

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [6] merencanakan jaringan 5G NR pada area industri dengan frekuensi 3,5GHz menggunakan *software* Mentum Planet 7.2.1. Model UMa (*Urban Macro - Street Canyon*) berdasarkan standar 3GPP TR 38901 digunakan sebagai perencanaan model propagasi ini, dengan 8 skenario desain untuk *uplink* dan *downlink*; *Outdoor to Outdoor* (O2O) dan *Outdoor to Indoor* (O2I); situasi *line of sight* (LOS) dan *non-line of sight* (NLOS). Menurut penelitian ini, skenario *downlink* membutuhkan lebih banyak *site* daripada skenario *uplink*. Dua nilai rata-rata SS-RSRP tertinggi yang diamati adalah -92,95 dBm pada skenario *Downlink Outdoor-to-Outdoor Line of sight* dan -97,16 dBm pada skenario *Uplink Outdoor-to-Outdoor Line of sight*.

Penelitian [7] merencanakan jaringan 5G NR pada Kawasan Segitiga Emas Jakarta. Penelitian ini menggunakan *software* Mentum Planet 7.3.0 dan frekuensi 2,6 GHz. Model propagasi *Urban Macro* (UMa) digunakan, dan dua skenario perencanaan *downlink* digunakan: LOS *Outdoor to Outdoor* (O2O) dan *Outdoor to Outdoor* (O2O) non-LOS (NLOS). Penelitian ini mendapatkan hasil SS-RSRP, *data rate*, dan SS-SINR. Pada skenario *downlink outdoor to outdoor*, nilai SS-RSRP maksimum dengan kondisi *non line of sight* sebesar -65.873 dBm, dan nilai SS-RSRP terendah dengan kondisi *line of sight* sebesar -95.94 dBm. Skenario *downlink* O2O-NLOS memiliki nilai *data rate* terendah sebesar 126,4 Mbps, sedangkan skenario *downlink* O2O-LOS memiliki nilai *data rate* terbesar sebesar 179.078 Mbps. Skenario *downlink* O2O-NLOS memiliki nilai SS SINR terendah sebesar 2,153 dB, sedangkan skenario *downlink* O2O-LOS memiliki nilai SS SINR tertinggi sebesar 4,71 dB.

Penelitian [8] membahas mengenai pembangunan jaringan 5G di Kota Denpasar menggunakan frekuensi 869 MHz dan *rooftop tower*. Perhitungan radius sel dalam penelitian ini menggunakan model *route loss*

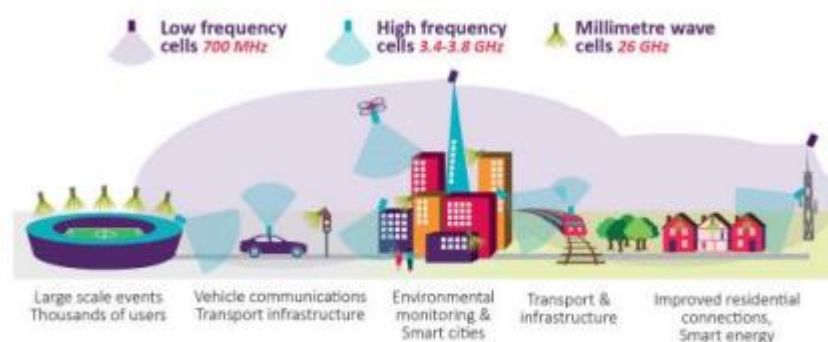
propagation dengan *shadowing effect* dan *coverage area planning*. Analisis ini menemukan bahwa 3,07% lokasi tower *rooftop* digunakan di kawasan Balai Banjar dan 96,93% digunakan di luar kawasan Balai Banjar.

