

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 KAJIAN PUSTAKA**

Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Asri Wulandari dan Alfin Hikmaturokhman pada tahun 2021, membahas *5G Stand Alone Inter-Band Carrier Aggregation Planning in Kelapa Gading Jakarta Utara*. Dari hasil yang didapatkan bahwa teknik *Carrier Aggregation* pada 5G SA di 14 *site* pada 2300 MHz dan 3500 MHz memiliki kinerja yang lebih baik dari teknik *non Carrier Aggregation* pada frekuensi yang sama. Hasil dari perencanaan yang didapatkan bahwa skenario *Carrier Aggregation* memiliki nilai terbaik dengan hasil SS-RSRP sebesar -89,67 dBm yang masuk dalam kategori "Baik", sedangkan hasil dari rata-rata SS-SINR sebesar 2,89 masuk dalam kategori "Normal". Hasil perhitungan sistem *data rate* menunjukkan bahwa skenario *Carrier Aggregation* memiliki *data rate* yang lebih baik daripada skenario *non Carrier Aggregation* dengan rata-rata kenaikan *data rate* sebesar 1353 Mbps Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain dengan skenario downlink membutuhkan lebih banyak *site* untuk memenuhi layanan area daripada skenario uplink karena dipengaruhi oleh parameter link budget, yaitu nilai interference margin downlink yang lebih besar daripada interference margin uplink; Dari semua parameter skenario SS-RSRP yang diamati, skenario 1 (downlink-O2O-LOS) memiliki SS-RSRP rata-rata tertinggi yaitu -92 95 dBm dan rata-rata SS-RSRP terendah dihasilkan dari skenario 2 (uplink-O2O-LOS) yaitu sebesar -97,16 dBm. Nilai rata-rata SS-RSRP dipengaruhi oleh jumlah *site* yang mencakup wilayah perencanaan sehingga skenario 1 memiliki parameter SS-RSRP yang paling tinggi. [7].

Dalam suatu penelitian yang dilakukan oleh Toto Supriyanto dan Lusi Damayanti pada tahun 2021, dibahas mengenai "Perancangan Skenario *Non StandAlone* (NSA) Jaringan 5G untuk Menunjang Revolusi Industri 4.0". Penelitian ini mengevaluasi dua skenario menggunakan metode *E-UTRA-NR Dual Connectivity* (ENDC). Pada skenario pertama, eNodeB LTE beroperasi pada frekuensi *band 3* (1800 MHz) dengan *bandwidth* 20 MHz, sedangkan 5G NR

beroperasi pada frekuensi B28 (700 MHz) dengan *bandwidth* 15 MHz. Pada skenario kedua, eNodeB LTE beroperasi pada frekuensi *band* 1 (2100 MHz) dengan *bandwidth* 15 MHz, dan 5G NR beroperasi pada frekuensi B28 (700 MHz) dengan *bandwidth* 15 MHz. Hasil dari perencanaan RF pada kedua skenario menunjukkan nilai *Reference Signal Received Power* (RSRP) sebesar -94,26 dBm dan -94,37 dBm, yang termasuk dalam kategori baik. Sedangkan nilai *Signal-to-Interference and Noise Ratio* (SINR) adalah 2,96 dan 3,02, yang termasuk dalam kategori normal. Selanjutnya, dilakukan perhitungan *data rate* sistem pada kedua skenario. Hasilnya menunjukkan bahwa skenario 1 memiliki nilai *data rate* yang lebih baik dibandingkan skenario 2, dengan selisih sebesar 7,43% pada *subcarrier spacing* 15 kHz dan selisih sebesar 9,9% pada *subcarrier spacing* 30 kHz [8].

Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Putu Gandi Mitha Wijaya pada tahun 2018, membahas mengenai Perencanaan Jaringan Pada Frekuensi 2300 Mhz Di Stadion Si Jalak Harupat. Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan perambatan sinyal menggunakan model propagasi COST-231 Multiwall, dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak RPS 4.5. Terdapat 4 *site* yang ditempatkan dalam dua skenario yang berbeda. Pada skenario 1, diperoleh nilai RSRP untuk keseluruhan area sebesar -72,83 dBm dan nilai SIR sebesar 9,08 dB. Sedangkan pada skenario 2, nilai RSRP untuk keseluruhan area adalah -72,18 dBm dan nilai SIR adalah 10,79 dB. Kedua skenario memenuhi ketentuan KPI yang ditentukan untuk nilai parameter RSRP dan SINR. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario 2 merupakan pilihan terbaik untuk diterapkan karena penempatan *site* pada skenario ini berada di antara tribun, yang memungkinkan satu *site* melayani pengguna dari lebih dari satu tribun. Hal ini menunjukkan bahwa skenario 2 dapat memberikan layanan dengan kualitas terbaik dan lebih efisien dalam memberikan cakupan kepada pengguna [9].

Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Albena Mihovska, Nidhi dan Ramjee Prasad pada tahun 2020, membahas mengenai *Overview 5G New Radio dan Carrier Aggregation: 5G dan Beyond Network*. Hal ini telah mempercepat kegiatan penelitian dan inovasi menuju jaringan 5G dan seterusnya. Tujuan dari pekerjaan yang disajikan adalah untuk memberikan urgensi situasi

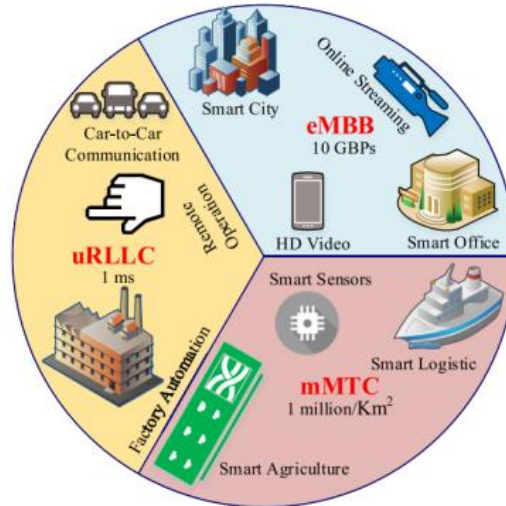
dan menyatakan pengembangan dengan 5G NR (*New Radio*). Ini meningkatkan kapasitas data dengan menggabungkan operator dari pita spektrum yang sama/berbeda. Rilis 10 memperkenalkan agregasi operator dan dalam *LTE-Advance*, hingga lima komponen operator dapat digabungkan tetapi solusi komersial menggunakan hingga tiga operator komponen yang menyediakan *downlink* maksimum kecepatan downlink maksimum hingga 450Mbps. Dari hasil yang didapatkan bahwa *Carrier Aggregation* (CA) merupakan teknologi yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi spektrum dalam jaringan seluler dengan memanfaatkan sumber daya frekuensi yang terpecah-pecah. Dengan peningkatan terbaru dalam rilis 3GPP 16 dan 17, *Carrier Aggregation* telah menjadi teknologi penting untuk jaringan yang akan datang. Peningkatan terbaru dalam spesifikasi 5G memungkinkan CA untuk menggabungkan hingga 16 operator komponen, menghasilkan *bandwidth* hingga 1GHz. CA adalah solusi untuk kelangkaan spektrum yang tersedia dan memiliki tantangan implementasi yang menantang. Implementasi CA akan menjadi sumber daya yang tersedia secara efisien [10].

