

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN TEORI

Penelitian[3] tentang perencanaan jaringan berbasis cakupan wilayah dengan menggunakan frekuensi mmWave 28 GHz di kawasan industri Pulogadung yang memiliki luas wilayah 5 km². Penelitian ini menggunakan berbagai skenario, termasuk 8 skenario untuk kondisi *uplink* dan *downlink*, yaitu *outdoor-to-outdoor* (O2O) dan *outdoor-to-indoor* (O2I), serta *line of sight* (LOS) dan *non-line of sight* (NLOS). Untuk menghitung *link budget*, digunakan *model* propagasi *Urban Micro* (UMi) yang telah distandarisasi oleh 3GPP TR 38.901. Hasil perhitungan mencakup nilai *pathloss*, jangkauan sel (*cell radius*), dan jumlah *site* yang dibutuhkan. Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut disimulasikan menggunakan *software Atoll* dengan metode *Automatic Site Placement* (ASP) untuk menentukan posisi *site* secara otomatis dan mendapatkan nilai parameter SS-RSRP. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dalam mengakomodasi trafik di kawasan industri Pulogadung, skenario *downlink* memerlukan lebih banyak *site* daripada skenario *uplink*. Skenario ke-8 memiliki jumlah *site* terbanyak untuk mencakup area perencanaan.

Penelitian[4] perencanaan jaringan berdasarkan cakupan wilayah dan analisis parameter penting seperti *Synchronization Signal - Reference Signal Received Power* (SS RSRP) yang relevan dalam teknologi 5G. Penelitian yang membahas tentang perencanaan jaringan generasi kelima (5G NR) dengan menggunakan frekuensi 3,5 GHz. Penelitian ini juga mengaplikasikan *Software Atoll* dalam simulasi dengan metode perencanaan fokus pada sisi cakupan wilayah, dengan studi kasus di Kawasan Industri Pulogadung seluas 5 km². Dalam perancangan ini, digunakan metode perencanaan khusus untuk 5G NR, yang melibatkan pemilihan *model* propagasi yang sesuai, yaitu *model UMa* (*Urban Macro - Street canyon*), yang telah disesuaikan dengan standar dari 3GPP TR 38.901. Selain itu, penelitian ini mencakup 8 skenario perancangan untuk kondisi *uplink* dan *downlink*, serta *outdoor-to-outdoor* (O2O) Hasil simulasi menunjukkan bahwa dalam perancangan jaringan dengan berbagai skenario, skenario *Downlink* memerlukan lebih banyak *site* untuk mencakup area layanan daripada skenario

uplink. Hal ini disebabkan oleh parameter dari *Link budget*, khususnya nilai interference margin yang lebih besar pada skenario *Downlink* dibandingkan dengan skenario *uplink*. Dari semua skenario yang diamati dalam parameter SS-RSRP, Skenario 7 (*Downlink-O2I-NLOS*) menunjukkan rata-rata SS-RSRP tertinggi, yaitu sebesar -74,65 dBm, sementara nilai rata-rata SS-RSRP terendah diperoleh dari Skenario 2 (*Uplink-O2O-LOS*) dengan nilai sebesar -95,014 dBm. Rata-rata SS-RSRP dipengaruhi oleh jumlah *site* yang mencakup area perencanaan, sehingga pada Skenario 7 memiliki nilai SS-RSRP paling tinggi di antara semua skenario yang diuji.