Penelitian [9] merencanakan perancangan jaringan 5G di Kota Cimahi dengan frekuensi 2300 MHz. dari penelitian tersebut dihasilkan nilai SS-RSRP diatas -90 dBm mencakup 27,3% area penelitian, sedangkan yang diharapkan mencakup 70% hingga 85%. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa model propagasi yang digunakan kurang optimal pada aera yang dipilih.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Teknologi 5G New Radio

Jaringan komunikasi seluler generasi kelima disebut sebagai jaringan 5G. Jaringan komunikasi seluler 5G akan menghasilkan dunia yang benar-benar *mobile* dan terhubung sepenuhnya dimana semuanya saling terhubung satu sama lain, orang dan benda terhubung dengan benda. Jaringan komunikasi seluler 5G akan memiliki dampak signifikan pada teknologi pintar, dengan peningkatan kecepatan, latensi, ketahanan jaringan, dan konsumsi daya. Gelombang milimeter akan digunakan untuk mentransfer data di jaringan komunikasi seluler 5G[10].



Gambar 2.1 Spektrum frekuensi 5G [11].

Spektrum frekuensi pada 5G dibagi menjadi tiga kategori seperti pada Gambar 2.1. Spektrum pada kategori frekuensi rendah yaitu kurang dari 2GHz mencakup area yang luas dan dalam. Spektrum pada kategori frekuensi menengah yaitu antara 2GHz dengan 6GHz mencakup area yang ditempati, memiliki *bandwidth* yang relatif besar, serta perangkat yang

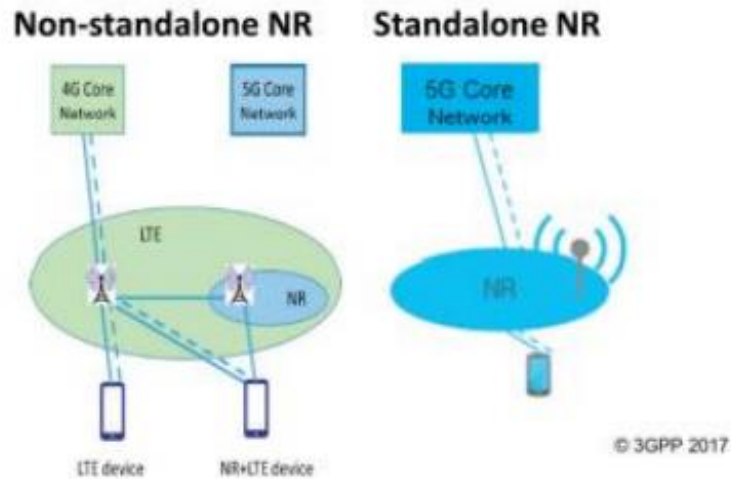
terhubung banyak dan kecepatan koneksi tinggi. Spektrum frekuensi pada frekuensi tinggi yaitu lebih dari 24GHz mencakup area yang sempit, memiliki *bandwidth* yang besar, serta kapasitas dan kecepatan sangat tinggi.

Area untuk perencanaan jaringan diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu perkotaan (*Urban*), sub-perkotaan (*Sub Urban*), dan pedesaan (*Rural*). Dikatakan perkotaan atau urban dilihat dari lingkungannya yang padat penduduk dengan bangunan besar dan tinggi. Daerah sub-urban merupakan tempat yang tidak terlalu padat penduduknya dengan lingkungan perumahan yang berjejer dan pepohonan atau penghalang yang tinggi. Wilayah rural merupakan wilayah dengan struktur yang lebih sedikit atau tempat-tempat dengan alam yang lebih terbuka. Selain wilayah, perencanaan jaringan diklasifikasikan menjadi tiga kategori berdasarkan jaringan heterogenya yaitu sel makro, sel mikro, dan sel pico. Sel makro merupakan jenis sel yang umum digunakan di daerah pinggiran kota karena cakupan areanya yang luas. Sel mikro merupakan salah satu bentuk sel yang banyak ditemukan di tempat padat penduduk. Sel *pico* merupakan salah satu jenis sel yang umum terdapat dalam sebuah ruangan[12].

