

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [2] membahas tentang perencanaan jaringan 5G *Stand Alone Inter-band Carrier Aggregation*. Penelitian ini memanfaatkan frekuensi 2300 MHz dan 3500 MHz dengan *software* perencanaan Mentum Planet. Tujuannya adalah untuk mengetahui kinerja metode *Carrier Aggregation* dalam perencanaan jaringan 5G NR. Perencanaan jaringan 5G dilakukan di lima lokasi di Kawasan Industri Marunda Center menggunakan metode non-CA dan CA. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *inter-band* CA dapat meningkatkan SS-RSRP, SS-SINR, dan kecepatan data, sehingga dapat disimpulkan bahwa CA dapat menyediakan *coverage area* yang lebih luas daripada non-CA, dan bahwa menggunakan CA dapat meningkatkan SS-SINR, sehingga CA 2300 MHz sebagai sel *primary* memiliki kinerja sinyal yang lebih baik. Jadi, metode *Aggregation Carrier* dapat memberikan kinerja 5G NR yang lebih baik jika diterapkan.

Penelitian [3] membahas tentang perencanaan jaringan 5G *New Radio* yang menggunakan frekuensi 26 GHz dengan luas wilayah 5 km². Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario *downlink* membutuhkan lebih banyak lokasi daripada skenario *uplink*. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa skenario NLOS (*Non-line of Sight*) membutuhkan lebih banyak lokasi daripada skenario LOS (*Line of Sight*).

Penelitian [4] membahas tentang perencanaan jaringan 5G *New Radio* dengan menggunakan frekuensi 28 GHz pada Kawasan Industri Pulogadung. Berdasarkan hasil simulasi yang telah didapatkan dari penelitian ini skenario *downlink* mempunyai *site* yang lebih banyak jika dibandingkan dengan skenario *uplink* dan Skenario N-LOS mempunyai lebih *site* yang lebih banyak jika dibandingkan dengan Skenario LOS.

Penelitian [14] membahas tentang perencanaan jaringan 5G yang menggunakan skenario *Stand Alone Inter-band* CA. Penelitian ini dilakukan di

wilayah Kelapa Gading, Jakarta Utara dengan menggunakan frekuensi 2300 MHz dan 3500 MHz. Hasil perancangan jaringan 5G SA menunjukkan bahwa skenario *Carrier Aggregation* (CA) pada frekuensi 2300 MHz dan 3500 MHz lebih baik daripada skenario non-CA pada frekuensi yang sama. Pada skenario CA, nilai SS-RSRP lebih tinggi dibandingkan dengan skenario non-CA, dengan nilai -89.7 dBm pada rentang yang baik dari -90 hingga 70 dBm. Nilai SS-SINR, sebesar 2.89 dBm, dianggap normal. Sebaliknya, skenario CA menunjukkan peningkatan *data rate* rata-rata sebesar 1253 Mbps dibandingkan dengan skenario non-CA.

Penelitian [15] membahas tentang perencanaan jaringan 5G *New Radio* dengan frekuensi 700 MHz dan 3500 MHz menggunakan metode *Carrier Aggregation*. Hasil perencanaan jaringan 5G ini, setiap *site* gNodeB pada frekuensi 700 MHz menghasilkan *cell radius* 1663.48 m dan *coverage area* 7.19 km² sedangkan pada frekuensi 3500 MHz, *cell radius* 754.37 m dan *coverage area* 1.47 km². Berdasarkan hasil simulasi dari penelitian ini frekuensi 700 MHz mempunyai cakupan area yang lebih luas jika dibandingkan dengan frekuensi 3500 MHz. Hasil simulasi pada setiap parameter menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode CA berpengaruh terhadap nilai dari SS-RSRP dan *Data Rate* namun metode CA tidak berdampak pada nilai SS-SINR.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Jaringan 5G *New Radio*

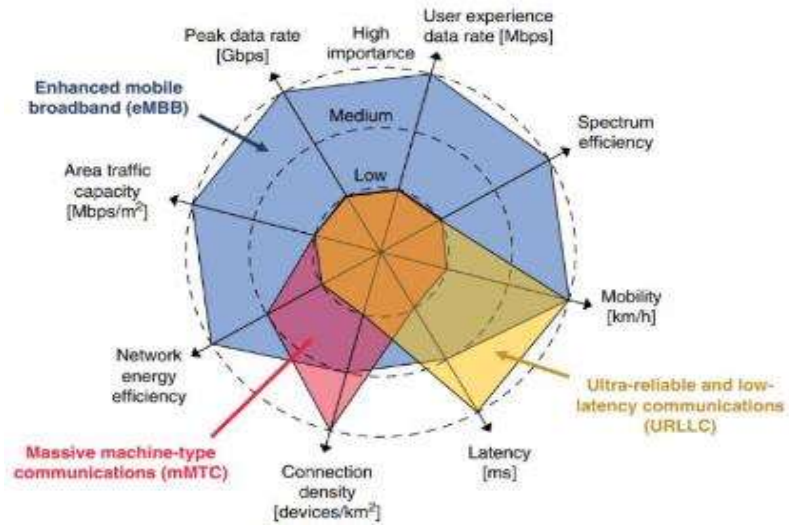
3GPP mengumumkan kepada ITU (*International Telecommunication Union*) spesifikasi pengembangan 5G pertama, "IMT untuk 2020 dan seterusnya". Teknologi 5G adalah teknologi ponsel generasi kelima yang didefinisikan oleh 3GPP setelah 4G LTE. Teknologi ini mendukung internet yang cepat, aman, dan andal. *New Radio* (NR) adalah teknologi akses radio (RAT) yang berasal dari generasi sebelumnya, 4G yang dikembangkan oleh 3GPP. Teknologi 5G NR memiliki tiga aplikasi utama: *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Massive Machine Type Communication* (mMTC), dan *Ultra Reliable and Low Latency Communication* (URLLC). Perkembangan jaringan 5G bersifat global yang mana jaringan 5G sudah ada, khususnya di Indonesia. Jaringan 5G berbeda dari jaringan yang ada sebelumnya dengan jaringan 5G akan melakukan peningkatan pada sisi

user experience dan meningkatkan kecepatan transformasi informasi data atau koneksi melalui internet menggunakan teknologi *mobile broadband*. Teknologi 5G selain memiliki kecepatan yang lebih tinggi dan mempunyai latensi yang rendah, teknologi 5G ini akan mendorong banyaknya *new user* walaupun hanya sebatas *use case connectivity* termasuk dalam kemampuan untuk menangani perangkat dalam jumlah besar. Oleh karena itu, jaringan 5G di Indonesia merupakan salah satu alternatif teknologi yang saat ini penerapannya sudah ada di Indonesia namun belum secara meluas, sehingga dengan berjalannya waktu harapannya jaringan 5G dapat diterapkan secara meluas di Indonesia.