Penelitian [5] membahas analisis cakupan pada frekuensi 3,5 GHz melalui uji coba skala penuh dengan menggunakan *testbed* NR. Dalam uji coba tersebut, mereka menggunakan teknik *beamforming* untuk mengatasi peningkatan kerugian propagasi pada frekuensi 3,5 GHz dibandingkan dengan 2,1 GHz. Hasilnya menunjukkan bahwa cakupan pada frekuensi 3,5 GHz setara dengan cakupan LTE dengan *fixed antenna* pada frekuensi 2,1 GHz, baik di luar maupun di dalam ruangan. Teknologi *massive* MIMO yang diujicobakan pada frekuensi 3,5 GHz menunjukkan cakupan yang sangat baik. Dalam skenario downlink, throughput mencapai 700 Mbps dengan lebar *carrier* sebesar 80 MHz dan dapat mencapai jarak 700 meter untuk kasus *line of sight* (LOS). Dalam penyebaran *cell micro* di perkotaan yang padat, dapat dilayani throughput sebesar 200 Mbps pada kondisi *non-line of sight* (NLOS) sesuai dengan jangkauan sel yang diinginkan, seperti yang telah diuji dalam penelitian tersebut. Hasil uji coba ini menunjukkan potensi dan performa yang menjanjikan untuk frekuensi 3,5 GHz dalam implementasi teknologi 5G.

Penelitian[6] melakukan penelitian yang membahas analisis *Carrier Aggregation* pada teknologi LTE-Advanced di daerah Semarang Tengah. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan *software Atoll* untuk melakukan simulasi dengan menerapkan teknik *Inter-Band Carrier Aggregation* pada [7] LTE dengan kombinasi *band* 3 (1800 MHz) dan *band* 40 (2300 MHz). Penelitian ini menggabungkan dua jenis perencanaan, yaitu perencanaan berdasarkan cakupan (*coverage planning*) dan perencanaan berdasarkan kapasitas (*capacity planning*). Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi jumlah *site* yang diperlukan,

Reference Signal Received Power (RSRP), Carrier Interference to Noise Ratio (CINR), dan throughput. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk meng-cover wilayah Semarang Tengah dan melayani pelanggan LTE, diperlukan 1 *site* baik pada perencanaan dengan *Carrier Aggregation* maupun tanpa *Carrier Aggregation*. Pada perancangan jaringan LTE-Advanced dengan CADS 5, dicapai nilai CINR terbaik sebesar 21,89 dB, sementara jaringan LTE-Advanced dengan CADS 2 mencapai throughput terbesar, yaitu 1.152,2 Mbps. Kedua perancangan tersebut juga menunjukkan kualitas sinyal yang lebih baik dan kapasitas *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan LTE tanpa *Carrier Aggregation*. Hasil akhir dari penelitian ini mencakup perhitungan perencanaan cakupan dan kapasitas, jumlah *site* yang diperlukan, dan persentase *user connected* terbesar, yang pada perancangan LTE-Advanced CADS 2 dan CADS 5 mencapai 100%, artinya semua pengguna dapat mengakses jaringan. Hal ini disebabkan oleh kualitas sinyal yang kuat dan kapasitas *bandwidth* yang lebih besar yang disediakan oleh jaringan LTE-Advanced dengan *Carrier Aggregation*.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Perkembangan Teknologi Seluler

Teknologi seluler dibedakan menjadi 2 *standart* yaitu 3GPP dan 3GPP2. Pada *standart* 3GPP, perkembangan teknologi dimulai dari generasi pertama AMPS yang dikembangkan Amerika dan NMT yang dikembangkan dari Eropa, keduanya masih bersifat analog, dengan *Frequency Division Multiple Access (FDMA)* sebagai akses jamaknya. Tahun 1991 mulai dikembangkan teknologi seluler 2G / generasi kedua yang bersifat digital yaitu GSM yang telah menggunakan kombinasi antara FDMA dan *Time Division Multiple Access (TDMA)* pada akses jamaknya serta GMSK sebagai modulasinya, teknologi GSM, memiliki 3 band frekuensi pada 900 MHz, 1800 MHz, dan 1900 MHz, yang secara umum disebut GSM-900, DCS-1800, dan PCS-1900. GSM mendukung layanan berupa *voice* dan sms, sehingga muncul teknologi 2.5G yaitu GPRS yang dapat mendukung layanan paket data dengan *user data rate* hingga 160 kbps dengan penambahan *Packet Control Unit (PCU)* pada sisi radio aksesnya. Dikembangkan pula EDGE pada 2.75G dengan modulasi GMSK/8-PSK, serta memiliki data rate hingga 473,6 kbps.

