

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [7] yang berjudul “**Performance Analysis of 5G Stand Alone Inter-band Carrier Aggregation**” membahas tentang perencanaan jaringan 5G dengan skema *inter-band carrier aggregation* pada frekuensi 2300 MHz dengan *bandwidth* 40 MHz dan frekuensi 3500 MHz dengan *bandwidth* 100 MHz. Adapun simulasi diimplementasikan di wilayah pusat industri Marunda Bekasi menggunakan skenario *downlink outdoor-to-indoor* (O2I) dengan kondisi *Line of Sight* (LOS). Adapun model propagasi yang digunakan *Urban Macro* (Uma). Perencanaan dilakukan dengan melakukan perhitungan *link budget* dan *coverage palnning* terlebih dahulu, dimana dari hasil perhitungan diperoleh jumlah kebutuhan *site* di wilayah Pusat Industri Marunda adalah sebanyak 5 *site*. Kemudian simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Mentum Planet* menggunakan frekuensi 2300 MHz sebagai *primary cell* dan frekuensi 3500 MHz sebagai *secondary cell*. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah parameter SS-RSRP, SS-SINR, dan *data rate*, dimana pada penelitian ini dilakukan perbandingan nilai parameter yang dihasilkan berdasarkan simulasi CA dan non-CA. Adapun hasil setelah menggunakan CA yaitu pada parameter SS-RSRP meningkat sebesar 0.14%, SS-SINR meningkat sebesar 4.48%, dan *peak data rate* meningkat hingga 1412.26 Mbps dari 312.872 Mbps.

Penelitian [8] yang berjudul “**5G New Radio (NR) Network Planning at Frequency of 2.6 GHz in Golden Triangle of Jakarta**” merupakan penelitian yang membahas tentang perencanaan jaringan 5G NR pada frekuensi 2.6 GHz di daerah Golden Triangle Jakarta yang memiliki luas 7.2km². Perencanaan dilakukan melalui simulasi menggunakan *software Mentum Planet 7.3.0*. dengan model propagasi Uma (*Urban Macro-Street canyon*) menggunakan dua skenario *downlink* yaitu *outdoor-to-outdoor* (O2O) *line of sight* (LOS) dan *outdoor-to-outdoor* (O2O) *non line of sight* (NLOS). Adapun parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah parameter SS-RSRP, SS-SINR, dan *data rate*. Dari hasil simulasi diperoleh

nilai rata-rata parameter SS-RSRP menggunakan skenario 2 (*downlink-O2O-NLOS*) lebih tinggi daripada skenario 1 (*downlink-O2O-LOS*), yaitu masing-masing sebesar -65.873 dBm dan -95.94dBm. Adapun nilai rata-rata SS-SINR yang diperoleh pada simulasi menggunakan skenario 2 (*downlink-O2O-NLOS*) lebih rendah daripada skenario 1 (*downlink-O2O-LOS*), yaitu masing-masing sebesar 2.153dB dan 4.71dB. Sedangkan pada *data rate* diperoleh nilai rata-rata yang lebih tinggi menggunakan skenario 1 daripada skenario 2, yaitu masing-masing sebesar 179.078Mbps dan 126.4Mbps.

Pada penelitian [5] yang berjudul “**Comparison of 5G NR Planning in Mid-Band and High-Band in Jababeka Industrial Estate**” membahas tentang perbandingan perencanaan jaringan 5G NR pada mid-band 2.6GHz dan high-band 26 Ghz. Adapun perencanaan dilakukan melalui simulasi menggunakan *software Mentum Planet 7.3* berdasarkan wilayah cakupan di kawasan industri Jababeka dengan luas 22.67km². Perhitungan *link budget* pada penelitian ini menggunakan *skema downlink outdoor-to-outdoor (O2O) line of sight (LOS)* dan *non line of sight (NLOS)* dengan model propagasi *Urban Micro (Umi)* dan *Urban Macro (Uma)* sesuai dengan standar 3GPP TR 38.901. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dalam penelitian ini, diperoleh hasil bahwa skenario 1 (*downlink-O2O-LOS*) lebih baik daripada skenario 2 (*downlink-O2O-NLOS*). Adapun pada skenario NLOS membutuhkan lebih banyak *gNodeB* daripada skenario LOS, karena pada skenario NLOS terdapat permasalahan antara *gNodeB* dengan *user terminal*. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh pada frekuensi *mid-band 2.6GHz* untuk parameter SS-RSRP sebesar -96.01dBm, SS-SINR sebesar 4.21dB, dan *data rate* sebesar 436.61Mbps. Sedangkan pada frekuensi *high-band* diperoleh nilai SS-RSRP sebesar -78.14dBm, SS-SINR sebesar 0.46dB, dan *data rate* sebesar 1.83Gbps.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 5G New Radio (NR)

Teknologi 5G merupakan standar teknologi komunikasi seluler generasi kelima yang dirumuskan oleh *International Telecommunication Union (ITU)*, dimana teknologi 5G menyediakan kapasitas *bandwidth* yang lebih besar daripada 4G, sehingga memungkinkan kepadatan pengguna *mobile broadband* yang lebih

tinggi dan mendukung tiga fitur utama yaitu *enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra-reliable and Low Latency Communication* (uRLLC), serta *Massive Machine-Type Communication* (mMTC) [2] [3].

Tabel 2. 1 menunjukkan perbedaan persyaratan kinerja teknis pada teknologi LTE-Advanced dan 5G.