Pada Tabel 2.1 menunjukkan persyaratan kinerja teknologi LTE *Advanced* dan 5G yang dilihat pada tabel di bawah ini:

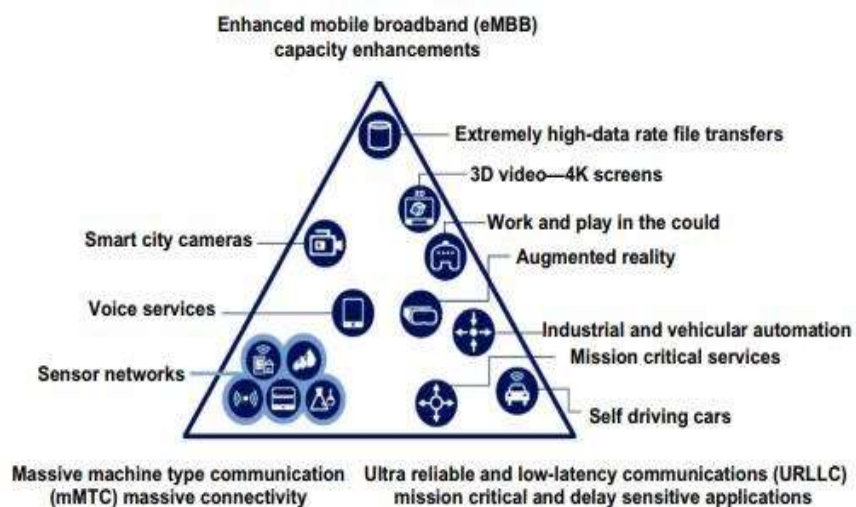
Tabel 2. 1 Persyaratan Kinerja Teknologi LTE *Advanced* dan 5G [1]

Parameter	LTE-Advanced	5G
<i>Peak Data rate</i>	500 Mbps (UL) 1000 Mbps (DL)	10 Gbps (UL) 20 Gbps (DL)
<i>Typical spectral efficiency</i>	0.7-2.25 bits s ⁻¹ Hz ⁻¹ (UL) 1.1-3 bits s ⁻¹ Hz ⁻¹ (DL)	1.6-6.75 bits s ⁻¹ Hz ⁻¹ (UL) 3.3-9 bits s ⁻¹ Hz ⁻¹ (DL)
<i>Energy efficiency</i>	n/a	Maximize
<i>Maximum UE speed</i>	350 km h ⁻¹	500 km h ⁻¹
<i>User Plan latency</i>	5 ms	0.5 ms
<i>User Plan reliability</i>	n/a	99.999%
<i>Maximum coupling loss</i>	n/a 164 dB	143 dB 164 dB
<i>Battery life</i>	10 yr	10-15 yr
<i>Connection density</i>	60 000 km h ⁻²	1 000 000 km h ⁻²



Gambar 2. 1 Persyaratan IMT 5G untuk tahun 2020 [15]

Gambar 2. 1 menunjukkan persyaratan dari sistem jaringan 5G berdasarkan kebutuhan dan *service* di masa mendatang pada teknologi 5G yang telah ditentukan oleh ITU-R [15]. Adapun standar dari spesifikasi jaringan 5G yaitu, kecepatan data sebesar 20 Gbps *Downlink* (DL) dan 10 Gbps *Uplink* (UL) sehingga mampu menawarkan internet dengan kecepatan internet yang lebih tinggi dari generasi sebelumnya. Kemudian, pengalaman dalam kecepatan data yang dialami pengguna yang secara umum pada IMT-2020 sebesar 100 Mbps. Kemudian spesifikasi 5G ini mempertimbangkan pada efisiensi spektrum, kapasitas trafik wilayah, mobilitas, latensi dan *network energy efficiency* sehingga hal tersebut merupakan spesifikasi 5G berdasarkan IMT 2020.



Gambar 2. 2 5G Skenario Penggunaan IMT tahun 2020 [19]

Pada Gambar 2. 2 menunjukkan bahwa pada teknologi 5G NR terdapat tiga kegunaan utama yang ditawarkan yaitu [2] :

1. *Enhanced Mobile Broadband*

eMBB merupakan layanan yang membutuhkan *data rates, traffic volumes*, dan *wide-area coverage*. *Bandwidth* data yang lebih besar diberikan oleh kasus penggunaan ini, yang membantu dalam pengembangan AR/VR, video streaming UltraHD, dan fitur lainnya.

2. *Massive Machine-Type Communication*

mMTC merupakan layanan yang dapat mendukung peningkatan implementasi *Internet of Things*. Layanan ini ditandai dengan berbagai perangkat yang tidak memerlukan konsumsi energi yang tinggi dan tidak mahal, seperti sensor, perangkat *wearable*, dan perangkat IoT lainnya.

3. *Ultra-Reliable and Low-Latency Communication*

URLLC merupakan layanan yang mendukung, medis jarak jauh, perlindungan publik, bantuan bencana, *traffic safety, factory automation* dan layanan kesehatan elektronik.