Solusi radio 5G diharapkan terdiri dari teknologi akses radio baru atau RAT, dan pengembangan RAT dengan memanfaatkan spektrum yang ada serta frekuensi baru seperti RAT gelombang MM sub-6 GHz. Spektrum yang lebih luas digunakan dan teknologi seperti *beamforming* dan *massive multiple input and multiple output*, atau MIMO memungkinkan kecepatan maksimum hingga 10Gbps. Akibatnya, jaringan transportasi di situs seluler harus menangani kecepatan puncak yang lebih tinggi dan ledakan lalu lintas yang lebih besar daripada yang dilakukan jaringan publik sekarang. Konektivitas multi-situs dan multi-RAT menawarkan lebih banyak fleksibilitas peralatan pengguna yang terhubung (UE) dan cara mengelola layanan *end-to-end* melalui radio dan lalu lintas. UE yang terhubung ke beberapa situs secara bersamaan juga dapat dihubungkan ke beberapa teknologi akses yang berbeda[3].

2.2.2 Konfigurasi 5G

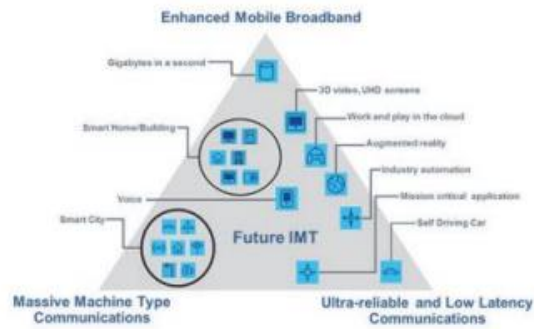
Elemen *new 5G core* (5GC) dengan *5G new radio* memiliki pengintegrasian yang berbeda dalam konfigurasinya yaitu *non-standalone* (NSA) dan *standalone*(SA) berdasarkan 3GPP. Konfigurasi tersebut digambarkan seperti pada Gambar 2.2 [13].



Gambar 2. 2 Konfigurasi jaringan *Non-Standalone* dan *Standalone*[13].

Pada Gambar 2.2 menggambarkan konfigurasi jaringan yang berbeda. Berdasarkan Gambar 2.2 jaringan *non-standalone* merupakan jaringan di mana sel radio NR terintegrasi dengan sel radio LTE melalui koneksi ganda. *Smartphone* yang mendukung koneksi 5G akan terhubung ke sel radio 5G untuk mendapatkan *throughput* data yang lebih cepat menggunakan jaringan 4G. Jaringan 5G berfokus pada peningkatan *broadband* seluler atau *Enhanced mobile broadband* (eMBB).

Pada Gambar 2.2 terdapat jaringan *Standalone* yang memiliki definisi berbeda dengan konfigurasi jaringan *Non-Standalone* dimana jaringan *Standalone* dapat beroperasi mandiri. Pada jaringan *Standalone* koneksi 5G tidak menggunakan jaringan 4G tetapi langsung terkoneksi dengan jaringan 5G. Jaringan *standalone* memiliki keuntungan dalam penyederhanaan dan peningkatan efisiensi, yang dapat menghemat biaya, meningkatkan kinerja *throughput*, dan membantu pengembangan URLLC.



Gambar 2.3 Skenario Penggunaan IMT-2020[13].

Pada Gambar 2.3 menjelaskan mengenai skenario penggunaan IMT-2020 yang berkaitan dengan jaringan *Non-Standalone* dan *Standalone*. *Enhanced mobile broadband* (eMBB) dirancang untuk skenario yang berpusat pada pengguna (berpusat pada manusia) yang memerlukan akses ke konten multimedia, layanan, dan data. Permintaan *broadband* seluler akan terus meningkat, mengakibatkan peningkatan *broadband* seluler. Skenario penggunaan *broadband* seluler yang lebih besar akan menghasilkan permintaan dan area aplikasi baru, serta penyempurnaan aplikasi *broadband* seluler saat ini untuk meningkatkan kinerja dan meningkatkan pengalaman pengguna, terutama untuk pengalaman pengguna yang lancar/mulus. Jaringan *Non-Standalone* memiliki keuntungan memiliki kecepatan yang sangat cepat dan jaringan *Non-Standalone* ini memiliki harga yang murah karena tidak diperlukannya membangun jaringan 5G yang baru.