Tabel 2. 1 Perbedaan Persyaratan Kinerja Teknis Teknologi LTE-Advanced dan 5G [1]

Parameter	LTE-Advanced	5G
<i>Peak data rate</i>	500Mbps (UL) 1000 Mbps (DL)	10 Gbps (UL) 20 Gbps (DL)
<i>Typical spectral efficiency</i>	0.7-2.25bits s ⁻¹ Hz ⁻¹ (UL) 1.1-3bits s ⁻¹ Hz ⁻¹ (DL)	1.6-6.75bits s ⁻¹ Hz ⁻¹ (UL) 3.3-9bits s ⁻¹ Hz ⁻¹ (DL)
<i>Energy efficiency</i>	n/a	<i>Maximize</i>
<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%

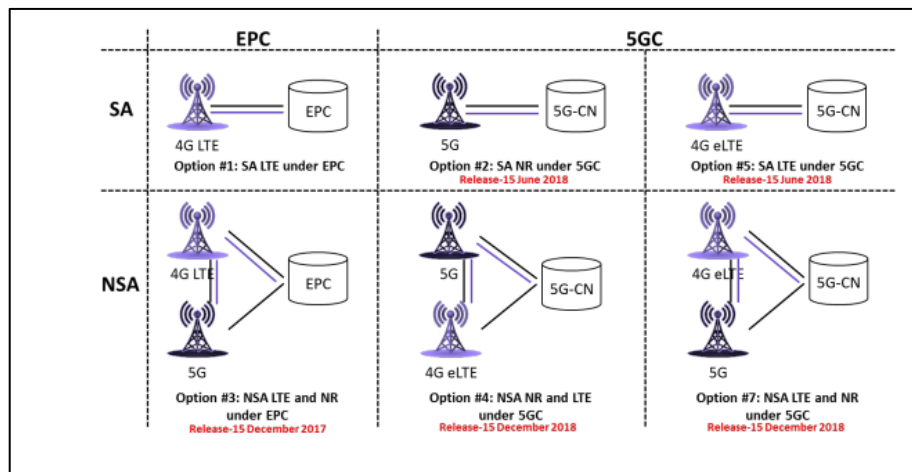
Teknologi 5G merupakan teknologi seluler generasi kelima yang didefinisikan oleh 3GPP setelah 4G LTE. Setiap generasi menyediakan peningkatan kinerja, khususnya kecepatan data. Namun, peningkatan tidak hanya pada kinerja *mobile broadband*, pada teknologi 5G NR terdapat tiga kegunaan utama yang dapat ditawarkan, yaitu :

- *Enhanced mobile broadband* (eMBB), fitur ini menyediakan *bandwidth* yang lebih besar dimana dapat mendukung pengembangan AR/VR, *UltraHD streaming video*, dan lainnya.
- *Ultra-reliability and Low Latency Communications* (uRLLC), fitur ini mendukung operasi medis jarak jauh, perlindungan masyarakat, penanggulangan bencana, dan keselamatan transportasi.
- *Massive Machine Type Communications* (mMTC), mMTC dapat menampung perangkat dalam jumlah besar dan mendukung peningkatan implementasi IoT yang lebih luas. [7]

2.2.2 Arsitektur 5G New Radio (NR)

Terdapat dua jenis pilihan yang digunakan dalam arsitektur jaringan teknologi 5G, yaitu 5G *Non-Stand Alone* (NSA) dan 5G *Stand Alone* (SA).

5G NSA memungkinkan jaringan 5G dapat didukung dengan menggunakan infrastruktur 4G LTE. Adapun jaringan akses (*access network*) didukung oleh penggunaan *Evolved Packet Core* (EPC). EPC digunakan untuk cakupan dengan menambahkan *carrier* 5G. Arsitektur 5G NSA memungkinkan biaya implemetasi yang lebih rendah. Adapun jenis arsitektur 5G SA merupakan *core network* baru dari arsitektur yang didefinisikan oleh 3GPP yang memisahkan berbagai fungsi jaringan. 5G SA cocok digunakan untuk mengimplementasikan kecepatan data yang besar dan tidak menggunakan jaringan eksisting 4G LTE [7]. Gambar 2. 1 menunjukkan pilihan *deployment* untuk skenario perencanaan jaringan 5G baik secara *stand alone* maupun *non-stand alone* yang didefinisikan oleh 3GPP.



Gambar 2. 1 *Deployment options* 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 yang didefinisikan oleh 3GPP [9]

a) 5G *Non-Stand Alone* (SA)

Keuntungan utama dari penggunaan solusi NSA ini adalah dapat memanfaatkan arsitektur jaringan 4G EPC. Namun, *user plane* (*Serving Gateway* (SGW) dan *Packet Data Network Gateway* (PGW)) perlu digantikan dengan performa yang lebih tinggi dan lebih terdistribusi untuk mendukung *bitrate* yang lebih tinggi dan mengurangi *transport latency*. Salah satu pendekatannya adalah dengan melakukan *deploy* untuk elemen *core network* baru yang secara fleksibel dapat mendukung

deployment baik *user plan* EPC (SGW dan PGW) dan generasi 5GC berikutnya yaitu *User Plane Function* (UPF) dan *Session Management Function* (SMF).

Solusi untuk *Radio Access Network* (RAN) pada teknologi NSA ini akan menggunakan *existing base station* 4G LTE dengan peningkatan (*upgrade*) yang mendukung fitur NSA dan *deployment* sel 5G NR baru untuk menyediakan *dual connectivity*, dengan interkoneksi menggunakan ekstensi yang ditentukan oleh 3GPP dari interface X2.