## **2.2 DASAR TEORI**

### **2.2.1 Jaringan 5G *New Radio* (NR)**

Evolusi 5G NR (*New Radio*) memiliki berkembang pesat sejak 3GPP ke menstandarisasi rilis NR pertama (*release 15*) pada pertengahan 2018. Jaringan 5G *New Radio* (NR) merupakan hasil dari pengembangan dan standar yang ditetapkan oleh *International Mobile Telecommunications-2020* (IMT 2020). Ini adalah kumpulan spesifikasi dan standar untuk jaringan seluler generasi kelima (5G) yang ditargetkan selesai pada tahun 2020. Jaringan 5G terdiri dari beberapa komponen utama, salah satu komponen penting dari ini adalah perluasan ke frekuensi pembawa yang lebih tinggi, juga dikenal sebagai spektrum gelombang milimeter (mmWave). Perluasan diperlukan karena meningkatnya permintaan untuk lebih banyak trafik dan kecepatan data pengguna yang lebih tinggi, yang membutuhkan lebih banyak spektrum untuk mendukungnya. Komponen penting lainnya dari jaringan 5G adalah penggunaan skema modulasi dan pengkodean yang lebih maju, dapat meningkatkan kecepatan data dan jaringan [11]. Untuk mendukung berbagai kegunaan dan aplikasi, dikembangkan 5G. Penggunaan dan

penerapan teknologi 5G dapat dipisahkan menjadi tiga skenario utama, yang masing-masing menggunakannya untuk membantu berbagai jenis sektor dan secara tidak langsung berdampak pada perekonomian dan kehidupan masyarakat [12].



**Gambar 2.1 Skenario pada layanan 5G [12].**

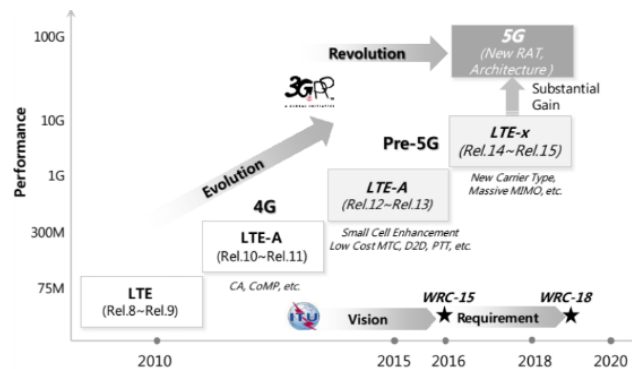
Pada Gambar 2.1 Seluruh penggunaan dan aplikasi pada teknologi 5G dapat dikelompokkan menjadi tiga sekenario utama yaitu :

1. *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB): Merupakan skenario penggunaan untuk layanan komunikasi data dan multimedia. Dalam skenario ini, jaringan 5G menyediakan koneksi yang lebih cepat dan stabil untuk penggunaan seperti streaming video berkualitas tinggi, bermain game online, dan mengunduh file berukuran besar.
2. *Ultra Reliable and Low Latency Communications* (URLLC): Terkait dengan aplikasi yang memerlukan kinerja jaringan yang sangat andal dan responsif terhadap waktu (*latency*) yang sangat rendah. Contoh penggunaannya adalah pada sistem keamanan transportasi yang memerlukan koneksi yang sangat stabil dan responsif dalam situasi darurat, operasi bedah jarak jauh yang membutuhkan transmisi data yang cepat dan tepat waktu, serta sistem kontrol industri manufaktur yang mengandalkan koneksi yang dapat diandalkan dan bebas dari gangguan.
3. *Massive Machine Type Communications* (mMTC): Digunakan pada aplikasi yang melibatkan banyak perangkat yang terhubung ke internet dan mengirimkan data dalam jumlah besar. Biasanya, data yang dikirimkan

dalam skenario ini memiliki ukuran kecil dan tidak terlalu sensitif terhadap keterlambatan. Contohnya adalah alat monitor cuaca dan alat *monitoring* pertanian yang menggunakan sensor untuk memantau kondisi tanah atau lingkungan dengan mengirimkan data ke server pusat secara terus-menerus [12].

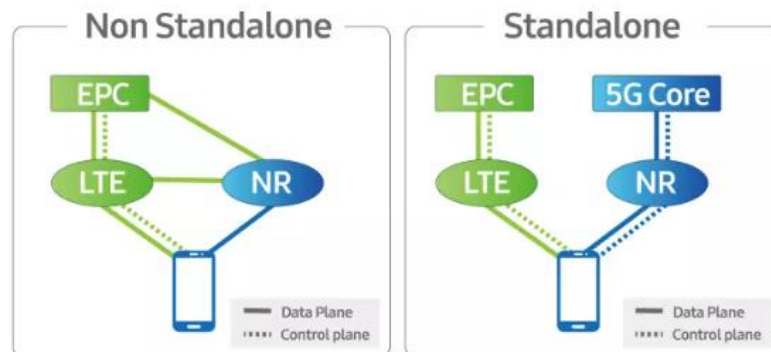
### 2.2.2 Arsitektur Jaringan 5G

Teknologi 4G menjadi 5G tidak seperti pengembangan teknologi-teknologi sebelumnya, dapat dilihat pada Gambar 2.2 infrastruktur teknologi 5G dapat diterapkan di jaringan 4G dengan cara menumpang ke arsitektur 4G butuh waktu satu dekade untuk bermigrasi [13].



**Gambar 2.2 Migrasi 4G to 5G [13].**

Evolusi tersebut dapat berupa dua model yang merupakan perkembangan *Non-Standalone* (NSA) dan *Standalone* (SA) dua solusi yang ditentukan oleh 3GPP untuk jaringan 5G di Rilis 15 yang terdapat pada Gambar 2.3 [13]. 5G *Non-Standalone* (NSA) perangkat generasi 5G akan terus menggunakan jaringan inti 4G sambil menyambungkan ke spektrum frekuensi 5G untuk mendapatkan *throughput* data yang lebih cepat [14].