Kemampuan *Ultra-Reliable and Low Latency Communications* (URLLC) lebih menuntut dalam hal kinerja dan ketersediaan latensi. Skenario ini mencakup kontrol nirkabel dalam proses produksi atau manufaktur industri, operasi medis jarak jauh, otomatisasi distribusi listrik di jaringan cerdas, keamanan transportasi, dan contoh lainnya. Situasi komunikasi massa tipe mesin (MMTC) yang dicirikan oleh sejumlah besar perangkat yang terhubung dengannya, terutama perangkat yang mentransmisikan data dengan intensitas rendah dan tidak peka terhadap penundaan. Dalam skenario ini, spesifikasi perangkat harus murah dan memiliki durabilitas/performa tinggi.

2.2.3 Frekuensi Jaringan 5G di Indonesia

Setiap kemajuan teknologi memerlukan perencanaan implementasi, yang meliputi perencanaan regulasi, kesiapan industri, dan aspek lainnya. Dikarenakan Indonesia baru memasuki tahap teknologi 4G, teknologi 5G mungkin masih belum terjangkau. Namun, siap atau tidaknya Indonesia, teknologi 5G akan tersedia. Menurut rilis berita Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, spektrum frekuensi yang saat ini digunakan untuk layanan komunikasi seluler adalah 2100 Mhz. PT Telekomunikasi Selular ditetapkan sebagai pemenang pemilihan pengguna pita frekuensi radio 2,1 GHz untuk keperluan penyelenggaraan jaringan bergerak seluler tahun 2022 oleh Menteri Komunikasi dan Informatika [14].

Tahun 2021 merupakan awal pengoperasian jaringan seluler 5G di Indonesia. Jaringan tersebut beroperasi berbasis teknologi IMT-2020 pada pita frekuensi 2,3GHz. Sejak 2017 hingga 2020, Kementerian Komunikasi dan Informatika menyelesaikan 12 pengujian jaringan 5G sebelum diterapkan. Untuk meningkatkan layanan 5G, Indonesia membutuhkan alokasi spektrum yang terbagi menjadi tiga bagian yaitu *low band*, *middle band*, dan *high band*.

Secara komersial, tiga provider Indonesia yaitu Telkomsel, Indosat, dan XL, saat ini menawarkan layanan 5G di Indonesia, menggunakan dua pita frekuensi, 1800MHz dan 2300MHz. Untuk meningkatkan *bandwidth* dan varian *use case* untuk layanan 5G, Kementerian Komunikasi dan Informatika melakukan *farming* dan *refarming*. Dalam proses *farming* dan *refarming*, Kementerian Komunikasi dan Informatika mengembangkan pita frekuensi pada pita rendah 700Mhz, pita menengah 3,5 GHz dan 2,6 GHz, serta pita tinggi 26 GHz dan 28 GHz[4].

Tabel 2. 1 Tabel Rentang Frekuensi 5G[6]

Frekuensi	Rentang
Band Frekuensi 3,5 GHz	3,3 – 4,2 GHz
Band Frekuensi 15 GHz	14,5 – 15,35 GHz
Band Frekuensi 26 GHz	24,25 -27,5 GHz
Band Frekuensi 28 GHz	26,5 – 29,5 GHz

2.2.4 Link Budget

Istilah *link budget* mengacu pada estimasi *maximum allowable path loss* (MAPL) dalam propagasi spasial, berdasarkan skenario aplikasi yang berbeda dan parameter yang berbeda antara pemancar dan penerima, untuk mencapai kualitas layanan - persyaratan cakupan seluler. Selain itu, radius sel dan cakupan stasiun pangkalan tunggal dapat diperkirakan menggunakan model difusi yang sesuai. Dalam jaringan data nirkabel, anggaran tautan dibagi menjadi anggaran *uplink* dan anggaran *downlink*, meskipun prinsipnya pada dasarnya sama[15].