2.2.2 Arsitektur Jaringan 5G NR

Arsitektur dari Jaringan 5G *New Radio* terdapat dua macam arsitektur yang mendukung layanan jaringan 5G NR antara lain sebagai berikut ini:

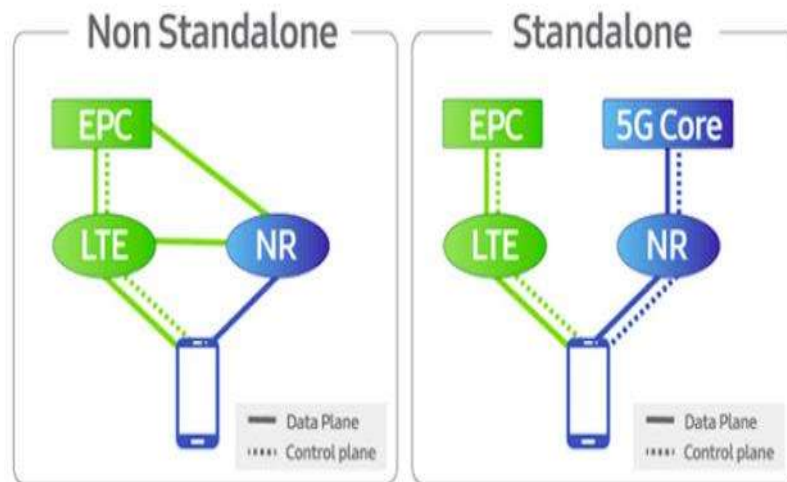
1. Arsitektur Jaringan SA

Jaringan SA atau *Stand Alone* adalah arsitektur dari jaringan 5G ideal untuk mencapai kecepatan data yang tinggi karena tidak membutuhkan jaringan 4G yang ada saat ini. Keuntungan *Stand Alone* (SA) termasuk pengoperasian yang lebih mudah dan efisien, dapat meminimalisir biaya perangkat, dapat meningkatkan *data rate* dan berperan dalam untuk pengembangan kasus dalam penggunaan jaringan nirkabel.

2. Arsitektur Jaringan NSA

Jaringan NSA atau yang dikenal dengan *Non-Stand Alone* merupakan jaringan yang didukung oleh jaringan 4G yang ada saat ini [2]. Pada jaringan NSA, sel radio NR menggabungkan dengan sel radio LTE

melalui konektivitas dua arah, yang bertujuan dalam akses radio dan *network core* [3].



Gambar 2. 3 Arsitektur NSA dan SA [16]

Pada Gambar 2. 3 merupakan Arsitektur NSA dan SA, dimana *Non standalone* (NSA) menggambarkan sel 5G *New Radio* yang berbasis EPC atau yang dikenal *Evolved Packet Core* yang masih didukung oleh jaringan 4G LTE, sehingga dalam arsitektur ini operator dapat menyebarluaskan sel 5G dan bergantung pada jaringan LTE yang ada untuk semua layanan kontrol dan layanan tambahan. Sedangkan 5G *Non-Standalone* merupakan arsitektur jaringan 5G yang didukung oleh infrastruktur 5G. Keuntungan pada *Standalone* (SA) adalah penyederhanaan dan peningkatan efisiensi yang akan menurunkan biaya dan dapat meningkatkan *throughput* [16].

2.2.3 Klasifikasi Spektrum Frekuensi Jaringan 5G

Teknologi 5G merupakan evolusi dari berbagai teknologi seluler yang sudah dikembangkan sejak lama. Namun, salah satu permasalahan utama dalam teknologi seluler 5G adalah ketersediaan dan utilisasi spektrum. memastikan layanan 5G dapat memenuhi harapan di masa depan dan memberikan seluruh potensi dan kemampuan teknologi ini, harmonisasi spektrum seluler baru diperlukan. Layanan 5G membutuhkan spektrum dalam tiga rentang frekuensi utama. Menurut *Global System for Mobile Communications Association* atau yang dikenal dengan GSMA dan ITU-R terdapat tiga klasifikasi spektrum jaringan 5G yang digunakan sebagai berikut ini [4] :

1. *Low Band* merupakan lapisan cakupan pita yang memiliki frekuensi rendah. *Low Band* memiliki spektrum di bawah 1 GHz adalah teknologi 5G menggunakan jaringan lama yaitu, jaringan 1G/2G/3G/4G yang digunakan dalam kebutuhan *coverage layer*. *Bandwidth* pada *Low Band* hingga mencapai 20 Mbps. Skenario penggunaan *Low Band* yaitu digunakan untuk mMTC, eMBB dan uRLLC.
2. *Mid Band* merupakan lapisan cakupan pita yang memiliki frekuensi yang medium. Spektrum antara 1 dan 6 GHz adalah yang terbaik untuk *coverage* dan *capacity*. *Bandwidth* pada *Mid Band* hingga mencapai 100 Mbps. Skenario penggunaan *Mid Band* yaitu digunakan untuk mMTC, eMBB dan uRLLC.
3. *High Band* merupakan lapisan cakupan pita yang memiliki frekuensi yang tinggi. Spektrum di atas 6 GHz memungkinkan *broadband* berkecepatan tinggi digunakan. *Bandwidth* pada *High Band* hingga mencapai 800 Mbps. Skenario penggunaan *High Band* yaitu digunakan untuk eMBB.

Spesifikasi 5G *New Radio* pertama yang dapat diterapkan telah disetujui oleh 3GPP TSG RAN pada tanggal 21 Desember 2017 [4]. Ini sesuai dengan rilis 15 3GPP pita frekuensi untuk 5G *New Radio*. Adapun spesifikasi untuk 5G terdapat pada frekuensi FR1 dan FR2 [5]. Spesifikasi *frequency range* untuk 5G NR ditunjukkan pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 *Range* Frekuensi 5G *New Radio* [5]

<i>Band</i>	<i>Frequency</i>	<i>Type</i>
FR1	450 MHz - 6000 MHz	Sub 6 GHz
FR2	24250 MHz – 52600 MHz	<i>mmWave</i>

Pita frekuensi dasar 5G *New Radio*, FR1 dan FR2 dikategorikan menjadi tiga *band*, yaitu sebagai berikut ini [5]:

1. *Frequency Division Duplex Bands (FDD)*
2. *Time Division Duplex Band (TDD)*
3. *Supplementary Band*
 - a. *Supplementary Band Downlink (SDL)*
 - b. *Supplementary Band Uplink (SUL)*

