC	LOS	2 – 73,5	5-121	ABG	2	31,4	2,1	2,9
	NLOS	2 – 73,5	19-272	ABG	3,5	24,4	1,9	8
Urban Micro OS	LOS	2 - 60	5-88	ABG	2,6	24	1,6	4
	NLOS	2 - 60	8-235	ABG	4,4	24	1,9	7,8
Urban Macro	LOS	2 – 73,5	58-930	ABG	2,8	11,4	2,3	4,1
	NLOS	2 – 73,5	45-1429	ABG	3,3	17,6	2	9,9

### 2.2.7.2 Model Prediksi *Pathloss Close-In (CI)*

Model prediksi CI mengembangkan model *pathloss* pada ruang hampa dengan memperhitungkan jarak awal 1 meter. Seperti halnya model prediksi ABG, model CI juga merupakan fungsi frekuensi dan jarak yang dinyatakan dengan persamaan (2.12)[16].

$$PL^{CI}(f,d) = 20\text{Log}\left(\frac{4\pi f}{c}\right) + 10\alpha\text{Log}(d) + X_{\sigma}^{CI} [db] \quad (2.12)$$

dimana  $f$  menyatakan frekuensi yang digunakan pada sistem,  $d$  adalah jarak antara pemancar dengan penerima,  $\alpha$  menyatakan nilai *slope pathloss* mulai jarak 1 meter dan  $X_{\sigma}^{CI}$  adalah variabel acak *gaussian* dengan *mean* bernilai nol dengan standar deviasi dalam dB[16].

### 2.2.7.3 Model Prediksi *Pathloss SUI*

Model prediksi SUI pada awalnya digunakan pada perhitungan *pathloss* generasi awal teknologi seluler hingga generasi ketiga, yaitu pada frekuensi kerja hingga 2 GHz. Formula SUI kemudian dikembangkan sehingga dapat dipergunakan untuk perhitungan prediksi *pathloss* dengan frekuensi kerja  $f$  (Hz) pada jarak  $d$  (m) tertentu pada teknologi 5G yang dinyatakan dengan persamaan (2.13)[16].

$$PL_{SUI}=20\text{Log}\left(\frac{4\pi f}{c}\right) + 10n\text{Log}(d) + X_{fc} + X_{RX} + X_{\sigma} \quad [db] \quad (2.13)$$

dimana  $n$  menyatakan koefisien fungsi jarak,  $h_{tx}$  adalah tinggi antenna *base station*,  $h_{rx}$  adalah tinggi *user equipment*,  $X_{fc}$  adalah factor koreksi frekuensi,  $X_{rx}$  adalah koreksi tinggi user equipment dan  $X_{\sigma}$  adalah variabel log normal *random shadowing* [16].

### 2.2.7.4 Model Prediksi *Pathloss NYUSIM*

NYUSIM merupakan karya dari New York *University* yang merupakan suatu aplikasi *open source* yang digunakan untuk pengukuran saluran propagasi pita lebar dunia nyata yang ekstensif pada beberapa frekuensi gelombang milimeter (mmWave) dari 28 hingga 73 GHz di berbagai lingkungan luar ruangan di lingkungan mikro sel perkotaan (UMi), makro sel perkotaan (UMa), dan makro sel pedesaan (RMa). NYUSIM memberikan perhitungan yang akurat dari respons impuls saluran aktual dalam ruang dan waktu, dan berlaku untuk berbagai frekuensi pembawa mulai 500 MHz hingga 100 GHz, dan *bandwidth* RF dari 0 hingga 800 MHz.

Parameter yang digunakan pada model prediksi NYUSIM jauh lebih kompleks dibandingkan ketiga model prediksi *pathloss* yang telah dibahas sebelumnya. Selain frekuensi, jarak, ketinggian antenna *base station* dan ketinggian *user equipment*, parameter teknis jumlah antenna MIMO, serta sudut

kemiringan antena juga memperhitungkan skenario wilayah (*urban* mikro/UMi, *urban* makro/UMa dan *rural* makro/RMa) juga mempertimbangkan kondisi LOS dan NLOS [17].