Tabel 2.2 *Link Budget* 5G NR[15]

Parameter	Notasi
<i>gNodeB Transmitter Power</i> (dBm)	a
<i>Resource Block</i>	b
<i>Subcarrier quantity</i>	c
<i>gNodeB antenna gain</i> (dBi)	d
<i>gNodeB cable loss</i> (dBi)	e
<i>Penetration loss</i> (dB)	f
<i>Foliage loss</i> (dB)	g
<i>Body block loss</i> (dB)	h
<i>Interference margin</i> (dB)	i
<i>Rain/Ice margin</i> (dB)	j
<i>Show fading margin</i> (dB)	k
<i>UE antenna gain</i> (dB)	l
<i>Bandwidth</i> (MHz)	m
<i>Boltzman Constant</i> (K) (mWs/K)	n
<i>Temperature</i> (Kelvin)	o
<i>Thermal noise power</i> (dBm)	p
<i>UT noise figure</i> (dB)	q
<i>Demodulation threshold SINR</i> (dB)	r

Pada perencanaan ini memerlukan nilai *Maximum Allowable Pathloss* (MAPL). Nilai MAPL menunjukkan nilai maksimal pada *pathloss*

yang dapat diloloskan dari pemancar ke penerima[9]. Perhitungan MAPL untuk *uplink* dan *downlink* ditujukan pada persamaan (2.1) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{MAPL (dBm)} = & g\text{NodeB Transmitter Power} - \\
 & 10\log(\text{Subcarrier quantity}) + \\
 & g\text{NodeB antenna gain} - \\
 & g\text{NodeB cable loss} - \text{Penetration loss} - \\
 & \text{Folliage loss} - \text{Body block loss} - \\
 & \text{Interference margin} - \text{Rain/} \\
 & \text{Ice margin} - \text{Show fading margin} + \\
 & \text{UE antenna gain} - \\
 & \text{Thermal noise power} - \text{UT noise figure} - \\
 & \text{Demodulation threshold SINR}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

2.2.5 Perencanaan berdasarkan Cakupan Area

Salah satu strategi untuk memastikan jaringan dapat menyediakan sinyal di area tertentu adalah merencanakan berdasarkan area cakupan. Ada tiga jenis perencanaan berbasis wilayah yaitu perkotaan makro (*urban macro*), perkotaan mikro (*urban micro*), dan pedesaan makro (*rural macro*). Suatu wilayah perkotaan memiliki kepadatan penduduk yang tinggi, jumlah bangunan yang banyak, dan ketinggian bangunan berkisar antara 25 hingga 50 meter. Pedesaan mengacu pada daerah terbuka dan pedesaan dengan sedikit hambatan.

Tabel 2. 3 Tabel Pengelompokan area berdasarkan kepadatan penduduk[16]

Area	Minimal Populasi (orang/km ²)	Maksimal Populasi (orang/km ²)
<i>Dense Urban</i>	20000	500000
<i>Urban</i>	4500	19999
<i>Sub-Urban</i>	250	4499
<i>Rural</i>	0	249

Parameter *thermal noise* ditentukan menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$Thermal\ Noise\ (N_{thermal}) = 10 \times \log_{10} K \times T \times B \quad (2.2)$$

Keterangan:

K= Konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-20}$ mWs/K)

T= *Temperature* (293°K)

Nilai *Subcarrier Quantity* dihitung menggunakan persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$S_{cq} = RB \times SRB \quad (2.3)$$