Dengan solusi ini, akses 5G akan di-*deploy* pertama kali menggunakan *band Time Division Duplex* (TDD), baik di atas 3GHz dan/atau *mmWave* untuk menyediakan kapasitas. *Band carrier* NR tambahan yang lebih rendah akan dibutuhkan jika cakupan area yang luas dari operasi NSA dibutuhkan. Sebagai alternatif, perangkat dapat kembali ke cakupan jaringan LTE saja ketika berada di luar wilayah cakupan 5G NR.

b) 5G Stand Alone (SA)

Deployment dari solusi *option 2* melibatkan pengenalan fungsi baru 5G *core network* dan 5G NR *base stations* serta akan menghindari kebutuhan untuk membangun kembali EPC *core networks* dan meminimalisasi perubahan pada LTE eNB. *Deployment* awal *option 2* menggunakan *band* TDD di atas 3 GHz terutama dipertimbangkan untuk area *dense urban* untuk menyediakan kapasitas dan layanan *latency* yang rendah dan juga dapat digunakan sebagai solusi untuk *Fixed Wireless Access* (FWA) di area *suburban* atau *rural*. Untuk memastikan mobilitas yang lancar tanpa inter-RAT (*Radio Access Technology*) *handover*, cakupan 5G secara nasional perlu dipertimbangkan. Namun, hal ini akan mengharuskan *deployment* dimana setidaknya satu *carrier Frequency Division Duplex* (FDD) di *band* yang lebih rendah (<3GHz, sebaiknya < 1GHz) menggunakan spektrum baru atau *re-farmed* dengan *carrier band* NR yang rendah dan tinggi yang digabungkan menggunakan *carrier aggregation*.

Solusi ini akan mampu mendukung layanan 5G yang ditawarkan oleh 5G core network baru (mekanisme *advanced-QoS*, meningkatkan *network slicing support*, arsitektur berdasarkan layanan dan mendukung *cloud-based deployment*) dengan inter-RAT *handover* digunakan untuk mempertahankan jaringan ketika berpindah dari area cakupan 5G.

Tabel 2. 2 menunjukkan perbedaan antara solusi teknologi NSA (*option 3*) dan SA (*option 2*) berdasarkan 5G Release 15.

Tabel 2. 2 Perbedaan Teknologi NSA (*Option 3*) dan SA (*Option 2*)

Pertimbangan	<i>Option 3 NSA</i>	<i>Option 2 SA</i>
Solusi	<i>Dual connectivity</i> dengan LTE eNB <i>master node</i> dengan EPC <i>core network</i>	NR gNB sebagai SA RAN dengan 5GC <i>core network</i>
Standardisasi	Rel. 15 Desember 2017 dengan perbaikan Juni 2018	Rel. 15 Juni 2018
LTE eNB Core Network Interface	S1c <i>Control plane</i> , S1u <i>user plane</i>	n/a
NR gNB Core Network Interface	S1u <i>user plane</i>	N2 <i>control plane</i> , N3 <i>user plane</i>
Latency	<i>Latency</i> rata-rata dipengaruhi oleh paket yang dikirim pada jalur LTE ketika menggunakan <i>split bearer</i>	Berkurang ketika menggunakan <i>sub-carrier spacing</i> yang lebih lebar.
UE Coverage	Identik dengan cakupan <i>existing</i> LTE	Terbatas berdasarkan <i>band</i> 5G NR
Kontinuitas Layanan LTE	UE selalu melekat dalam LTE. Dengan DC dan <i>split bearer</i> , pemutusan koneksi 5G memiliki efek yang lebih kecil.	Inter-RAT <i>handover</i> atau <i>redirection</i> dibutuhkan ketika koneksi 5G terputus.
Kontinuitas Layanan 2G/3G	Didukung.	Tidak didukung. Kontinuitas layanan dari 5G ke 3G dipelajari pada Rel 16.
Pengaruh base station LTE eNB	Peningkatan dibutuhkan pada LTE eNB untuk mendukung mode NSA.	Peningkatan minor pada <i>control plane</i> untuk mendukung inter-RAT <i>mobility</i> .

2.2.3 Alokasi Band Frekuensi 5G [10]

5G dapat beroperasi dalam 2 jenis rentang frekuensi, yaitu *frequency range* 1 (FR1) yang berjalan pada frekuensi 410 sampai 7125 MHz, dan *frequency range* 2 (FR2), yang berjalan pada frekuensi 24.25 sampai 52.6GHz. Dengan rentang nilai ini, spesifikasi 3GPP dapat mendukung sebagian besar *band* frekuensi, dimana dapat terlihat pada Tabel 2. 3 dan Tabel 2. 4.