Tabel 2. 3 *Range frekuensi 5G New Radio FR1 [5]*

NR Band	Uplink (UL) Frequency	Downlink (DL) Frequency	Mode Dupleks
n1	1920 MHz -1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz -1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz -849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz - 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz - 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
n20	832 MHz - 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n25	1850 MHz -1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
n28	703 MHz - 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n34	2010 MHz - 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
n38	2570 MHz - 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n39	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
n40	2300 MHz - 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n41	2496 MHz - 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
n50	1432 MHz - 1517 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	TDD
n51	1427 MHz - 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n65	1920 MHz - 2010 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n66	1710 MHz - 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n70	1695 MHz - 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz - 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD
n75	N/A	1432 MHz – 1517 MHz	SDL
n76	N/A	1427 MHz – 1432 MHz	SDL
N77	3300 MHz - 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz - 3800 MHz	3300 MHz - 3800 MHz	TDD
n79	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD
n80	1710 MHz - 1785 MHz	N/A	SUL
n81	880 MHz - 915 MHz	N/A	SUL
n82	832 MHz - 862 MHz	N/A	SUL
n83	703 MHz - 748 MHz	N/A	SUL
n84	1920 MHz – 1980 MHz	N/A	SUL
n86	1710 MHz - 1780 MHz	N/A	SUL
n257	26500 MHz - 29500 MHz	26500 MHz - 29500 MHz	TDD
n258	24250 MHz - 27500 MHz	24250 MHz - 27500 MHz	TDD
n260	37000 MHz - 40000 MHz	37000 MHz - 40000 MHz	TDD
n261	27500 MHz - 28350 MHz	27500 MHz - 28350 MHz	TDD

Tabel 2. 3 menunjukkan FR1 *frequency range 5G New Radio* yang merupakan standar teknis 3GPP 38.101. Tabel 2. 3 mencantumkan pita frekuensi dan *bandwidth* yang telah ditentukan pada saluran standar 5G NR. Berdasarkan

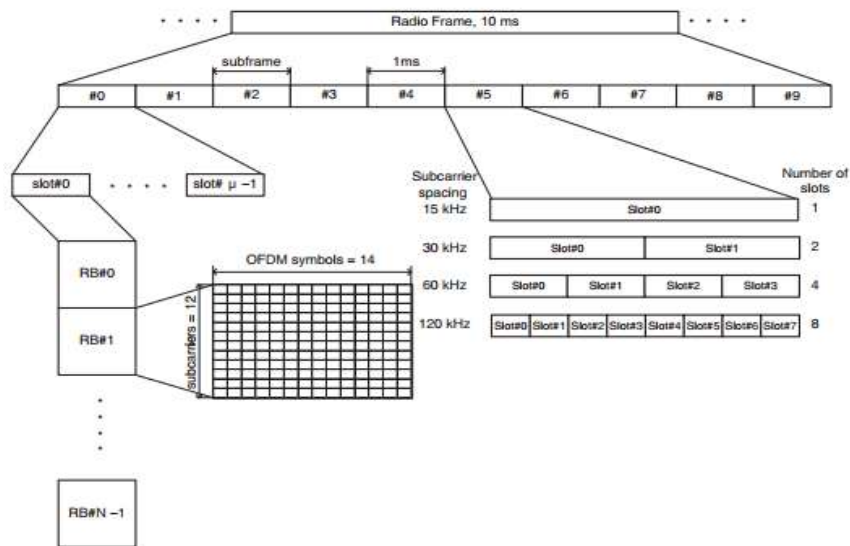
frequency range pada Tabel 2.3, penelitian ini menggunakan band 12 frekuensi 700 MHz dengan *duplex mode* yaitu FDD dan *band 78* frekuensi 3500 MHz dengan *duplex mode* TDD.

2.2.4 Numerology

Sama halnya dengan LTE, NR juga mendukung konsep *frame* dalam waktu (3GPP TS 38 211) [18]. Durasi *frame* adalah 10 ms terlepas dari SCS yang digunakan dan dibagi menjadi dua setengah *frame*, masing-masing dengan lima subframe. Setiap *subframe* selalu memiliki durasi 1 ms dan dibagi lagi menjadi satu atau beberapa slot tergantung pada parameter penskalaan *numerology*.

Tabel 2. 4 Numerology [18]

Numerology (μ)	Subcarrier spacing (kHz)	RB bandwidth (kHz)
0	15	180
1	30	360
2	60	720
3	120	1440
4	240	2880



Gambar 2. 4 Struktur *Frame* 5G New Radio [18]

Pada Tabel 2. 4 menunjukkan bahwa jaringan 5G menggunakan lima spasi *subcarrier* dan bersama dengan parameter terkait lainnya yang disebut dengan *numerology*, dan diidentifikasi oleh konfigurasi spasi *subcarrier* yang dilambangkan dengan huruf Yunani μ [18]. Pada penelitian ini penulis

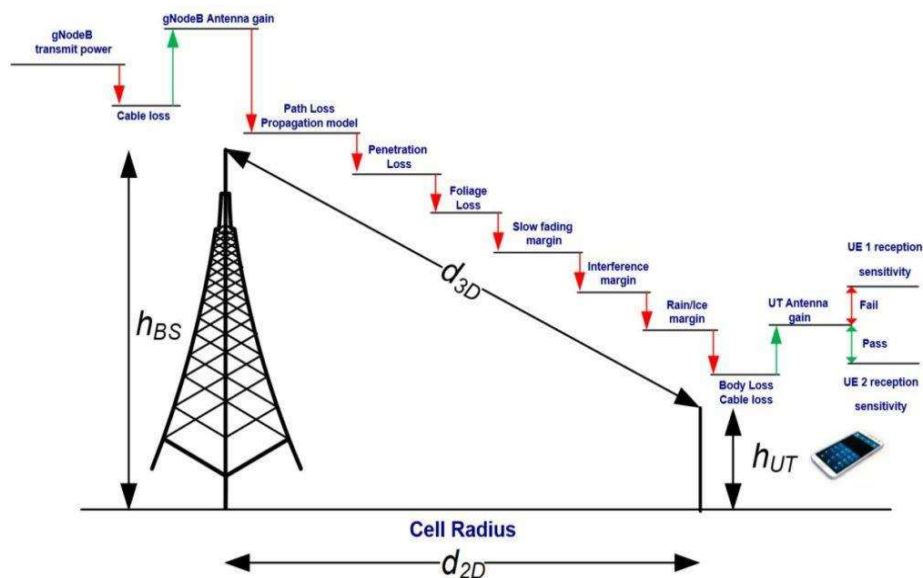
menggunakan *numerology 1* dengan *subcarrier spacing* sebesar 30 KHz dan RB *bandwidth* 360 kHz. Sehingga, untuk *band* 40 MHz menggunakan *resource block* sebesar 106 dan untuk *band* 100 MHz menggunakan *resource blok* sebesar 273.