**Gambar 2.3 Arsitektur 5G NSA dan SA [14].**

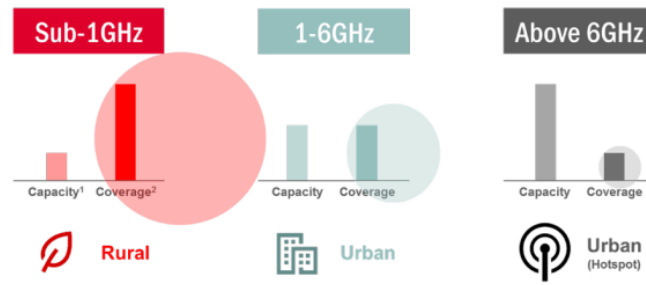
Pada jaringan 5G *Standalone* (SA) tidak lagi menggunakan jaringan inti dari 4G dan mendukung 5G yang akan terhubung ke frekuensi radio 5G untuk mendapatkan *throughput* data yang lebih cepat dan sudah terkoneksi ke jaringan core 5G. Keuntungan *Standalone* (SA) adalah kecepatan yang lebih tinggi dan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan arsitektur NSA seperti pada tabel 2.1 [14].

**Tabel 2.1 Perbedaan Jaringan *Stand Alone* dan *Non-Stand Alone* [15].**

Perbedaan		<i>Stand Alone</i>	<i>Non-Stand Alone</i>
<i>Spectrum Availability</i>	Sub-6	<i>Coverage</i> jaringan terbaik	<i>Coverage</i> terbaik tergantung pada jaringan LTE
	mmWave <i>Band</i>	Dapat bekerja dengan <i>Stand Alone</i> dengan menggunakan berbasis <i>hotspot</i>	Diperlukan untuk penyebaran jaringan <i>hotspot</i>
<i>Service Offering</i>		Mencakup semua pengguna termasuk eMBB dan yang lainnya tergantung URLLC dan mMTC	Hanya mendukung penggunaan eMBB
<i>Network KP</i>	<i>Data Rate</i> (DL/UL)	20 Gbps/10 Gbps	
	<i>Latency</i>	1 ms	4 ms

### 2.2.3 Spektrum Frekuensi 5G

Kebutuhan 5G akan spektrum frekuensi merupakan salah satu hal yang fundamental, GSMA organisasi perdagangan global yang mewakili operator seluler, merekomendasikan agar regulator dan lembaga pemerintah yang mengontrol alokasi spektrum 5G menyediakan spektrum *Low-Band*, *Mid-band*, dan *High band* seperti Gambar 2.4, dimana masing-masing lebih cocok untuk skenario penggelaran 5G yang berbeda-beda [16].



**Gambar 2.4 Kategori Spektrum Jaringan 5G [17].**

**A. Low Band (Sub 1GHz)**

Pita Sub 1 GHz cocok digunakan pada wilayah Urban, Sub Urban, dan Rural karena sifat propagasi sinyal pada frekuensi 5G dibawah 1GHz dapat mencakup area yang luas.

**B. Mid Band (Sub 6GHz)**

Frekuensi *Middle Band* dapat di implementasikan pada jaringan operator 5G *New Radio* (NR), karena memiliki kelebihan dari sisi cakupan dan kapasitas dalam mencakup area yang dimana memiliki rentang frekuensi 3,5 GHz dan 2,6 GHz.

**C. High Band (Sub >6GHz)**

Pada pita Sub diatas 6 GHz ini penerapan dari *Ultra-High Broadband Speed*. Spektrum-spektrum pada kategori ini dapat menyediakan kanal yang sangat lebar. Frekuensi pada rentang 28 GHz dan 26 GHz ini dapat dialokasikan untuk komunikasi seluler dan skenario aplikasi eMBB[17].

Pada jaringan 5G *New Radio* (NR) telah dikembangkan untuk beroperasi di dua pita berbeda seperti Tabel 2.2; Sub-6 GHz (3GPP 38.104-5.2.1 FR1), dan mmWave (3GPP)

**Tabel 2.2 Spesifikasi *frequency ranges* 5G *New Radio* (NR).**

<i>Band</i>	<i>Frequency</i>	<i>Type</i>
FR1	410 to 7125 MHz	Sub-6 GHz
FR2	24250 to 52600 MHz	mmWave

Pada Tabel 2.3 berisikan daftar pita 5G *New Radio* (NR) yang di rilis oleh 3GPP 38.104 (Maret 2019). FR1 dan FR2 adalah klasifikasi pita frekuensi dasar

untuk 5G *New Radio* (NR). Ini dapat diklasifikasikan lebih lanjut menjadi tiga *band* :

1. *Frequency Division Duplex* (FDD)
2. *Time Division Duplexing* (TDD)
3. *Supplementary Downlink* (SDL) & *Supplementary Uplink* (SUL).

**Tabel 2.3 Pita Frekuensi 5G *New Radio* (NR).**

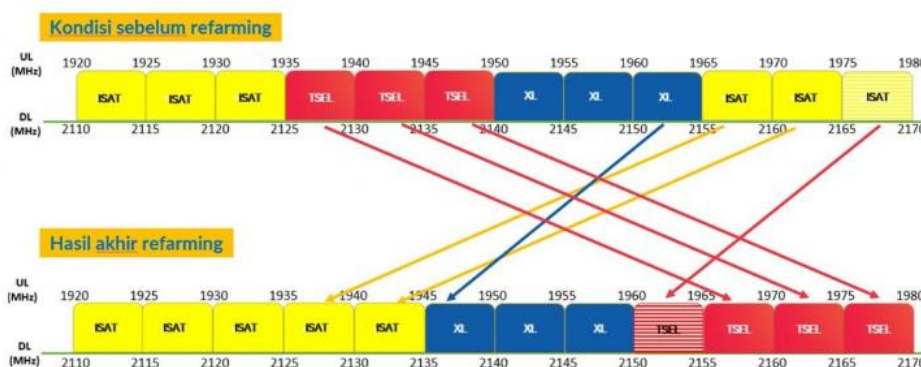
<i>Band</i>	<i>Duplex Mode</i>	<i>Uplink Frequency</i>	<i>Downlink Frequency</i>
n1	FDD	1920 - 1989 MHz	2110 - 2170 MHz
n2	FDD	1850 - 1910 MHz	1930 - 1990 MHz
n3	FDD	1710 - 1785 MHz	1805 - 1880 MHz
n5	FDD	824 - 849 MHz	869 - 894 MHz
n7	FDD	2500 - 2670 MHz	2620 - 2690 MHz
n8	FDD	880 - 915 MHz	925 - 960 MHz
n12	FDD	699 - 716 MHz	729 - 746 MHz
n20	FDD	832 - 862 MHz	791 - 821 MHz
n25	FDD	1850 - 1915 MHz	1930 - 1995 MHz
n28	FDD	703 - 748 MHz	758 - 803 MHz
n34	TDD	2010 - 2025 MHz	2010 - 2025 MHz
n38	TDD	2570 - 2620 MHz	2570 - 2620 MHz
n39	TDD	1880 - 1920 MHz	1880 - 1920 MHz
n40	TDD	2300 - 2400 MHz	2300 - 2400 MHz
n41	TDD	2496 - 2690 MHz	2496 - 2690 MHz
n50	TDD	1432 - 1517 MHz	1432 - 1517 MHz
n51	TDD	1427 - 1432 MHz	1427 - 1432 MHz
n65	FDD	1920 - 2010 MHz	2110 - 2200 MHz
n66	FDD	1710 - 1780 MHz	2110 - 2200 MHz
n70	FDD	1695 - 1710 MHz	1995 - 2020 MHz
n71	FDD	663 - 698 MHz	617 - 652 MHz
n74	FDD	1427 - 1470 MHz	1475 - 1518 MHz
n75	SDL	1432 - 1517 MHz	1432 - 1517 MHz
n76	SDL	1427 - 1432 MHz	1427 - 1432 MHz