Generasi ketiga/3G *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) diperkenalkan 3GPP release 99 tahun 2000, yang diharapkan dapat melayani kebutuhan pelanggan dalam akses data kecepatan tinggi atau *broadband*, sehingga banyak aplikasi dan fitur berbasis paket data yang dapat dilayani. Teknologi ini memiliki data rate hingga 2 Mbps per user. UMTS dikenal juga sebagai *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) *bandwidth* yang lebih lebar dari teknologi sebelumnya, dimana masing-masing user dibedakan berdasarkan kode, yaitu *OVSF code* dan *Scrambling Code*.

Long Term Evolution (LTE) adalah sebuah proyek yang dikembangkan oleh *Third Generation Partnership Project* (3GPP) untuk memperbaiki standar teknologi seluler generasi ketiga (3G) yaitu UMTS WCDMA. LTE merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya, yaitu UMTS (3G) dan HSDPA (3.5G), dan dianggap sebagai kandidat generasi keempat (4G). Teknologi ini mampu menyediakan kecepatan akses data hingga mencapai 100 Mbps pada downlink dan 50 Mbps pada *uplink*.

Salah satu keunggulan utama dari LTE dibandingkan dengan teknologi sebelumnya adalah dalam hal kecepatan akses data. Selain itu, LTE juga dapat memberikan *coverage* dan kapasitas layanan yang lebih besar, mengurangi biaya operasional, mendukung penggunaan *multiple-antenna*, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth*, dan memungkinkan *internetworking* dan *interkoneksi* dengan jaringan yang sudah ada sebelumnya. LTE juga mampu mendukung berbagai layanan seperti *voice*, data, video, termasuk IP TV, dan seluruh layanan tersebut disampaikan dalam format IP. Dengan kelebihan-kelebihan ini, teknologi LTE menjadi salah satu pilihan yang kuat untuk menghadirkan layanan seluler yang canggih, cepat, dan efisien, serta memungkinkan penggunaan aplikasi yang semakin beragam dan inovatif dalam ekosistem seluler [2].

Teknologi 5G New Radio (NR) merupakan sebuah *interface* baru yang dikembangkan khusus untuk 5G, yang berfungsi menghubungkan perangkat *smartphone* dengan *Base Transceiver Station* (BTS). Sebelumnya, antarmuka udara yang populer adalah LTE dan W-CDMA. Keunggulan utama dari teknologi 5G NR dibandingkan dengan teknologi sebelumnya adalah kemampuannya dalam mentransmisikan data dengan kecepatan sangat tinggi, mencapai 20 kali lebih cepat