2.2.5 Link Budget

Adapun tujuan dari perhitungan *link budget* pada teknologi 5G adalah untuk mengetahui tingkat signal (RxSL) yang diterima oleh penerima UE atau yang dikenal dengan *User Equipment* dengan cara menghitung nilai *pathloss* dan *gain total* dalam sistem perencanaan jaringan [6]. Terdapat dua jenis hal yang berpengaruh dalam nilai MAPL diantaranya yaitu sebagai berikut [7]:

1. Faktor yang pasti, merupakan faktor-faktor yang sudah ada dan pasti terjadi. Hal ini berkaitan dengan *power*, antena, *noise figure* dan lain sebagainya.
2. Faktor yang tidak pasti, merupakan faktor-faktor yang belum pasti terjadi namun perlu untuk dipertimbangkan. Hal ini berkaitan sebagai margin tautan.

Pada Gambar 2.5 merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi *Link budget* pada teknologi 5G yang terdiri dari beberapa parameter, sebagai berikut :



Gambar 2. 5 Faktor yang mempengaruhi *Link Budget* 5G NR

(Sumber : <https://www.telecomhall.net>)

Tujuan dari perhitungan *link budget* adalah untuk menghitung nilai MAPL antara *mobile antenna* dan *mobile station* antena baik di sisi *downlink* maupun *uplink*. Pada penelitian ini hanya berfokus kepada sisi *downlink*. Pada Tabel 2. 5

menunjukkan parameter *Link Budget* 5G NR yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut ini:

Tabel 2. 5 Parameter *Link Budget* 5G NR [5]

<i>Comment Parameter</i>	700 MHz	3500 MHz
<i>gNodeB Transmitter Power (dBm)</i>	49	49
<i>Resource block</i>	106	273
<i>Subcarrier quantity</i>	1272	3276
<i>gNodeB antenna gain (dBi)</i>	14.8	15.6
<i>gNodeB cable loss (dBi)</i>	0	0
<i>Penetration loss (dB)</i>	14.5	24.36
<i>Foliage loss (dB)</i>	18.5	8.5
<i>Body block loss (dB)</i>	3	3
<i>interference margin (dB)</i>	6	6
<i>Rain/ice margin (dB)</i>	0	0
<i>Slow fading margin (dB)</i>	5	7
<i>UT antenna gain (dB)</i>	0	0
<i>Boltzmann Constant (mWs/K)</i>	1.38×10^{-20}	1.38×10^{-20}
<i>Temperature (Kelvin)</i>	293°	293°
<i>Thermal noise power (dBm)</i>	-157.91	-153.93
<i>UT noise figure (dB)</i>	7	9
<i>Demodulation threshold SINR (dB)</i>	22.3	22.9
<i>Bandwidth (MHz)</i>	40	100
<i>Planning area (km²)</i>	97.5	97.5

Tabel 2. 5 merupakan parameter *link budget* dalam perencanaan jaringan 5G *New Radio* dalam penelitian ini dengan opsi frekuensi 700 MHz dan 3500 MHz. Adapun perhitungan *coverage* memperhitungkan nilai *loss* antara gNodeB dan perangkat UT. Oleh karena itu, diperlukan data *link budget* dari parameter-paramter yang digunakan oleh UT maupun gNodeB.

Persamaan (2.1) digunakan untuk menghitung nilai Thermal Noise sedangkan persamaan (2. 2) digunakan untuk menghitung *Subcarrier Quantity* pada *link budget*.

$$N_{\text{thermal}} = 10 \times \log (K \times T \times B) \quad (2. 1)$$

Keterangan :

N_{thermal} = *Thermal Noise*

K = *Konstanta Boltzmann* (1.38×10^{-20} mWs/K)

T = *Temperature* (293° K)

B = *Bandwidth*

$$S_{\text{cq}} = R_B \times S_{\text{RB}} \quad (2. 2)$$

Keterangan :

S_{cq} = *Subcarrier Quantity*

R_B = *Resource Block (RB)*

S_{RB} = *Subcarrier per Resource Block*

Tabel 2. 6 Jumlah *Resource Block* untuk *Band Medium Frekuensi* [6]

Bandwidth	Subcarrier Spacing (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

Pada Tabel 2. 6 menunjukkan jumlah dari *resource block* pada medium frekuensi untuk jaringan 5G. Perhitungan MAPL antara UE dan eNodeB dapat dilakukan dengan menggunakan perencanaan jaringan berdasarkan *coverage*. Hal Ini memungkinkan untuk mengetahui radius berapa perangkat dapat bekerja dengan baik untuk melayani pengguna. Perhitungan MAPL biasanya dapat dilakukan baik pada *uplink* maupun *downlink* [17].

$$\begin{aligned} \text{MAPL (dB)} = & g_{\text{NodeB Txpower}} \text{ (dBm)} - 10 \log_{10} (\text{Subcarrierquantity}) + g_{\text{NodeB}} \\ & \text{antenna gain (dBi)} - g_{\text{NodeB cable loss}} \text{ (dB)} - \text{penetration loss (dB)} - \text{foliage} \\ & \text{loss (dB)} - \text{body block loss (dB)} - \text{interference margin (dB)} - \text{Rain /ice margin} \\ & \text{(dB)} - \text{slow fading margin (dB)} + \text{UT antenna gain (dB)} - \text{Thermal noise power} \\ & \text{(dBm)} - \text{UT noise figure (dB)} - \text{Demodulation threshold SINR (dB)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

2.2.6 Propagasi Urban Macro

Menurut 3GPP 38.901, model propagasi UMa atau dikenal dengan *Urban Macro* digunakan pada *link budget* 5G New Radio yang digunakan pada daerah dengan populasi yang padat dengan jumlah sinyal yang diterima berasal dari kombinasi sinyal langsung dan tidak langsung [6]. Terdapat dua kondisi dalam skenario propagasi Model *Urban Macro* yaitu, saat kondisi *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS). Pada Tabel 2. 4 menunjukkan formula pada skenario propagasi *Urban Macro* sebagai berikut [17].