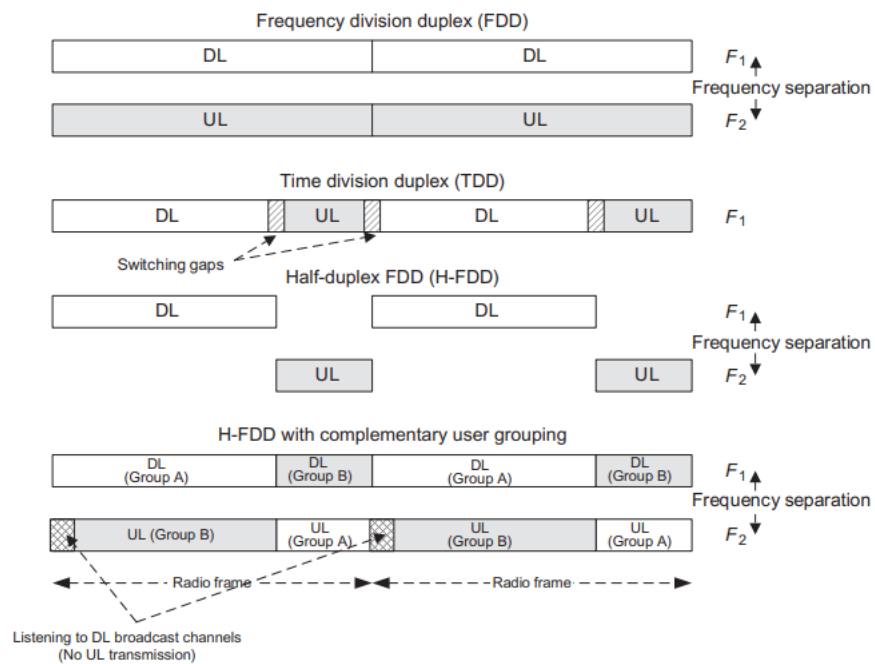
Tabel 2. 3 Alokasi frekuensi pada *Frequency Range 1* (FR 1) [10]

<i>Band</i>	<i>Uplink band (MHz)</i>	<i>Downlink band (MHz)</i>	<i>Duplex Mode</i>
n1	1920-1980	2110-2170	FDD
n2	1850-1910	1930-1990	FDD
n3	1710-1785	1805-1880	FDD
n5	824-849	869-894	FDD
n7	2500-2570	2620-2690	FDD
n8	880-915	925-960	FDD
n12	699-716	729-746	FDD
n14	7888-798	758-768	FDD
n18	815-830	860-875	FDD
n20	832-862	791-821	FDD
n25	1850-1915	1930-1995	FDD
n28	703-748	758-803	FDD
n29	-	717-728	SDL
n30	2305-2315	2350-2360	FDD
n34	2010-2025	2010-2025	TDD
n38	2570-2620	2570-2620	TDD
n39	1880-1920	1880-1920	TDD
n40	2300-2400	2300-2400	TDD
n41	2496-2690	2496-2690	TDD
n48	3550-3700	3550-3700	TDD
n50	1432-1517	1432-1517	TDD
n51	1427-1432	1427-1432	TDD
n65	1920-2010	2110-2200	FDD
n66	1710-1780	2110-2200	FDD
n70	1695-1710	1995-2020	FDD
n71	663-698	617-652	FDD
n74	1427-1470	1475-1518	FDD
n75	-	1432-1517	SDL
n76	-	1427-1432	SDL
n77	3300-4200	3300-4200	TDD
n78	3300-3800	3300-3800	TDD
n79	4400-5000	4400-5000	TDD
n80	1710-1785	-	SUL
n81	880-915	-	SUL
n82	832-862	-	SUL
n83	703-748	-	SUL
n84	1920-1980	-	SUL
n86	1710-1780	-	SUL
n89	824-849	-	SUL
n90	2496-2690	2496-2690	TDD
n91	832-862	1427-1432	FDD
n92	832-862	1432-1517	FDD
n93	880-915	1427-1432	FDD
n94	880-915	1432-1517	FDD
n95	2010-2025	-	SUL

Tabel 2. 4 Alokasi frekuensi pada *Frequency Range 2* (FR 2) [10]

<i>Band</i>	<i>Frequency band (GHz)</i>	<i>Duplex Mode</i>
n257	26.5-29.5	TDD
n258	24.25-27.5	TDD
n260	37-40	TDD
n261	27.5-28.35	TDD

Setiap *band* dapat digunakan dalam satu jenis *duplex mode* dari empat mode. Gambar 2. 2 menunjukkan skema *duplexing* pada teknologi 5G.



Gambar 2. 2 Ilustrasi Skema *Duplexing*

Frequency division duplex (FDD) menggunakan spektrum yang berpasangan, dimana *uplink* dan *downlink* dapat ditransmisikan secara terus-menerus tetapi pada frekuensi *carrier* yang berbeda. *Time division duplex* (TDD) menggunakan spektrum yang tidak berpasangan, dimana transmisi *uplink* dan *downlink* bergantian pada *carrier* yang sama.

Supplementary downlink (SDL) merupakan *secondary cell* khusus *downlink* yang dapat meningkatkan *throughput* di sisi *downlink* untuk perangkat seluler yang menggunakan layanan dengan *data rate* yang tinggi seperti *video streaming*. Adapun *supplementary uplink* (SUL) merupakan frekuensi *carrier* khusus *uplink*, dimana SUL memiliki *loss* propagasi yang lebih rendah dan dapat meningkatkan *uplink coverage*.

Kanal *bandwidth* merupakan radio *bandwidth* yang ditempati oleh *carrier*. Adapun FR1 mendukung 13 kanal *bandwidth* yang berbeda, yaitu 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, dan 100 MHz. Sedangkan FR2 mendukung empat kanal *bandwidth*, yaitu 50, 100, 200, dan 400 MHz.

Alokasi *band* spektrum 5G terbagi atas tiga kategori makro, yaitu *low band*, *medium band*, dan *high band* seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2. 5.