<i>Band</i>	<i>Duplex Mode</i>	<i>Uplink Frequency</i>	<i>Downlink Frequency</i>
n77	TDD	3300 - 4200 MHz	3300 - 4200 MHz
n78	TDD	3300 - 3800 MHz	3300 - 3800 MHz
n79	TDD	4400 - 5000 MHz	4400 - 5000 MHz
n80	SUL	1710 - 1785 MHz	1710 - 1785 MHz
n81	SUL	880 - 915 MHz	880 - 915 MHz
n82	SUL	832 - 862 MHz	832 - 862 MHz
n83	SUL	703 - 748 MHz	703 - 748 MHz
n84	SUL	1920 - 1980 MHz	1920 - 1980 MHz
n86	SUL	1710 - 1780 MHz	1710 - 1780 MHz
n257	TDD	26500 - 29500 MHz	26500 - 29500 MHz
n258	TDD	24250 - 27500 MHz	24250 - 27500 MHz
n260	TDD	37000 - 40000 MHz	37000 - 40000 MHz
n261	TDD	275000 - 28350 MHz	275000 - 28350 MHz

#### 2.2.4 Kondisi Spektrum 2100 MHz Di Indonesia

Kondisi penetapan pita yang berdampingan (*contiguous*) pada pita frekuensi radio 2100 MHz akan perbaikan kualitas layanan yang dapat dinikmati oleh pelanggan, baik itu layanan 4G maupun 5G terlebih pita frekuensi radio 2,1 GHz merupakan salah satu *capacity band* dengan *bandwidth* yang lebar [18]. Terdapat 5 operator yang menggunakan frekuensi ini dengan masing-masing memiliki lebar pita 10 MHz atau 2 blok alokasi frekuensi.

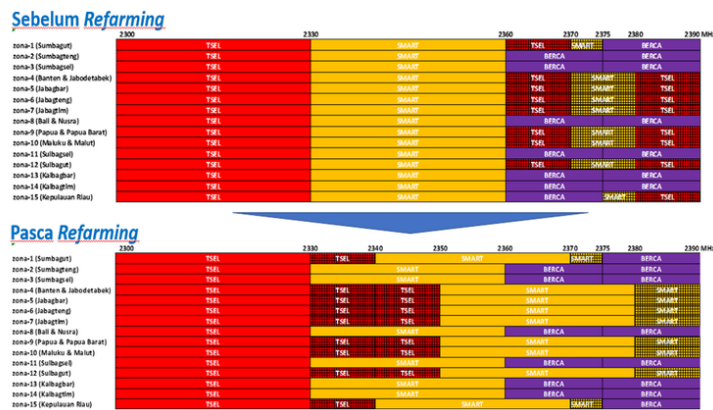


**Gambar 2.5 Kondisi Penggunaan Pita Frekuensi Radio 2,1 GHz Sebelum dan Setelah Refarming [18].**

Pada Gambar 2.5 pasca dilakukannya penataan ulang frekuensi 2100 MHz, Hutchison 3 Indonesia (H3I) pengelola penyedia layanan telekomunikasi selular Tri (3) yang telah memenangkan seleksi tambahan frekuensi 5 Mhz akan menempati kanal 1; 2; dan 3, pada 1 Mei 2018. Tambahan 5 Mhz di frekuensi 2100 Mhz akan memberikan pengalaman berinternet yang lebih baik khususnya di daerah yang padat trafik datanya. Dengan penambahan ini diyakini dapat menambah kapasitas dan atau kecepatan layanan 4G LTE hingga 50 persen[19].

### 2.2.5 Kondisi Spektrum 2300 MHz Di Indonesia

Kementerian Komunikasi dan Informatika tengah melakukan upaya dalam memulai proses penataan ulang (*Refarming*) spektrum frekuensi radio pada rentang frekuensi 2,3 GHz. Langkah penataan ini diambil dengan tujuan utama untuk meningkatkan kualitas layanan telekomunikasi melalui optimalisasi pemanfaatan spektrum frekuensi radio yang tersedia. Lebih khusus lagi, adanya perbaikan dalam kondisi alokasi pita frekuensi radio yang berdekatan (*contiguous*) di pita 2,3 GHz diyakini akan menghasilkan sejumlah keuntungan dan manfaat signifikan bagi masyarakat dan para pelaku usaha yang menggunakan layanan seluler. [20].



**Gambar 2.6 Kondisi Penggunaan Pita Frekuensi Radio 2,3 GHz Sebelum dan Setelah Refarming [20].**

Pada Gambar 2.6 Penataan spektrum frekuensi radio pada pita frekuensi radio 2,3 GHz dilakukan sebagai tindak lanjut atas persetujuan pengalihan hak penggunaan dari PT Berca Hardayaperkasa saat ini memiliki 30 MHz di pita 2300 MHz kepada PT Telekomunikasi Selular (Telkomsel) dan PT Smartfren Telecom

Tbk. (FREN) makin kokoh dengan 50 MHz dan 40 MHz di pita frekuensi yang sama [21].