Keterangan:

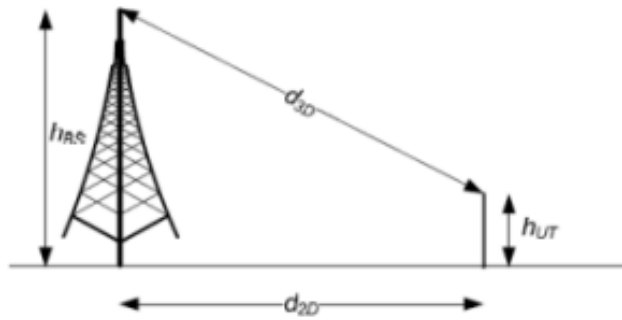
S_{cq} = *Subcarrier Quality*

RB = *Resource Block*

SRB = *Subcarrier per Resource Block*

Tabel 2. 4 Nilai *Resource Block*

Bandwidth (MHz)	SCS (KHz)		
	15 (KHz)	30 (KHz)	60 (KHz)
5 (MHz)	25	11	-
10 (MHz)	52	24	11
15 (MHz)	79	38	18
20 (MHz)	106	51	24
25 (MHz)	133	65	31
30 (MHz)	160	78	38
40 (MHz)	216	106	51
50 (MHz)	270	133	65
60 (MHz)	-	162	79
70 (MHz)	-	189	93
80 (MHz)	-	217	107
90 (MHz)	-	245	121
100 (MHz)	-	273	135



Gambar 2.4 Hubungan antara d_{3D} , d_{2D} , $(h_{BS}-h_{UT})$ [6].

Pada Gambar 2.4 menunjukkan hubungan antara d_{3D} , d_{2D} , serta $(h_{BS}-h_{UT})$. Nilai d_{3D} didapatkan dari persamaan *pathloss* yang membutuhkan nilai d'_{BP} , h'_{BS} , dan h'_{UT} yang didapatkan dari persamaan (2.4), (2.5), (2.6) sebagai berikut:

$$h'_{BS} = h_{BS} - hE \quad (2.4)$$

$$h'_{UT} = h_{UT} - hE \quad (2.5)$$

$$d'_{BP} = 4 \times h'_{BS} \times h'_{UT} \times fc/c \quad (2.6)$$

Keterangan:

hE = Height of equipment (m)

h_{BS} = Tinggi dari *gNodeB* (m)

h_{UT} = Tinggi dari UT (m)

d'_{BP} = jarak *break point* (m)

fc = frekuensi (GHz)

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

Nilai *cell radius* (d_{2D}) didapatkan dari rumus persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$d_{2D} = \sqrt{(d_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2} \quad (2.7)$$

Nilai cakupan area/*coverage area* dalam satu *site gNodeB* dihasilkan dari persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$CA = 1,95 \times 2,6 \times d_{2D}^2 \quad (2.8)$$

Keterangan:

CA = cakupan area dari *gNodeB* (m^2)

d_{2D} = *cell radius* (m)

Nilai total *site* untuk menentukan *site* yang dapat menjangkau daerah perencanaan dengan menggunakan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$N_{gnodeB} = \frac{\text{Luas Area Perencanaan}}{\text{Cakupan Area}} \quad (2.9)$$

2.2.6 Model Propagasi Urban Macro (UMa)

Yogyakarta sedang mengalami urban sprawl sebagai akibat dari ekspansi populasi yang cepat. Pertumbuhan dan migrasi alami telah menghasilkan populasi yang besar. Pertambahan penduduk menyebabkan terciptanya komunitas-komunitas baru di pinggiran kota dan berdampak pada aktivitas manusia di kota metropolitan. Hal ini memperkuat anggapan bahwa Yogyakarta adalah sebuah kota. Akibatnya, model propagasi makro perkotaan digunakan dalam pekerjaan ini[17].