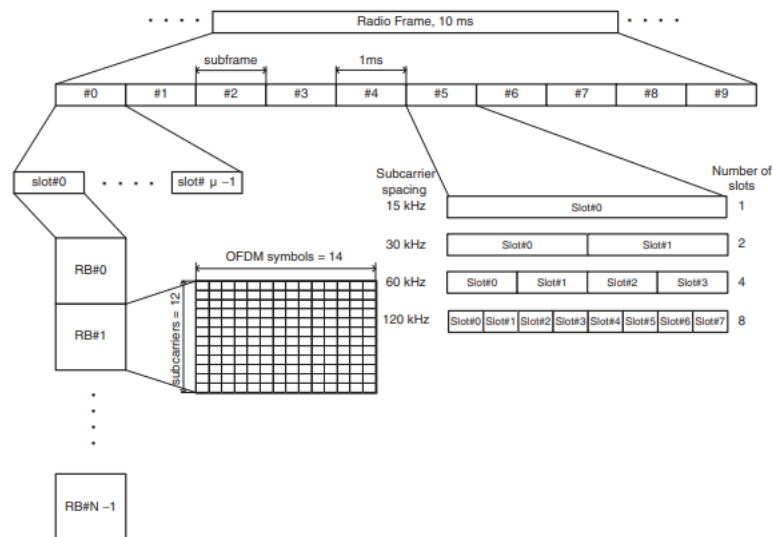
Tabel 2. 5 5G Frequency Layer and Skenario [11]

Kategori	<i>Frequency</i>	<i>Bandwidth</i>	Skenario Penggunaan
<i>Low Frequency Bands Coverage Layer</i>	Di bawah 1 GHz	<i>Bandwidth</i> mencapai 20 MHz	mMTC
<i>Medium Frequency Bands Coverage and Capacity Layer</i>	1 – 6 GHz	<i>Bandwidth</i> mencapai 100 MHz	mMTC, eMBB
<i>High Frequency Bands Super Data Layer</i>	Di atas 6 GHz	<i>Bandwidth</i> mencapai 800 MHz	eMBB, uRLLC

- *Low band*: spektrum frekuensi berada di bawah 1 GHz memungkinkan cakupan 5G di wilayah yang luas. Spektrum ini dapat digunakan untuk aplikasi IoT.
- *Mid band*: spektrum berada pada frekuensi yang lebih tinggi, di antara 1 dan 6 GHz, menawarkan kapasitas yang dibutuhkan untuk sejumlah perangkat yang terhubung dan memungkinkan kecepatan yang lebih tinggi untuk perangkat yang terhubung.
- *High band (mmWave)*: spektrum berada pada frekuensi yang sangat tinggi, yaitu di atas 24 GHz dengan *bandwidth* yang besar, jarak radius yang pendek (di antara 50 dan 200m), *latency* yang sangat rendah, dan kapasitas yang lebih besar.

Sama halnya dengan LTE, teknologi NR juga mendukung konsep *frame* dalam waktu [12]. Sebuah *frame* memiliki durasi 10ms terlepas dari *subcarrier spacing* yang digunakan dan dibagi menjadi dua setengah *frame*, masing – masing dengan lima *subframe*. Setiap *subframe* selalu memiliki durasi 1ms dan dibagi lagi menjadi satu atau beberapa slot tergantung pada parameter penskalaan *numerology*.

Adapun satu set 12 *subcarrier* dalam domain frekuensi sepanjang 14 simbol OFDM dalam domain waktu dikelompokkan ke dalam *physical resource block* (PRB). Jumlah keseluruhan PRB yang tersedia bergantung kepada *subcarrier spacing* dan rentang frekuensi. Gambar 2. 3 menunjukkan struktur *frame* yang didukung dalam teknologi 5G. [13]



Gambar 2. 3 Struktur *Frame* 5G New Radio [13]

5G menggunakan lima jenis *subcarrier spacing* yang berbeda seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2. 6. Bersamaan dengan parameter yang berkaitan lainnya, masing – masing dikenal sebagai *numerology* (μ) dan ditentukan berdasarkan konfigurasi *subcarrier spacing*.

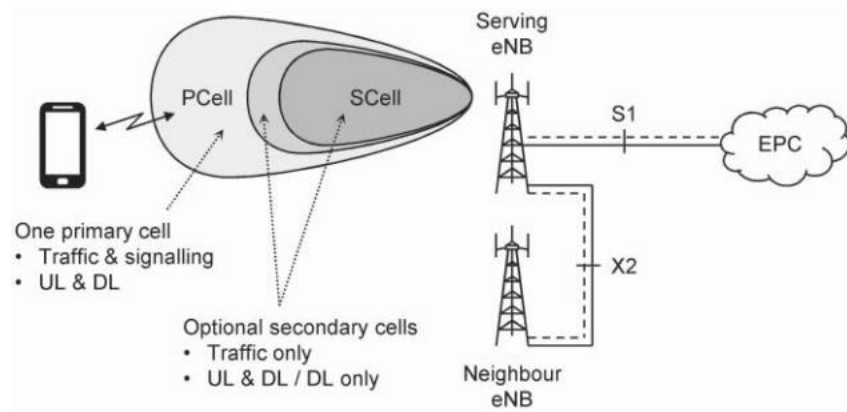
Tabel 2. 6 *Numerology* [1]

μ	<i>Subcarrier Spacing</i> (kHz)	RB Bandwidth (kHz)
0	15	180
1	30	360
2	60	720
3	120	1440
4	240	2880

2.2.4 *Carrier Aggregation*

Carrier aggregation merupakan teknologi yang diperkenalkan pada LTE *release* 10. Adapun pada 5G New Radio, teknologi *carrier aggregation* mendukung

hingga 16 *component carrier* (CC) baik secara *contiguous* dan *non-contiguous* dengan numerologi yang berbeda di *frequency range 1* dan *frequency range 2* [12]. Untuk kelas dalam konfigurasi carrier aggregation pada band FR 1 dapat dilihat pada Tabel 2. 7. Pada saat menggunakan *carrier aggregation*, sebuah telepon seluler berkomunikasi melalui banyak sel, sehingga dapat meningkatkan kecepatan data.