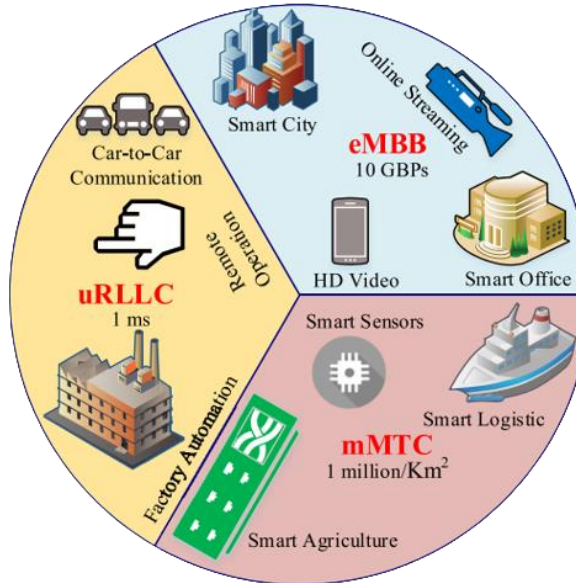
daripada 4G. Berdasarkan standar IMT-2020, 5G mampu mengirimkan data hingga kecepatan 20 Gbps. Selain itu, 5G juga dirancang untuk menyediakan jaringan berkapasitas tinggi dengan memanfaatkan frekuensi baru, seperti mmWave. Dengan kecepatan transmisi yang luar biasa dan kapasitas jaringan yang tinggi, teknologi 5G NR menjadi tonggak penting dalam perkembangan komunikasi seluler, memberikan potensi untuk menghadirkan aplikasi dan layanan yang lebih canggih, cepat, dan efisien, serta mendorong inovasi dalam berbagai bidang teknologi dan industri [4]. Penerapan jaringan 5G dengan sangat frekuensi tinggi dan *bandwidth* tinggi memastikan jaringan yang lebih baik layanan dari jaringan LTE. Prinsipnya, sebelum menggunakan 5G Teknologi *New Radio* (NR), perencanaan jaringan perlu mengidentifikasi jumlah *gNodeB* (gNB) yang dibutuhkan. 5G Baru Kriteria spektrum radio (NR) diklasifikasikan menjadi *Low Bands*, *Mid Band*, dan *High Band*. Itu akan memiliki kecepatan tinggi di mana pun ia berada menggunakan pita tinggi di atas 6 GHz rentang *mmWave*. Adapun beberapa parameter berdasarkan ITU-R 5G *New Radio* (NR) yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rekomendasi Pengembangan 5G NR dari ITU-R [4].

Parameter	IMT Advanced	IMT-2020
<i>Peak Data Rate</i> (Gbps)	1	20
<i>User Experience Data Rate</i> (Mbps)	10	30
<i>Spectrum Efficiency</i> (bps/Hz)	10	30
<i>Mobility</i> (km/h)	350	500
<i>Latency</i> (ms)	10	1
<i>Area Traffic Capacity</i> (Mbps/m ²)	0.1	1.0
<i>Connection Density</i> (dev/km ²)	10 ³	10 ⁶

Pengembangan 5G NR yang ditunjukkan Tabel 2.1 ITU-R telah menyiapkan proyek yang disebut IMT-2020 untuk menentukan jaringan komunikasi seluler generasi berikutnya untuk tahun 2020 dan seterusnya. ITU-R menerapkan beberapa skenario penggunaan utama dalam Rekomendasi ITU-R

M.2083 yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 yaitu *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra Reliable & Low Latency Communications* (URLLC) dan *massive Machine-Type Communications* (mMTC).



Gambar 2.1 Kategori layanan komunikasi seluler 5G [7].

Skenario penggunaan utama ITU-R yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 yang dimana 5G *New Radio* (NR) teknologi berusaha untuk meningkatkan perangkat generasi sebelumnya kemampuan. Teknologi 5G *New Radio* (NR) juga memiliki tujuan lain, yaitu untuk dapat mengintegrasikan banyak aplikasi dan jaringan seluler secara lebih efektif ke dalam jalur jaringan tunggal yang melakukan fungsi yang berbeda. Pada gambar 2.1 merupakan tiga tujuan utama untuk mengevaluasi parameter 5G teknologi NR yaitu eMBB, URLLC, dan mMTC.

a) *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB)

Teknologi *enhanced Mobile Broadband* (eMBB) adalah inovasi baru yang memungkinkan pengguna untuk mengunduh film definisi tinggi berdurasi panjang, sekitar 15GB, dalam waktu hanya 6 detik. Hal ini jauh lebih cepat dibandingkan dengan koneksi 4G yang saat ini memerlukan waktu sekitar 4 menit untuk mengunduh film yang sama. Dengan eMBB, jaringan 5G mampu mentransmisikan sejumlah besar data pada kecepatan yang jauh lebih tinggi. 5G dapat mencapai puncak transmisi data hingga 20Gbps, artinya sekitar 2,5GB data dapat ditransmisikan setiap detiknya. Ini merupakan lonjakan kemampuan yang signifikan dan akan membuka potensi baru dalam

pengalaman penggunaan internet dan layanan seluler.