Urban Macro (Uma) adalah posisi sel makro perkotaan yang khas dimana stasiun bergerak terletak di luar di permukaan jalan, dan lokasi stasiun dan bangunan di sekitarnya sangat jelas dapat diukur dan memiliki posisi ketinggian yang berbeda. NLOS atau LOS adalah contoh umum dalam hal kondisi rambat, karena permukaan jalan sering dihasilkan oleh difraksi tunggal di atap. Blok bangunan dan lingkungan perkotaan yang tidak stabil akan menyebabkan penyebaran yang besar. Ketinggian bangunan khas di daerah perkotaan terdekat lebih dari empat lantai[18].

Model propagasi ini menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12) sebagai berikut:

A. Line Of Sight (LOS)

$$\begin{aligned} PL_{UMa-LOS, PL_1} &\rightarrow 10m \leq d_{2D} \leq d'_{BP}; PL_2 \rightarrow d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km \\ PL - LOS &= 28 + 40 \log(d_{3D}) + 20 \log(fc) - \\ &9 \log((d'_{BP})^2 + (h'_{BS} - h'_{UT})^2) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Keterangan :

L_p = nilai *pathloss* (dBm)

d_{3D} = resultan jarak antara h_{BS} dan h_{UT} (m)

f_c = frekuensi (GHz)

d'_{BP} = jarak *break point* (m)

h'_{BS} = *The Effective Antenna Height Base Station*

h'_{UT} = *The Effective Antenna Height User Terminal*

B. *Non Line Of Sight (NLOS)*

$$PL_{NLOS} = 161,04 - 7,1 \log(W) + 7,5 \log(h) - \left(24,37 - 3,7 \left(\frac{h}{h_{BS}}\right)^2\right) \log(h_{BS}) + (43,42 - 3,1 \log(h_{BS}))(\log(d_{3D}) - 3) + 20 \log(fc) - (3,2(\log(17,625))^2 - 0,6(h_{UT} - 1,5)) \quad (2.12)$$

Keterangan :

L_p = nilai *pathloss* (dBm)

d_{3D} = resultan jarak antara h_{BS} dan h_{UT} (m)

h = tinggi rata-rata gedung ($5m < h < 50m$)

W = lebar jalan ($5m < h < 50m$)

f_c = frekuensi (GHz)

h'_{BS} = *The Effective Antenna Height Base Station*

h'_{UT} = *The Effective Antenna Height User Terminal*

2.2.7 Parameter SS-RSRP

Synchronization Signal - Reference Signal Received Power (SS-RSRP) adalah daya rata-rata (Watt) yang diukur pada peralatan pengguna dari sinyal sinkronisasi sekunder yang ditambahkan dengan pemancar sel [19].

Tabel 2.5 Parameter SS-RSRP[16]

Rentang Nilai SS-RSRP	Kategori
$SS-RSRP \leq -105$	Buruk
$-105 \leq SS-RSRP \leq -95$	Normal
$-95 \leq SS-RSRP \leq -85$	Baik
$SS-RSRP \geq -85$	Sangat Baik

2.2.8 Parameter SS-SINR

Synchronization-Signal - Signal-to-Noise and Interference Ratio (SS-SINR) adalah rata-rata linier dari kontribusi daya (dalam Watt) dari elemen sumber daya yang menghasilkan sinyal sinkronisasi sekunder dibagi dengan rata-rata linier dari kontribusi daya derau dan interferensi (dalam

Watt). Angka ini pada dasarnya sama dengan menunjukkan kekuatan sinyal dibagi dengan *noise* dan interferensi yang diterima oleh pengguna[19].

Tabel 2.6 Parameter SS-SINR[16]

Rentang SS-SINR	Kategori
$-10 \leq \text{SS-SINR} \leq 0$	Buruk
$1 \leq \text{SS-SINR} \leq 15$	Normal
$16 \leq \text{SS-SINR} \leq 30$	Baik