### 2.2.6 Carrier Aggregation (CA)

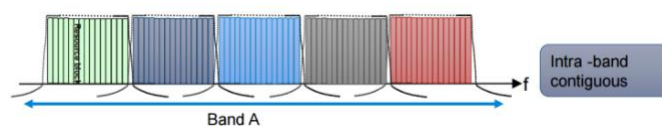
Pada rilis ke-10, *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) memperkenalkan teknologi *Carrier Aggregation* (CA), juga dikenal sebagai *carrier extension*, ke dalam teknologi LTE-A (*Long-Term Evolution Advanced*) untuk meningkatkan *bandwidth* transmisi pada jalur *uplink* dan *downlink*. Penggunaan *Carrier Aggregation* dibahas secara mendalam pada pertemuan 3GPP dalam lokakarya *Radio Access Network* (RAN) 1 dan RAN 4 [22].

Berikut adalah daftar pita operator pertama yang digunakan pada spektrum frekuensi berikut:

1. Pita 450–470 MHz
2. Pita 698–862 MHz
3. Pita 790–862 MHz
4. Pita 2.3–2.4 GHz
5. Pita 3.4–4.2 GHz
6. Pita 4.4 - 4.99 GHz

Teknologi utama yang sudah ada di jaringan *LTE-Advanced Carrier Aggregation* memungkinkan evolusi menjadi Gigabit-LTE, mencapai kecepatan data pengguna lebih dari 1 Gbps. Dalam jaringan 5G *Carrier Aggregation* mencapai kecepatan data pengguna sekitar 4 Gbps ke atas. Pengabungan dua kanal atau lebih dan menjadikannya satu kanal yang lebih lebar untuk meningkatkan *coverage* dari *data rate* yang tinggi. *Carrier Aggregation* dapat menggunakan *bandwidth* 1,4,3,5,10,15 dan 20 MHz dan memungkinkan *user* untuk mendapatkan total *bandwidth* hingga 100 MHz [19]. *Carrier Aggregation* mempunyai 3 tipe yaitu :

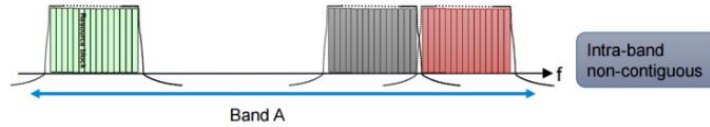
#### A. *Contiguous Intra-Band CA*



**Gambar 2.7 Intra-Band Contiguous CA.**

Pada Gambar 2.7 merupakan penggabungan dua atau lebih CCs dengan frekuensi yang saling berdekatan dan pada satu *band* frekuensi yang sama.

B. *Non-Contiguous Intra-Band CA*



**Gambar 2.8 Intra-band Non-Contiguous CA.**

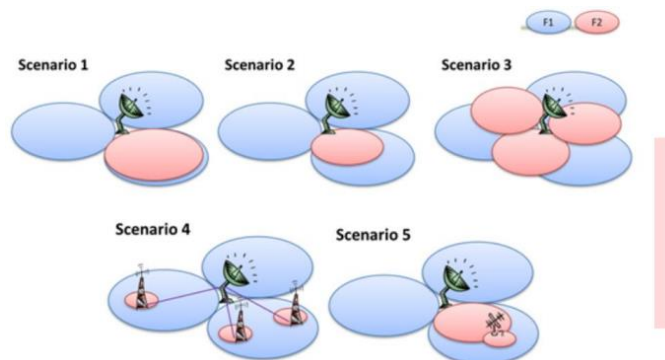
Pada Gambar 2.8 merupakan penggabungan dua atau lebih CCs yang frekuensinya tidak saling berdekatan dan dipisahkan oleh sebuah *frequency spacing* atau yang bisa juga diisi oleh beberapa blok frekuensi *carrier* milik operator lainnya namun masih di dalam satu *band* frekuensi yang sama.

C. *Non-Contiguous Inter Band CA*



**Gambar 2.9 Inter-band Non-contiguous CA [23].**

Pada Gambar 2.9 merupakan teknik penggunaan 2 atau lebih CCs yang masing-masing CC terletak di dua *band* frekuensi yang berbeda. Pada umumnya *non-contiguous inter band CA* digunakan di dua *band* frekuensi dengan teknik duplex yang berbeda, sehingga dapat saling memfokuskan baik di sisi *coverage* maupun *capacity* [24]. Untuk *Carrier Aggregation Deployment Scenarios*, ada beberapa yang dapat di terapkan *Deployment Scenario* adalah bagaimana mengatur koneksi dari *Component Carrier 1* (CC1) dan kemudian melakukan konfigurasi terhadap *Component Carrier 2* (CC2). Dalam *Carrier Aggregation* terdapat 5 jenis *Deployment Scenario*, seperti pada Gambar 2.10 :



**Gambar 2.10 Carrier Aggregation Deployment Scenarios.**

### 1. *Carrier Aggregation Deployment Scenarios 1*

Sel dengan *carrier frequency* CC1 dan CC2 letaknya *collocated* dan saling tumpang tindih dengan luas cakupan yang sama. Biasanya CC1 dan CC2 terdapat pada *band* frekuensi yang sama.

### 2. *Carrier Aggregation Deployment Scenarios 2*

Sel dengan *carrier frequency* CC1 dan CC2 letaknya *collocated* dan saling tumpang tindih. Namun salah satu CCnya memiliki lebar cakupan yang lebih kecil dibanding CC lainnya. Biasanya skenario ini terjadi ketika CC1 dan CC2 pada *band* frekuensi yang berbeda

### 3. *Carrier Aggregation Deployment Scenarios 3*

Sel dengan *carrier frequency* CC1 dan CC2 letaknya *collocated* namun sel pada CC2 diarahkan pada tepian dari CC1 hal ini ditujukan agar *user* di *cell edge* tetap memiliki nilai *throughput* yang baik.

### 4. *Carrier Aggregation Deployment Scenarios 4*

Sel dengan *carrier frequency* CC1 dan CC2 letaknya tidak *collocated*. Salah satu *carrier frequency* ditempatkan pada titik-titik tertentu yang memiliki kepadatan trafik tinggi. Skenario ini juga mendukung ditur LTE-Advanced lainnya, yaitu *Heterogeneous Network*.

### 5. *Carrier Aggregation Deployment Scenarios 5*

Sel dengan *carrier frequency* CC1 dan CC2 letaknya saling *colocated* dengan cakupan CC1 lebih kecil dibandingkan dengan cakupan pada CC2, namun pada skenario ini ditambahkan repeater di ujung cell CC1[25].