b) *Ultra Reliable & Low Latency Communications* (URLLC)

Tujuan dari *Ultra Reliable & Low Latency Communications* (URLLC) dalam konteks kendaraan otonom adalah untuk menciptakan pengalaman berkendara yang seaman mungkin. Dengan adanya URLLC, insiden tabrakan kendaraan otonom cenderung lebih jarang terjadi pada era 5G. Hal ini disebabkan oleh penundaan sinyal yang sangat minim, hanya sekitar satu milidetik (ms), sehingga kendaraan dapat merespons dengan cepat saat bahaya terdeteksi. Ketika ada ancaman, mobil hanya akan bergerak beberapa sentimeter sebelum berhenti, memungkinkan reaksi yang sangat cepat dan pencegahan tabrakan yang efektif. Dengan teknologi URLLC, tingkat keamanan dan keselamatan berkendara dalam era 5G dapat ditingkatkan secara signifikan.

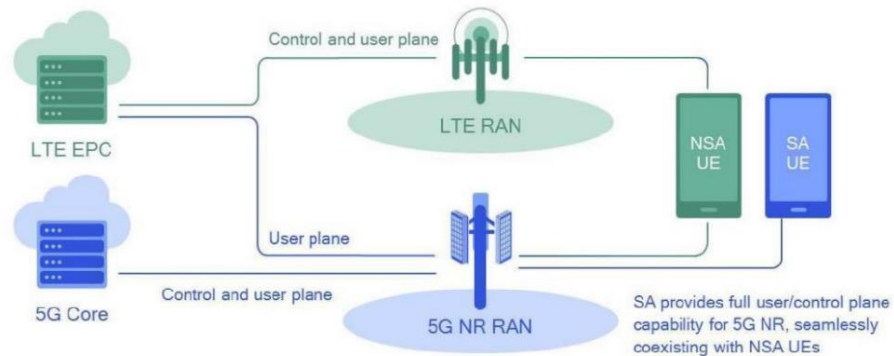
c) *Massive Machine-Type Communications* (mMTC)

massive Machine-Type Communications (mMTC) membentuk dasar untuk masa depan yang didukung oleh Internet of Things (IoT), di mana sebagian besar perangkat digital akan terhubung. Teknologi mMTC juga akan mendukung berbagai aplikasi industri. Sebagai contoh, penggunaan modul koneksi 5G yang terintegrasi dalam peralatan pabrik akan memungkinkan modifikasi proses manufaktur berdasarkan permintaan *real-time* dari konsumen. Dengan adanya fitur ini, interaksi antara peralatan dan sistem produksi akan menjadi lebih efisien dan adaptif terhadap perubahan permintaan dan kebutuhan pasar [8]. Teknologi 5G juga dikenal sebagai NR (Radio Baru), adalah solusi 3GPP memenuhi *International Telecommunication Union* - komunikasi radio (ITU-R), dan khususnya Kelompok Kerja 5D, didefinisikan persyaratan minimum untuk jaringan 5G atau *International Mobile Telekomunikasi* (IMT) 2020 jaringan.