Persamaan berikut ini digunakan untuk mendapatkan skema *pathloss*, 3D-UMa LOS :

$$\text{Pathloss} = 22.0 \log (d_{3D}) + 28.0 + 20 \log (f_c) \quad (2.4)$$

$$\text{Pathloss} = 40 \log (d_{3D}) + 28.0 + 20 \log (f_c) - 9 \log ((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2) \quad (2.5)$$

Dimana nilai standar yang digunakan untuk rentang penerapan tinggi antena adalah [17]:

$$10 \text{ m} < (d_{2D} < d'_{BP}), d'_{BP} < (d_{2D} < 5000 \text{ m}), h_{BS} = 25 \text{ m}), 1.5 \text{ m} \leq h_{UT} \leq 22.5 \text{ m})$$

Namun, untuk Skema 3D-UMa NLOS, *pathloss* dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\text{PL} = \max (\text{PL}_{3D\text{-UMa-NLOS}}, \text{PL}_{3D\text{-UMa-LOS}}) \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} \text{PL}_{3D\text{-UMa-LOS}} = & 161.04 - 7.1 \log_{10} (W) + 7.5 \log_{10} (h) - (24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{BS}}\right)^2) \log_{10} \\ & (h_{BS}) + (43.42 - 3.1 \log_{10} (h_{BS})) - \log_{10} (d_{3D}) - 3 + 20 \log_{10} (f_c) - (3.2 (\log_{10} \\ & (17.625)^2 - 4.97) - 0.6 (h_{UT} - 1.5)) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Parameter standar yang digunakan untuk rentang penerapan tinggi antena yang digunakan adalah sebagai berikut [17]:

$$100 \text{ m} < d_{2D} < 5000 \text{ m}, h_{BS} = 25 \text{ m}, 1.5 \text{ m} \leq h_{UT} \leq 22.5 \text{ m}, W = 20 \text{ m}, h = 20 \text{ m}$$

Kemudian untuk nilai penerapan mulai dari $5 \text{ m} < sh < 50 \text{ m}$, $5 \text{ m} < W < 10 \text{ m}$, $h_{BS} < 150 \text{ m}$, $1.5 \text{ m}, h_{UT} < 22.5 \text{ m}$

Keterangan :

PL	=	Nilai <i>Pathloss</i> (dBm)
d_{2D}	=	<i>Cell Radius</i> (m)
d_{3D}	=	Resultan dari jarak antara h_{BS} dan h_{UT} (m)
d'_{BP}	=	<i>Distance break point</i> (m)
f_c	=	<i>Frequency</i> (GHz)
h_{BS}	=	<i>Node B Height</i> (m)
h_{UT}	=	<i>UT Height</i> (m)
H	=	Tinggi rata-rata bangunan (m)
W	=	Lebar jalan rata-rata (m)

Untuk mendapatkan nilai d_{3D} dari rumus *pathloss* di atas, maka nilai h'_{BS} , h'_{UT} , dan d'_{BP} harus dicari dahulu dengan menggunakan persamaan (2. 5), (2. 6) dan (2. 7) sebagai berikut ini [7]:

$$h'_{BS} = h_{BS} - h_E \quad (2.8)$$

$$h'_{UT} = h_{UT} - h_E \quad (2.9)$$

$$d'_{BP} = \frac{4 \times h'_{BS} \times h'_{UT} \times f_c}{c} \quad (2.10)$$

Keterangan :

d'_{BP}	=	<i>Distance break point</i> (m)
f_c	=	<i>Frequency</i> (GHz)
h_{BS}	=	<i>Node B Height</i> (m)
h_{UT}	=	<i>UT Height</i> (m)
C	=	Kecepatan Cahaya (3×10^8 m/s)
h'_{BS}	=	<i>GNodeB Height</i> (m)
h_E	=	<i>Height of Equipment</i> (m)

Setelah menghitung dari nilai h'_{BS} , h'_{UT} dan nilai d'_{BP} maka, nilai 3D-UMa LOS dapat didapatkan. Persamaan (4. 7), (4. 8), (4. 9), (4. 10) menunjukkan hasil dari perhitungan nilai h'_{BS} , h'_{UT} dan nilai d'_{BP} . Selanjutnya, penulis akan menentukan nilai dari *cell radius* d_{2D} pada perhitungan *link budget* untuk mengidentifikasi area yang dapat dicakup oleh satu *site* gNodeB. Selanjutnya, dihitung berapa banyak *site* yang diperlukan untuk suatu wilayah tersebut. Pada

penelitian ini penulis menggunakan area seluas 97.5 km² di wilayah Kawasan Industri Bekasi yang menjadi studi kasus dalam penelitian ini.

Tabel 2. 7 Parameter ketentuan model UMa [17]

Parameter		Ketentuan UMa
<i>Cell layout</i>		<i>Hexagonal grid, 19 micro sites, 3 sectors, per site (500 meter)</i>
<i>Antenna gNodeB Height (h_{BS})</i>		25 meter
Lokasi	<i>Outdoor/ Indoor</i>	<i>Outdoor dan Indoor</i>
User	<i>LOS/N-LOS</i>	LOS dan N-LOS
Terminal	<i>Height (h_{UT})</i>	1.5 – 22.5 meter
<i>UE Mobility (Horizontal plane only)</i>		3 km/h
<i>Distance minimum BS-UT</i>		35 meter
Skenario Penerapan		<i>Macro, suburban/urban/densely populated urban</i>

Tabel 2. 7 menunjukkan parameter dalam model propagasi *Urban Macro* yang digunakan dalam penelitian ini. Persamaan (2. 8) berikut ini dapat digunakan untuk menghitung hasil perhitungan *pathloss* (PL) dari model propagasi UMa yang telah mendapatkan hasil d_{3D} untuk menentukan radius *cell* d_{2D}

$$\text{Cell Radius atau } d_{2D} = \sqrt{(d_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2} \quad (2.11)$$

Area yang dapat dicakup dalam satu *site* gNodeB dapat dihitung dari *cell radius* ini dengan menggunakan persamaan (2. 9) berikut:

$$C_A = 2.6 \times (d_{2D})^2 \quad (2.12)$$

Keterangan :

C_A = Cakupan area dari *gNodeB* (m²)