Gambar 2. 4 *Carrier Aggregation* [1]

Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2. 4 sebuah telepon seluler berkomunikasi melalui satu *primary cell* (PCell), yang membawa trafik pengguna dan *signalling* pesan bagi telepon seluler, serta beroperasi di kedua sisi *uplink* dan *downlink*. Secara opsional, terdapat satu atau lebih *secondary cell* (SCell) yang hanya membawa trafik dan yang dapat beroperasi baik di *uplink* dan *downlink* atau hanya *downlink* saja. Biasanya sebuah *primary cell* telepon seluler berada pada frekuensi *carrier* yang lebih rendah daripada *secondary cell* nya, hal ini untuk memastikan *primary* memiliki cakupan yang paling baik dan komunikasi yang paling dapat diandalkan. Namun, istilah *primary* dan *secondary* hanya merupakan label bagi telepon seluler tertentu : sebuah sel dapat secara bersamaan bertindak sebagai sebuah *primary* terhadap satu telepon seluler dan sebagai *secondary* terhadap yang lain. [1]

Pada saat *carrier aggregation*, sebuah perangkat seluler berkomunikasi dengan sebuah *base station* menggunakan banyak sel (*multiple cells*), yang beroperasi pada frekuensi *carrier* yang berbeda yang disebut sebagai *component carrier*. Terdapat tiga jenis *carrier aggregation*: *contiguous intra-band*

aggregation, dimana sel berada pada *band* frekuensi yang sama dan pada frekuensi yang berdekatan; *non-contiguous intra-band aggregation*, dimana sel berada pada *band* frekuensi yang sama tetapi dipisahkan oleh sebuah *frequency gap*; dan *inter-band aggregation*, dimana sel berada pada *band* frekuensi yang berbeda. [1]

2.2.5 Kelas Carrier Aggregation pada Band FR1 [10] [13]

Pada *band* FR1, untuk *release* 16, kategori kelas *radio bandwidth* didefinisikan pada Tabel 2. 7.

Tabel 2. 7 Carrier Aggregation class on band FR1 [12]

Aggregation Class	Total bandwidth	Number of CC
A	$BW_{channel} \leq BW_{channel, max}$	1
B	$20 \text{ MHz} \leq BW_{channel_CA} \leq 100\text{MHz}$	2
C	$100 \text{ MHz} < BW_{channel_CA} \leq 2 \times BW_{channel, max}$	2
D	$200 \text{ MHz} < BW_{channel_CA} \leq 3 \times BW_{channel, max}$	3
E	$300 \text{ MHz} < BW_{channel_CA} \leq 4 \times BW_{channel, max}$	4
G	$100 \text{ MHz} < BW_{channel_CA} \leq 150\text{MHz}$	3
H	$150 \text{ MHz} < BW_{channel_CA} \leq 200\text{MHz}$	4
I	$200 \text{ MHz} < BW_{channel_CA} \leq 250\text{MHz}$	5
J	$250 \text{ MHz} < BW_{channel_CA} \leq 300\text{MHz}$	6
K	$300 \text{ MHz} < BW_{channel_CA} \leq 350\text{MHz}$	7
L	$350 \text{ MHz} < BW_{channel_CA} \leq 400\text{MHz}$	8

Konfigurasi *band* transmisi maksimum ditentukan untuk setiap CC (*Component Carrier*) kanal radio agregat.

Kelas A sesuai dengan konfigurasi 5G-NR tanpa *carrier aggregation*. Maksimum *band carrier* 5G ($BW_{channel, max}$) tergantung pada jumlah *band* dan *numerology*. *Numerology* mendefinisikan *frequency spacing* SCS antara *sub-carrier* (*Sub Carrier Spacing*). Kelas B sesuai dengan total *bandwidth* di antara 20 MHz dan 100 MHz dengan penggabungan dua kanal radio. Kelas C sesuai dengan total *bandwidth* di antara 100 MHz dan 200 MHz dari penggabungan dua kanal radio, begitu seterusnya sesuai dengan Tabel 2. 7.

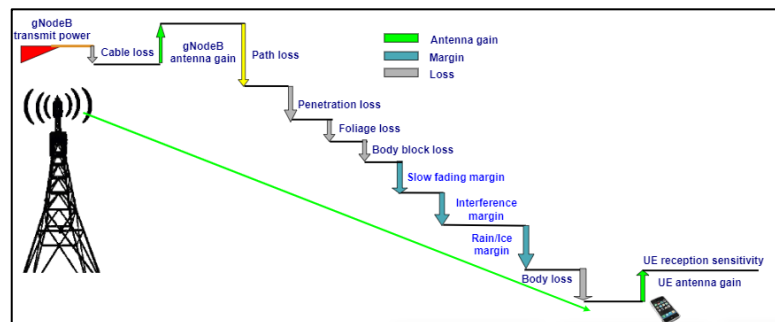
Adapun *carrier aggregation* terdiri atas: jenis *carrier aggregation* (*intra-band, contiguous; non contiguous*; atau *inter-band*); jumlah *band* 5G; dan kelas *bandwidth* dengan kemungkinan *bandwidth* pada setiap CC.