2.2.2 Arsitektur Jaringan 5G

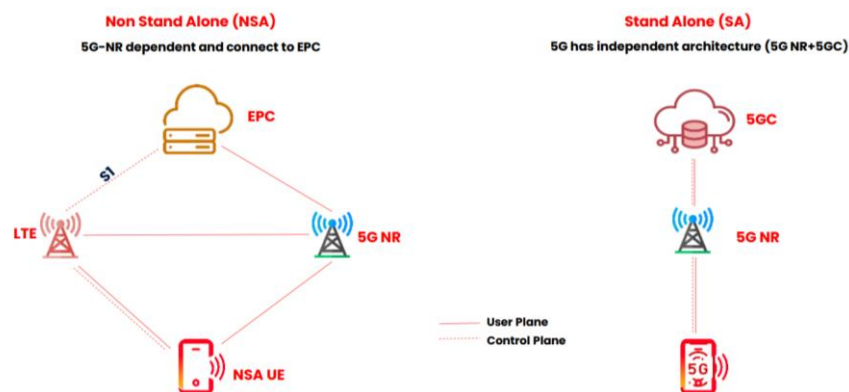
Pada Teknologi jaringan 5G *New Radio* (NR) diperkenalkan ke dalam dua kriteria, yaitu *nonstandalone* (NSA) dan *standalone* (SA). Skenario dalam NSA adalah kombinasi sel radio NR dan sel radio 4G *Long Term Evolution* (LTE) menggunakan konektivitas ganda untuk menyediakan akses radio dan jaringan inti

baik dari inti paket (EPC) atau inti 5G Core yang saling berinteraksi. Pada skenario *standalone* (SA), hanya teknologi akses radio 5G NR atau LTE yang digunakan, dengan jaringan inti yang beroperasi secara tunggal, hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.2 Arsitektur 5G New Radio (NR).



Gambar 2. 2 Arsitektur 5G NR[10].

Pada Gambar 2.2 terdapat arsitektur sistem 5G yang mencakup dua kriteria, yaitu *standalone* dan *standalone*. Didefinisikan untuk mendukung konektivitas data dan layanan yang memungkinkan penyebaran menggunakan teknik seperti misalnya virtualisasi Fungsi Jaringan dan Jaringan yang ditetapkan perangkat lunak. Arsitektur Sistem 5G akan memanfaatkan interaksi berbasis layanan antara Fungsi Jaringan *Control Plane* (CP) jika teridentifikasi. Pada Arsitektur Jaringan 5G di Indonesia dibagi menjadi dua kategori, yakni *Non Stand Alone* (NSA) dan *Stand Alone* (SA) yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 mengenai golongan jaringan 5G NR.



Gambar 2. 3 Golongan jaringan 5G New Radio[29].

Golongan Jaringan 5G pada Gambar 2.3 yang ditunjukkan mengenai

Golongan jaringan 5G *New Radio* (NR) yaitu *Non Stand Alone* (NSA) dan *Stand Alone* (SA).

a) *Non Stand Alone* (NSA)

5G *Non Stand Alone* (NSA) merujuk pada konsep dimana jaringan 5G akan bergantung pada infrastruktur yang sudah ada dari jaringan 4G. Dalam *mode* ini, *smartphone* yang mendukung 5G akan terhubung ke frekuensi radio 5G untuk mengakses *throughput* data yang lebih cepat, namun jaringan *core* yang digunakan masih berasal dari infrastruktur 4G. Infrastruktur 5G NSA difokuskan pada meningkatkan layanan *broadband* seluler (eMBB) dengan tujuan menyediakan peningkatan *bandwidth* data dan koneksi yang lebih handal. Hal ini dicapai melalui pemanfaatan dua rentang alokasi frekuensi radio baru yang diperkenalkan dalam teknologi 5G.

b) *Stand Alone* (SA)

5G *Standalone* (SA) adalah jenis jaringan 5G yang sepenuhnya didukung oleh infrastruktur 5G. Pada *mode* SA, *smartphone* yang mendukung 5G akan terhubung langsung ke frekuensi radio 5G untuk mengakses *throughput* data yang lebih cepat, dan juga terkoneksi ke jaringan *core* 5G. Dalam dokumen 3GPP release 16, banyak peraturan yang mengatur implementasi 5G *Standalone* (SA). Keuntungan dari *mode* SA adalah penyederhanaan dan peningkatan efisiensi jaringan, yang pada akhirnya akan menurunkan biaya operasional. Selain itu, *mode* SA juga meningkatkan kinerja *throughput* hingga ke tepi jaringan, sehingga mampu mendukung aplikasi komunikasi dengan latensi rendah (URLLC). *Mode Standalone* (SA) diharapkan dapat membawa manfaat signifikan dalam perkembangan teknologi komunikasi 5G ke depan.