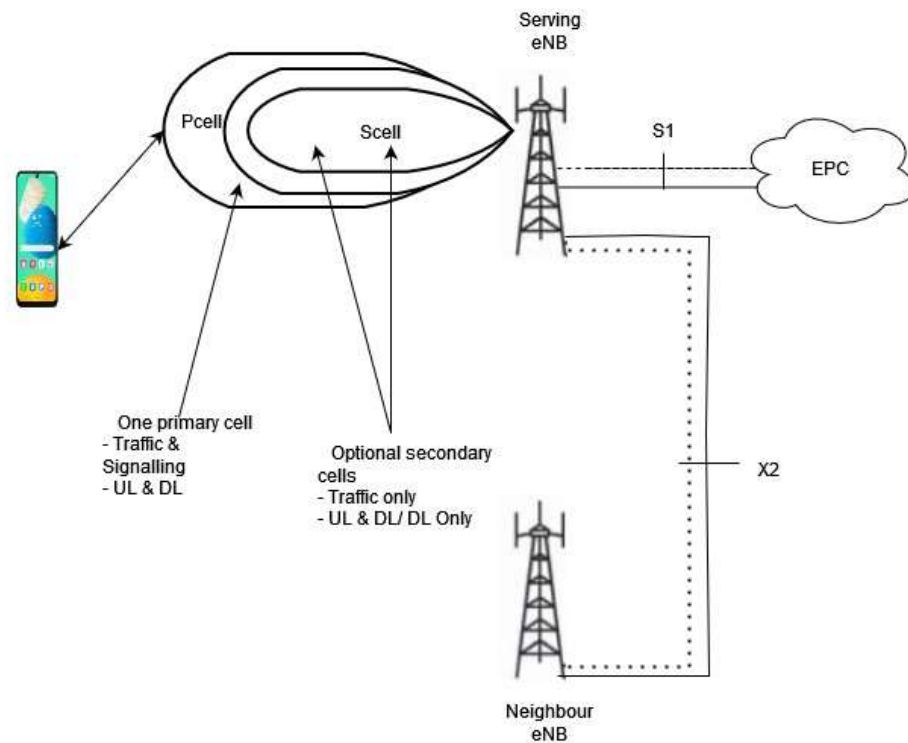
d_{2D} = *Cell Radius* (m)

Terakhir, persamaan (2. 10) digunakan untuk menentukan berapa banyak *gNodeB* atau *site* yang diperlukan dalam suatu wilayah perencanaan:

$$\text{Number of sites} = \frac{\text{Total Large of Area}}{\text{Size Coverage Area}} \quad (2.13)$$

2.2.7 Carrier Aggregation

Carrier Aggregation (CA) merupakan teknologi yang diperkenalkan pada LTE *release* 10. Teknologi ini digunakan untuk meningkatkan kapasitas data, *throughput* dan meningkatkan kinerja di *uplink*, *downlink* atau keduanya yaitu pemanfaatan spektrum yang efisien dengan menggabungkan dua atau lebih pembawa di pita frekuensi yang sama atau berbeda menjadi satu [1].



Gambar 2. 6 *Carrier Aggregation* [1]

Gambar 2. 6 menunjukkan bahwa sebuah telepon seluler membawa trafik pengguna dan sinyal melalui satu *primary cell*, beroperasi pada kedua sisi *uplink* dan *downlink* dan dapat memiliki satu atau lebih *secondary cell* yang membawa trafik dan dapat beroperasi hanya pada *downlink* atau keduanya. Cakupan terbaik dan komunikasi yang paling dapat diandalkan, sel induk telepon seluler memiliki frekuensi *carrier* yang lebih rendah daripada sel sekunder. Penyebaran dan kemampuan frekuensi berbeda. Operator dalam rentang frekuensi yang lebih tinggi biasanya memberikan *coverage* yang lebih luas. *Coverage* dipengaruhi oleh dua efek yaitu, frekuensi yang lebih rendah, maka panjang gelombang akan lebih besar, yang merambat lebih baik, dan menjangkau lebih dalam ruangan. Kedua, pita frekuensi yang lebih rendah biasanya digunakan dalam mode FDD (*Frequency*

Division Duplex), yang memiliki kekuatan sinyal *uplink* yang lebih tinggi dibandingkan dengan mode TDD (*Time Division Duplex*), yang hampir secara eksklusif digunakan untuk alokasi seluler diatas 2.5 GHz. Frekuensi *mid-band*, contohnya pada pita 3.5 GHz (atau n78 dalam terminologi 3GPP), yang dikenal dapat memberikan kombinasi *capacity* dan *coverage* yang baik. Dengan adanya CA memungkinkan *bandwidth* mempunyai transmisi yang lebih besar. 5G *Carrier Aggregation* diatur untuk memberikan peningkatan kinerja yang signifikan kepada pengguna seluler dengan meningkatkan pengalaman bagi pelanggan seluler di seluruh dunia. Seiring dengan berkembangnya teknologi, semakin banyak jaringan 5G *Standalone* yang lebih canggih akan menghadirkan kecepatan data dan *ultra-low latency* untuk mendukung aplikasi mutakhir [8]. Manfaat dari metode *carrier aggregation* adalah sebagai berikut [14] :

1. Meningkatkan kecepatan data maksimum.
2. Memberikan penggunaan spektrum yang lebih efisien dibandingkan dengan operator yang berdiri sendiri.
3. Meningkatkan jumlah *throughput* pengguna.
4. Mampu memberikan QoS pengguna yang lebih baik dan konsisten melalui penyeimbangan beban lintas frekuensi dan sistem.

2.2.8 Kelas CA pada *Band FR1*

Carrier Aggregation atau yang dikenal dengan CA dapat meningkatkan *bandwidth* dengan menggabungkan beberapa operator. Setiap CC (*Component Carrier*) menetapkan konfigurasi *band* transmisi maksimum, dan kelas *bandwidth* CA terdiri dari serangkaian huruf yang menunjukkan *bandwidth* minimum dan maksimum, serta nomor *Carrier Componets*. Kelas A sesuai dengan konfigurasi 5G-NR tanpa *carrier aggregation*. Maksimum *band carrier* 5G ($BW_{\text{channel, max}}$) tergantung pada jumlah *band* dan *numerology*. Definisi dari *Numerology* adalah *frequency spacing* (SCS) antara *Sub-Carrier Spacing*. Kelas B merupakan total *bandwidth* di antara 20 MHz dan 100 MHz dengan penggabungan dua kanal radio, kelas C adalah total *bandwidth* di antara 100 MHz dan 200 MHz dari penggabungan dua kanal radio dan kelas lainnya berlaku seterusnya. Pada Tabel 2. 8 menunjukkan kelas dari *carrier aggregation* pada band FR1, sebagai berikut ini :