2.2.6 Coverage Planning [9]

Pada proses *coverage planning*, *link* diperkirakan sesuai dengan elemen-elemen seperti wilayah perencanaan, kapasitas jaringan, dan kinerja perangkat untuk mendapatkan *pathloss* maksimum. Radius sel maksimum diperoleh sesuai dengan model propagasi radio dan *maximum allowed pathloss* (MAPL). Sehingga kemudian cakupan wilayah *site* diperhitungkan dan dilakukan perhitungan kebutuhan jumlah *site*. Adapun jumlah *site* dari hasil perhitungan ini hanya untuk sel ideal, beberapa *site* tambahan akan dibutuhkan pada kondisi sebenarnya di lapangan.

2.2.7 Link Budget [8][11]

Link budget merupakan perhitungan untuk menentukan nilai keseluruhan *gain* dan *loss* yang terjadi antara *transmitter* dengan *receiver*, dimana perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai maksimum dari redaman lintasan yang diperbolehkan (*Maximum Allowable Pathloss/MAPL*) antara *User Equipment* (UE) dengan *eNodeB*. Perhitungan *link budget* antara 4G dengan 5G tidak memiliki perbedaan dari sisi konsep dasar, namun pada 5G diperkenalkan faktor pengaruh *body block loss*, *foliage loss*, serta *rain/snow attenuation* (khususnya untuk *mmWave*).



Gambar 2. 5 Link Budget [11]

Gambar 2. 5 menunjukkan parameter dalam perhitungan *link budget* untuk memperoleh nilai *Maximum Allowable Pathloss (MAPL) downlink*. Adapun *link budget* terdiri atas 2 jenis faktor, yaitu faktor pasti dan faktor tak pasti.

- 1) Faktor tentu: faktor yang menyesuaikan parameter sesuai dengan bentuk dan skenario dari produk yang telah ditentukan, seperti *power*, *antenna gain*, *noise figure*, *demodulation threshold*, *penetration loss*, dan *body loss*).
- 2) Faktor tak tentu: merupakan pengaruh beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan (seperti *slow fading margin*, *rain/snow margin*, dan *interference margin*). Faktor – faktor ini dianggap sebagai *link margin*.

Adapun parameter *link budget* yang dibutuhkan dalam perhitungan MAPL dapat ditunjukkan oleh Tabel 2. 8.

Tabel 2. 8 Parameter Perhitungan MAPL

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

Dari parameter *link budget* pada Tabel 2. 8, perlu dipertimbangkan nilai *loss* dan *gain* antara *gNodeB* dengan *User Terminal (UT)*, kemudian untuk nilai *resource block* diperlukan untuk perhitungan parameter *subcarrier quantity*, dimana nilai *resource block* menyesuaikan dengan jumlah *bandwidth* yang

digunakan dan ditunjukkan pada Tabel 2. 9. Adapun *subcarrier quantity* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1.

Tabel 2. 9 Jumlah *Resource Block* untuk *Medium Frequency Band*

<i>Bandwidth</i>	SCS(KHz)		
	15(KHz)	30(KHz)	60(KHz)
5 (MHz)	25	11	N/A
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)	N/A	162	79
70 (MHz)	N/A	189	93
80 (MHz)	N/A	217	107
90 (MHz)	N/A	245	121
100 (MHz)	N/A	273	135

$$Scq = RB \times S_{RB} \quad (2.1)$$

Scq = *Subcarrier quantity*

RB = *Resource block*

S_{RB} = *Subcarrier per resource block* (12)

Kemudian, untuk menghitung nilai *thermal noise* dapat menggunakan persamaan berikut.

$$Thermal\ noise = 10 \log (K.T.B) \quad (2.2)$$

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

T = Temperatur (293K)

B = *Bandwidth*

Selanjutnya, dari parameter *link budget* seperti yang ditunjukkan pada tabel di atas, maka untuk menghitung nilai MAPL dapat menggunakan persamaan 2.3.

$$Pathloss\ (dBm) = a - 10\log(b) + c - d - e - f - g - h - i - j + k - l - m - n \quad (2.3)$$

2.2.8 Model Propagasi *Urban Macro* [7]

Pada model propagasi *Urban Macro* dengan skenario *outdoor to outdoor* dan *outdoor to indoor*, *base station* dipasang di atas *rooftop* dari bangunan yang

ada di sekitarnya. Adapun parameter dalam *propagasi Urban Macro (UMa)* berdasarkan 3GPP TS 38.901 terdapat pada Tabel 2. 10 berikut.