## **2.2.7 Perancangan Jaringan Coverage Area**

Langkah awal dalam menentukan radius seluler (maksimum wilayah jangkauan dari stasiun dasar atau *base station*) adalah *radio link budget*. Kalkulasi *link budget* pada sisi *uplink* dimaksudkan guna mendapatkan *Maximum Allowable Pathloss* (MAPL), yaitu jumlah *pathloss* maksimal yang boleh dilewati dari pemancar dan penerima guna mendapatkan rasio sinyal terhadap *noise* (SNR) minimal yang diperlukan untuk mencapai kapasitas yang memenuhi standar. Selain itu, parameter-parameter seperti *soft handover* dan *log-normal fading* juga turut diperhatikan. Pada sisi *uplink*, dilakukan perhitungan *link budget* dari

perangkat pengguna sebagai pemancar ke *Base Station* sebagai penerima. Sedangkan pada arah *downlink*, dilakukan perhitungan *link budget* dari *Base Station* sebagai pemancar ke perangkat pengguna sebagai penerima. Perencanaan jaringan berdasarkan *coverage* digunakan untuk memperkirakan MAPL antara UE (*User Equipment*) dengan eNodeB (*Enhanced NodeB*), sehingga dapat diketahui pada radius berapa perangkat dapat bekerja secara maksimal untuk melayani pengguna. Perhitungan MAPL dilakukan pada *uplink* maupun *downlink* [26].

#### A. Link Budget

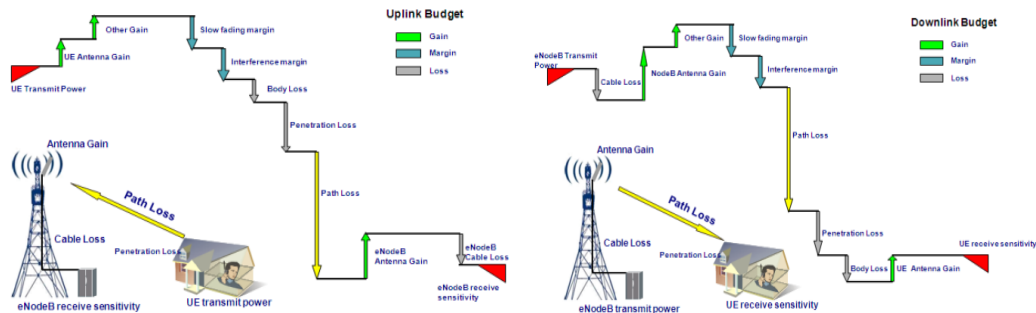
*Link budget* merupakan perhitungan untuk mengestimasi nilai *Maximum Allowable Pathloss* (MAPL), yang mewakili redaman propagasi gelombang yang masih dapat ditoleransi agar *gNodeB* (*base station*) dan UE (*user equipment*) masih dapat terhubung dengan baik. Perhitungan ini memperhitungkan semua keuntungan dan kerugian yang terjadi dalam transmisi dan penerimaan sinyal, termasuk keuntungan antena, kerugian di saluran transmisi, dan kerugian karena faktor lingkungan lainnya. *Link Budget Calculation* mulai dengan menentukan *Rasio Signal-to-Noise* (SNR) yang diperlukan untuk *Quality of Service* yang diinginkan seperti pada Tabel 2.4. Ini kemudian digunakan untuk menghitung kekuatan Sinyal Minimum yang diterima yang diperlukan pada *User Terminal* (UT),

**Tabel 2.4 Signal to Noise Ratio.**

MCS index	Downlink			Uplink		
	Modulation	Coding Rate	SNR,Db	Modulation	Coding rate	SNR, dB
0	QPSK	0.1172	-6.475	QPSK	0.1000	-7.231
1	QPSK	0.1533	-5.182	QPSK	0.1250	-6.164
2	QPSK	0.1885	-4.131	QPSK	0.1550	-5.113
3	QPSK	0.2452	-2.774	QPSK	0.2050	-3.701
4	QPSK	0.3008	-1.649	QPSK	0.2500	-2.658
5	QPSK	0.3701	-0.469	QPSK	0.3100	-1.480
6	QPSK	0.4385	0.561	QPSK	0.3650	-0.544
7	QPSK	0.5137	1.564	QPSK	0.4300	0.440
8	QPSK	0.5879	2.479	QPSK	0.4900	1.263
9	QPSK	0.6631	3.335	QPSK	0.5550	2.085
10	16QAM	0.3320	3.335	QPSK	0.6150	2.794
11	16QAM	0.3691	4.140	16QAM	0.3075	2.794
12	16QAM	0.4238	5.243	16QAM	0.3525	3.789
13	16QAM	0.4785	6.285	16QAM	0.4000	4.771
14	16QAM	0.5400	7.403	16QAM	0.4500	5.748
15	16QAM	0.6016	8.478	16QAM	0.5025	6.727
16	16QAM	0.6426	9.168	16QAM	0.5350	7.313
17	64QAM	0.4277	9.168	16QAM	0.5700	7.931
18	64QAM	0.4551	9.846	16QAM	0.6300	8.963
19	64QAM	0.5049	11.060	16QAM	0.6925	10.010
20	64QAM	0.5537	12.250	16QAM	0.7525	10.994
21	64QAM	0.6016	13.398	64QAM	0.5017	10.994
22	64QAM	0.6504	14.534	64QAM	0.5417	11.961
23	64QAM	0.7021	15.738	64QAM	0.5850	12.995
24	64QAM	0.7539	16.934	64QAM	0.6283	14.017
25	64QAM	0.8027	18.067	64QAM	0.6700	14.991
26	64QAM	0.8525	19.196	64QAM	0.7100	15.920
27	64QAM	0.8887	20.032	64QAM	0.7417	16.652
28	64QAM	0.9258	20.866	64QAM	0.7717	17.343

Langkah selanjutnya adalah menentukan *pathloss* maksimum yang dapat terjadi antara *Node B* dengan *User Terminal* (UT). Dilakukan

dengan mengurangi kekuatan Sinyal Minimum yang diterima dari kekuatan sinyal maksimum yang ditransmisikan, dengan mempertimbangkan semua keuntungan dan kerugian yang terjadi dalam transmisi dan penerimaan sinyal. Hasil perhitungan *link budget* adalah *Maximum Allowable PathLoss* (MAPL), yaitu jumlah maksimum kehilangan sinyal yang dapat terjadi antara Node B dengan *User Terminal* untuk kualitas layanan yang diinginkan. Dalam perhitungan *link budget*, nilai *Maximum Allowable Pathloss* (MAPL) dapat berbeda antara arah *uplink* dan *downlink*. Hal ini dipertimbangkan dengan memilih model propagasi yang sesuai seperti pada Gambar 2.11 *Link Budget Model Uplink dan Downlink*.



**Gambar 2.11 Link Budget Model Uplink dan Downlink.**

Nilai yang terdapat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 dapat digunakan untuk merancang jaringan dan untuk memastikan bahwa kekuatan sinyal yang memadai tersedia untuk komunikasi yang andal [27].