Tabel 2. 8 Kelas *Carrier Aggregation* pada *band FR1* [18]

Kelas CA Bandwidth	Total Bandwidth	Number of CC
A	$BW_{\text{Channel}} \leq 1 \times BW_{\text{Channel, max}}$	1
B	$20 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 100 \text{ MHz}$	2
C	$100 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 2 \times BW_{\text{Channel, max}}$	2
D	$200 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 3 \times BW_{\text{Channel, max}}$	3
E	$300 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 4 \times BW_{\text{Channel, max}}$	4
G	$100 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 150 \text{ MHz}$	3
H	$150 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 200 \text{ MHz}$	4
I	$200 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 250 \text{ MHz}$	5
J	$250 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 300 \text{ MHz}$	6
K	$300 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 350 \text{ MHz}$	7
L	$350 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 400 \text{ MHz}$	8
M	$50 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 200 \text{ MHz}$	3
N	$80 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 300 \text{ MHz}$	4
O	$100 \text{ MHz} < BW_{\text{Channel_CA}} \leq 400 \text{ MHz}$	5

Tabel 2. 8 menunjukkan kelas dari *carrier aggregation* pada *band FR1*. Pada kelas A merupakan konfigurasi pada 5G NR tanpa menggunakan *carrier aggregation*. Kelas B merupakan total *bandwidth* menggunakan *carier agreggation* dengan total *bandwidth* diantara 20 MHz dan 100 MHz dari pengabungan dua kanal dan berlaku seterusnya pada masing-masing kelas. Pada penelitian ini penulis menggunakan kelas C yaitu total *bandwidth* diantara 100 MHz dan 200 MHz.

2.2.9 Coverage Planning

Perencanaan *Coverage* adalah proses membangun jaringan di suatu area tertentu dengan tujuan menentukan jumlah lokasi yang sesuai dengan luas area tersebut. Area akan dibagi menjadi empat, yaitu:

1. *Rural* adalah area terbuka dan pedesaan dengan sedikit halangan. Daerahnya terdiri dari persawahan dan padang rumput, dan tidak banyak orang yang tinggal di sana.
2. *Sub urban* adalah area yang memiliki area cakupan yang lebih baik karena berada di pinggiran perkotaan dan memiliki tingkat halangan yang lebih rendah daripada di kota.
3. *Urban* adalah area dengan kepadatan penduduk yang lebih rendah daripada wilayah perkotaan yang padat.

4. *Dense urban* adalah area dengan kepadatan penduduk yang sangat tinggi, dengan banyak gedung, perkantoran, dan area industri yang berkembang [11].

2.2.10 Paramater RF

Parameter RF digunakan untuk menentukan performansi suatu jaringan. Berikut ini merupakan parameter-parameter RF dalam 5G NR yang dianalisis antara lain yaitu sebagai berikut ini :

1. *Synchronization Signal - Reference Signal Received Power*

SS-RSRP adalah jumlah daya rata-rata dalam satuan *watt* dalam waktu keseluruhan yang diukur pada perangkat pengguna dari *Synchronization Signal* yang diberikan oleh sel pengirim. Tabel 2. 9 menunjukkan rentang nilai dari SS-RSRP sebagai berikut ini:

Tabel 2. 9 SS-RSRP Range [18]

Range SS-RSRP (dBm)	Kategori	Warna
$-115 \leq \text{SS-RSRP} < -110$	Sangat Jelek	
$-110 \leq \text{SS-RSRP} < -105$	Jelek	
$-105 \leq \text{SS-RSRP} < -100$	Cukup	
$-100 \leq \text{SS-RSRP} < -95$	Normal	
$-95 \leq \text{SS-RSRP} < -90$	Baik	
$-90 \leq \text{SS-RSRP} < -85$	Sangat Baik	
$\text{SS-RSRP} \geq -85$	Baik Sekali	

2. *Synchronization Signal - Signal to Noise and Interference Ratio*

SS-SINR adalah daya kontribusi rata-rata linear dari elemen yang membawa SS sekunder dalam satuan *watt* dibagi dengan daya kontribusi rata-rata linear dari *noise* dan interferensi dari daya kontribusi dari elemen yang membawa SS sekunder ke dalam *bandwidth* dengan frekuensi sama. Pada Tabel 2. 10 menunjukkan rentang nilai dari SS-SINR sebagai berikut ini:

Tabel 2. 10 SS-SINR Range [18]

Range SS-SINR (dB)	Kategori	Warna
$SS-SINR \leq -10$	Sangat Jelek	Red
$-10 \leq SS-SINR \leq 0$	Jelek	Orange
$0 \leq SS-SINR \leq 15$	Normal	Yellow
$15 \leq SS-SINR \leq 30$	Baik	Green
$SS-SINR \geq 30$	Sangat Baik	Blue

3. Data Rate

Data Rate (kecepatan data) merupakan ukuran yang menunjukkan bit dalam data dalam proses transmisi. Persamaan 2. 11 berikut ini digunakan untuk menghitung perkiraan laju data untuk jumlah *carrier* pembawa tertentu dalam *bandwidth* tertentu dalam 5G *New Radio*:

$$Data\ Rate = 10^{-6} \sum_{j=1}^j \left(V_{Layers}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{max} \frac{N_{PRB}^{BW(j)\mu}}{T_s^\mu} \cdot (1 - OH^{(j)}) \right) \quad (2.11)$$

Keterangan:

- J = Jumlah komponen *carrier* yang digabungkan
- Rmax = 948/1024
- $V_{Layers}^{(j)}$ = Maksimal jumlah lapisan MIMO
- $Q_m^{(j)}$ = Modulasi *Order*
- $f^{(j)}$ = *Scaling factor*, dengan nilai 1, 0, 8, 0.75, dan 0,4
- μ = *Numerology*
- T_s^μ = Durasi rata-rata simbol dan *subframe* OFDM
- $N_{PRB}^{BW(j)\mu}$ = Alokasi *bandwidth* tertinggi
- $OH^{(j)}$ = *Overhead* untuk kanal kontrol
- BW = *Bandwidth*

Perhitungan *Data Rate* dapat dilihat pada Tabel 4. 1 untuk masing-masing frekuensi dengan Skenario 1, 2 dan 3 dari penelitian ini.