Tabel 2. 10 Parameter Evaluasi Skenario UMa [15]

<i>Parameters</i>		<i>Uma</i>
<i>Cell layout</i>		<i>Hexagonal grid, 19 macro sites, 3 sectors per site (ISD = 500)</i>
<i>BS antenna Height h_{BS}</i>		<i>25m</i>
<i>UT location</i>	<i>Outdoor/Indoor</i>	<i>Outdoor and indoor</i>
	<i>LOS/NLOS</i>	<i>LOS and NLOS</i>
	<i>Height h_{UT}</i>	<i>$1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$</i>
<i>Indoor UT ratio</i>		<i>80%</i>
<i>UT mobility (horizontal plane only)</i>		<i>3km/h</i>
<i>Min. BS – UT distance ($2D$)</i>		<i>35m</i>
<i>UT distribution (horizontal)</i>		<i>Uniform</i>

Untuk perhitungan *pathloss* dengan menggunakan model propagasi *Urban Macro* dengan skenario LOS dapat menggunakan persamaan 2.4, 2.5, dan 2.6, dimana nilai h_{UT} adalah $1.5m \leq h_{UT} \leq 22.5m$, $h_{BS} = 25m$.

$$PL_{UMa-LOS} = \begin{cases} PL_1, & 10 m \leq d_{2D} \leq d'_{BP} \\ PL_2, & d'_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km \end{cases} \quad (2.4)$$

$$PL_1 = 28.0 + 22 \log(d_{3D}) + 20 \log(f_c) \quad (2.5)$$

$$PL_2 = 28.0 + 40 \log(d_{3D}) + 20 \log(f_c) - 9 \log((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2) \quad (2.6)$$

Untuk menghitung nilai d_{3D} yang merupakan resultan jarak antara h_{BS} dengan h_{UT} , terlebih dahulu tentukan nilai dari d'_{BP} , h'_{BS} , dan h'_{UT} menggunakan persamaan 2.7, 2.8, dan 2.9.

$$h'_{BS} = h_{BS} - h_E \quad (2.7)$$

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

$$d'_{BP} = 4 \times h'_{BS} \times h'_{UT} \times f_c/c \quad (2.9)$$

Setelah diperoleh nilai d_{3D} , selanjutnya menghitung nilai *cell radius* (d_{2D}) dengan menggunakan persamaan 2.10 dan 2.11.

$$Cell\ radius\ (d_{2D}) = \sqrt{(d_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2} \quad (2.10)$$

$$\text{Site coverage area} = 2.6 \times (d_{2D})^2 \quad (2.11)$$

Kemudian setelah mendapatkan nilai dari radius sel dan wilayah cakupan *site*, jumlah *gNodeB* yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.12.

$$\text{Number of sites} = \frac{\text{Total large of area}}{\text{Site coverage area}} \quad (2.12)$$








2.2.9 Parameter RF [8]

Berikut ini merupakan tiga parameter RF dalam 5G NR yang akan dianalisis dalam penelitian ini, yaitu *Synchronization Signal Reference Signal Received Power* (SS-RSRP), *Synchronization Signal Signal to Noise and Interference Ratio* (SS-SINR), dan *data rate*.

1. *Synchronization Signal Reference Signal Received Power* (SS-RSRP)

SS-RSRP didefinisikan sebagai rata-rata daya (dalam *Watt*) dalam waktu total yang diukur pada perangkat pengguna dari *synchronization signal* (SS) sekunder yang diberikan oleh sel pengirim. Adapun rentang nilai parameter SS-RSRP dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Rentang Nilai Parameter SS-RSRP [16]






Rentang Nilai SS-RSRP (dBm)	Kategori	Warna
SS-RSRP \geq -85	<i>Excellent</i>	
-90 \leq SS-RSRP < -85	<i>Very Good</i>	
-95 \leq SS-RSRP < -90	<i>Good</i>	
-100 \leq SS-RSRP < -95	<i>Normal</i>	
-105 \leq SS-RSRP < -100	<i>Fair</i>	
-110 \leq SS-RSRP < -105	<i>Bad</i>	
-115 \leq SS-RSRP < -110	<i>Very Bad</i>	

2. *Synchronization Signal Signal to Noise and Interference Ratio* (SS-SINR)

SS-SINR didefinisikan sebagai rata-rata linier atas daya kontribusi (dalam *Watt*) dari elemen sumber yang membawa SS sekunder dibagi

dengan rata-rata linier dari *noise* dan interferensi daya kontribusi (dalam *Watt*) elemen sumber yang membawa SS sekunder dalam *bandwidth* frekuensi yang sama. Tabel 2. 12 menunjukkan rentang nilai SS-SINR yang digunakan dalam perencanaan.

Tabel 2. 12 Rentang Nilai SS-SINR [16]

Rentang Nilai SS-SINR (dBm)	Kategori	Warna
$SS-SINR \geq 30$	Very Good	
$15 \leq SS-SINR \leq 30$	Good	
$0 \leq SS-SINR \leq 15$	Normal	
$-10 \leq SS-SINR \leq 0$	Bad	
$SS-SINR \leq -10$	Very Bad	

3. Data Rate

Data rate merupakan ukuran yang menunjukkan bit dalam data dalam proses transmisi yang dapat dikirim per satuan waktu, diukur dalam satuan bit per detik. Perkiraan kecepatan data pada 5G *New Radio* (NR) untuk sejumlah *carrier* tertentu pada suatu *bandwidth* atau kombinasi *bandwidth* dihitung menggunakan persamaan 2.13.

$$Data\ rate\ (Mbps) = 10^{-6} \sum_{j=1}^J (V_{Layers}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{max} \cdot \frac{N_{PRB}^{BW(j),\mu}}{T_s^\mu} \cdot (1 - OH^{(j)})) \quad (2.13)$$

Dimana:

J = Jumlah komponen *carrier*

$R_{max} = 948/1024$

$V_{Layers}^{(j)}$ = Jumlah layer MIMO maksimum

$Q_m^{(j)}$ = *Modulation order*

$f^{(j)}$ = *Scaling factor*

μ = *Numerology*

T_s^μ = *OFDM symbol*

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

$OH^{(j)}$ = *Overhead*