**Tabel 2.5 Perhitungan Link Budget Downlink 2100 MHz.**

Parameter	Notasi	Value	
		O2O	O2I
<i>gNodeB Transmit Power</i> (dBm)	A	49	49
<i>Resource Block</i>	B	273	273
<i>Subcarrier Quantity</i>	C	3276	3276
<i>GNodeB Antenna Gain</i> (dBi)	D	18	18
<i>GNodeB Cable Loss</i> (dBi)	E	0	0
<i>Penetration Loss</i> (dB)	F	18	18

Parameter	Notasi	Value	
<i>Foliage Loss</i> (dB)	G	19,95	19,95
<i>Body Block Loss</i> (dB)	H	3	3
<i>Interference Margin</i> (dB)	I	6	6
<i>Rain/Ice Margin</i> (dB)	J	0	0
<i>Slow Fading Margin</i> (dB)	K	7	8
UT <i>Antenna Gain</i> (dB)	L	0	0
<i>Bandwith</i> (MHz)	M	100	100
Konstanta boltzman (mWs/K)	N	$1,38 \times 10^{-20}$	$1,38 \times 10^{-20}$
Suhu (Kelvin)	O	293°	293°
<i>Thermal Noise Power</i> (dBm)	P	-153,933	-153,933
UT <i>Noise Figure</i> (dB)	Q	9	9
<i>Demodulation Threshold SINR</i> (dB)	R	22,9	22,9

Perhitungan *link budget* bertujuan untuk mengetahui atau memprediksi nilai *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) diantara transmitter (gNodeB) dan receiver (UT) pada sisi *Downlink*, sehingga dari MAPL yang didapat bisa diprediksi ukuran *cell radius* yang nantinya dapat memprediksi jumlah *site* yang diperlukan berdasarkan tinjauan wilayah yang direncanakan. Perhitungan MAPL melibatkan luas wilayah dan *loss* yang terjadi diantara transmisi *User Terminal* (UT) dan juga *gNodeB*. Untuk menghitung MAPL diperlukan beberapa parameter *link budget* yang dapat diamati pada Tabel 2.5 Untuk perhitungan pada frekuensi 2100 MHz dan Tabel 2.6 Untuk perhitungan frekuensi 2300 MHz

**Tabel 2.6 Perhitungan *Link Budget Downlink* 2300 MHz.**

Parameter	Notasi	Value	
		O2O	O2I
<i>gNodeB Transmit Power</i> (dBm)	A	49	49
<i>Resource Block</i>	B	273	273



Parameter	Notasi	Value	
		O2O	O2I
<i>Subcarrier Quantity</i>	C	3276	3276
<i>GNodeB Antenna Gain (dBi)</i>	D	18	18
<i>GNodeB Cable Loss (dBi)</i>	E	0	0
<i>Penetration Loss (dB)</i>	F	18,5	18,5
<i>Foliage Loss (dB)</i>	G	19,95	19,95
<i>Body Block Loss (dB)</i>	H	3	3
<i>Interference Margin (dB)</i>	I	6	6
<i>Rain/Ice Margin (dB)</i>	J	0	0
<i>Slow Fading Margin (dB)</i>	K	7	8
<i>UT Antenna Gain (dB)</i>	L	0	0
<i>Bandwith (Mhz)</i>	N	100	100
Konstanta boltzman (mWs/K)	N	$1,38 \times 10^{-20}$	$1,38 \times 10^{-20}$
Suhu (Kelvin)	O	293°	293°
<i>Thermal Noise Power (dBm)</i>	P	-153,933	-153,933
<i>UT Noise Figure (dB)</i>	Q	9	9
<i>Demodulation Threshold SINR (dB)</i>	R	22,9	22,9

## B. Pathloss

*Pathloss* adalah penurunan sinyal yang terjadi selama transmisi dari sumber sinyal ke penerima sinyal. Ini terjadi karena adanya penghalang fisik seperti bangunan, pohon, dan tanah. *Pathloss* juga dapat terjadi karena adanya interferensi dari sinyal lain. *Pathloss* dapat dinyatakan dalam *unit decibel* (dB) dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang menggambarkan kondisi jaringan dan lingkungan. Pada pentransmisian gelombang radio di suatu jaringan, tinggi *antenna* pemancar ( $h_{BS}$ ) dan tinggi *antenna* penerima ( $h_{UT}$ ). Pada propagasi gelombang radio, terdapat 2 kondisi yaitu pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dan kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS) [28].

$$PL (dB) = A - (10 \times \log (C)) + D - E - F - G - H - I - J - K + L - P - Q - R \quad (2.1)$$

Keterangan :

PL = nilai *pathloss* (dBm)

C = *Subcarrier quantity*

D = Tx *antenna gain* (dBi)

E = *gNodeB cable loss* (dBi)

F = *penetration loss* (dB)

G = *foliage loss* (dB)

H = *body block loss* (dB)

I = *interference margin* (dB)

J = *Rain/Ice margin* (dB)

K = *Slow fading margin* (dB)

L = *gNodeB antenna gain* (dB)

P = *Thermal noise power* (dBm)

Q = *GNodeB noise figure* (dB)

R = *Demodulation threshold SINR* (dB)

### 2.2.8 Model Propagasi

Model propagasi merupakan alat yang digunakan untuk memprediksi kekuatan sinyal yang akan diterima oleh *receiver* pada jarak tertentu dari pemancar. Model ini sangat berguna dalam memprediksi area jangkauan radio dari pemancar. Dengan menggunakan model propagasi, kita dapat memperkirakan redaman sinyal atau *pathloss* yang akan terjadi pada *receiver* pada jarak tertentu antara pemancar dan penerima (T-R) [28].

#### A. *Urban Macro Area* (Uma)

Uma digunakan untuk skenario penyebaran di daerah padat penduduk, yang dimana sinyal yang diterima merupakan penjumlahan antara sinyal langsung dan sinyal tidak langsung. Untuk *scenario Line Of Sight* (LOS) adalah :

$$PL_1 = 28.0 + 22\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) \quad (2.1)$$

$$PL_2 = 28.0 + 40\log_{10}(d_{3D}) + 20\log_{10}(f_c) - 9 \cdot \log_{10} \left( (d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2 \right) \quad (2.2)$$

Untuk *Scenario Non-Line Of Sight* (N-LOS), adalah :

$$PL_{UMa-NLOS} = \max (PL_{UMa-LOS}, PL'_{UMa-NLOS}) \quad (2.3)$$

$$PL'_{UMa-NLOS} = 13.54 + 39.08 \log_{10} + (d_{3D})^{20} \log_{10} (f_c) - 0.6 (h_{UT} - 1.5) \quad (2.4)$$

Keterangan:

PL = nilai pathlost (dBm)

$h_{BS}$  = tinggi base station (m)

$h_{UT}$  = tinggi user (m)

$f_c$  = Frekuensi (GHz)

$d_{3d}$  = Jarak antara  $h_{BS}$  dan  $h_{UT}$

#### B. *Urban Microcell* (Umi)

Model propagasi UMi mirip dengan model propagasi UMa, di mana keduanya melibatkan *base station* (stasiun dasar) dari luar ruangan ke luar ruangan (*outdoor to outdoor*) dan dari luar ruangan ke dalam ruangan (*outdoor to indoor*). Biasanya, pemasangan *base station* ini dilakukan di bawah tingkat atap gedung-gedung sekitar. Luas cakupan area terbuka pada model UMi umumnya berada dalam kisaran 50 hingga 100 meter, dengan tinggi pemancar (Tx) sekitar 10 meter, tinggi *receiver* (Rx) sekitar 1,5 hingga 2,5 meter, dan *inter-site distance* (ISD) sekitar 200 meter. [29]. Untuk *Urban Microcell* memiliki *scenario Line Of Sight* (LOS), yaitu :

$$PL_1 = 32.4 + 21 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) \quad (2.5)$$

$$PL_2 = 32.4 + 40 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) - 9.5 \log_{10} \left( (d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2 \right) \quad (2.6)$$

Untuk *scenario Umi Non-Line of Sight* (NLOS) :

$$PL (UMi - NLOS) = 35.3 \log_{10} (d_{3D}) + 22.4 + 21.3 \log_{10} (f_c) - 0.3 (h_{UT} - 1.5) \quad (2.7)$$

Keterangan:

PL = nilai pathlost (dBm)

$h_{BS}$  = tinggi base station (m)

$h_{UT}$  = tinggi user (m)

$f_c$  = Frekuensi (GHz)

$d_{3d}$  = Jarak antara  $h_{BS}$  dan  $h_{UT}$

### C. Rural Macro Area (RMa)

*Rural Macro* permodelan yang digunakan model jaringan seluler yang dirancang khusus untuk daerah pedesaan atau jarang penduduknya, berfokus pada *coverage* yang lebih besar dan berkelanjutan [30].

Untuk scenario *Line Of Sight* (LOS), yaitu :

$$PL_1 = 20\log_{10}(40\pi d_{3D} f_c / 3) + \min(0.03h^{1.72}, 10)\log_{10}(d_{3D}) - \min(0.044h^{1.72}, 14.77) + 0.002\log_{10}(h)d_{3d} \quad (2.8)$$

$$PL_1 = PL_1(d_{BP}) + 40\log_{10}(d_{3D}/d_{BP}) \quad (2.9)$$

Untuk *scenario Non - Line Of Sight* (LOS), yaitu :

$$PL_{RMa-NLOS} = \max(PL_{RMa-LOS}, PL'_{RMa-NLOS}) \quad (2.10)$$

$$PL'_{RMa-NLOS} = 161.04 - 71\log_{10}(W) + 7.5\log_{10}(h) - (24.37 - 3.7(h/h_{BS})^2)\log_{10}(h_{BS}) + (43.42 - 3.1\log_{10}(h_{BS}))(\log_{10}(d_{3D}) - 3) + 20\log_{10}(f_c) - (3.2(\log_{10}(11.75h_{UT}))^2 - 4.97) \quad (2.11)$$

Keterangan:

$PL$  = nilai pathlost (dBm)

$h_{BS}$  = tinggi base station (m)

$h_{UT}$  = tinggi user (m)

$f_c$  = Frekuensi (GHz)

$d_{3d}$  = Jarak antara  $h_{BS}$  dan  $h_{UT}$

### 2.2.9 Parameter Secondary Synchronization – Reference Signal Received Power (SS-RSRP)

RSRP merupakan kuat sinyal yang diterima UE pada LTE. Nilai RSRP digunakan untuk menunjukkan bagus atau tidaknya *coverage* jaringan pada suatu daerah seperti *range* nilai pada tabel 2.7 [31].

**Tabel 2.7 Kategori Nilai SS-RSRP [32].**

Kategori	Range	Warna
Sangat Buruk	-120 s/d -110	
Buruk	-110 s/d -95	
Normal	-95 s/d -75	
Baik	-75 s/d -65	

Kategori	Range	Warna
Sangat Baik	-65 s/d 0	

### 2.2.10 Parameter *Secondary Synchronization – Signal To Noise And Interference Ratio (SS-SINR)*

SINR merupakan perbandingan minimum antara sinyal yang diinginkan dengan sinyal interferensi yang berasal dari *transmitter* dan sel sampingnya atau sel tetangganya. Pada tabel 2.8 Didalam SINR dapat mengukur berdasarkan sinyal yang digunakan, besaran interferensi rata-rata dan *Noise*[31].

**Tabel 2.8 Kategori Nilai SS-SINR.**

Kategori	Range	Warna
Sangat Buruk	-20 s/d -11	
Buruk	-11 s/d -5	
Normal	-5 s/d 0	
Baik	0 s/d 15	
Sangat Baik	15 s/d 30	

### 2.2.11 PARAMETER *DATA RATE*

*Data Rate* merupakan ukuran kecepatan transmisi data. Jumlah data yang ditransfer dalam waktu tertentu yang dimana biasa diukur dalam detik dan akan menghasilkan data terbaik sebagaimana yang ditentukan ;

$$Data\ rate\ (Mbps) = 10^{-6} \sum_{j=1}^j (V_{layer}^{(j)} \cdot Q_m^{(f)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{max} \cdot \frac{N_{PRB}^{BW(j)} \cdot (\mu) \cdot 12}{T_s^{\mu}} \cdot (1 - OH^{(j)})) \quad (2.12)$$

Keterangan:

J = Jumlah komponen *carrier* teragregasi

$R_{max} = 948/1024$

$V_{layer}^{(j)}$  = Jumlah maksimum lapisan MIMO (Antena yang digunakan)

$Q_m^{(f)}$  = *Modulation order* (QPSK, 16-QAM, atau 64-QAM)

$f^{(j)}$  = *Scaling factor*, dimana nilainya 1; 0,8; 0,75; dan 0,4

$\mu$  = Numerology

$T_s^\mu$  = Durasi rata-rata simbol OFDM dalam subframe untuk numerology

$N_{PRB}^{BW}(j, \mu)$  = Alokasi *bandwidth* maksimum

$OH^{(j)}$  = *Overhead* untuk *control channels*

$BW$  = *Bandwidth*