2.2.3 5G Frequency Range

Sebagai teknologi komunikasi nirkabel, kebutuhan 5G terhadap spektrum frekuensi merupakan hal yang sangat penting. GSMA mengelompokkan spektrum ke dalam tiga kategori, yang masing-masing lebih sesuai untuk skenario penggelaran 5G yang berbeda mengenai spesifikasi frekuensi pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Spesifikasi rentang frekuensi 5G New Radio (NR) [4].

<i>Band</i>	<i>Frequency</i>	<i>Type</i>
FR 1	450 to 600 MHz	Sub 6 GHz
FR 2	2450 to 52600 MHz	mmWave

Spesifikasi rentang FR1 dan FR2 pada Tabel 2.2 merupakan kategori utama dari pita frekuensi dasar untuk 5G *New Radio* (NR), yang kemudian dapat dibagi lebih lanjut menjadi tiga band :

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

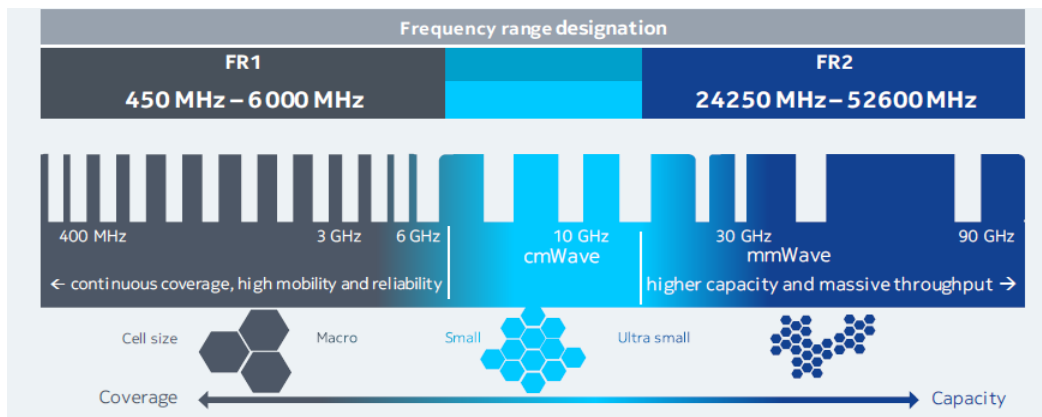
Adapun Rentang Frekuensi 5G NR *High Band* ditunjukkan pada Tabel 2.3 dengan beberapa kategori.

Tabel 2. 3 Rentang frekuensi 5G[12].

<i>Frequency Center</i>	<i>Range</i>
Band Frekuensi 3.5 GHz	3.3 – 4.2 GHz
Band Frekuensi 15 GHz	14.5 – 15.35 GHz
Band Frekuensi 26 GHz	24.25 – 27.5 GHz
Band Frekuensi 28 GHz	26.5 GHz – 29.5 GHz

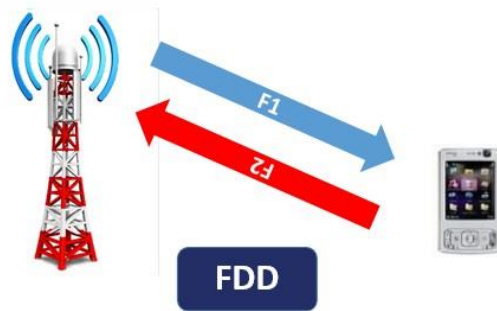
Tabel 2.3 merupakan frekuensi *High Band* pada 5G NR, adapun beberapa *band* frekuensi *high band* dimana nantinya ditunjukkan pada Gambar 2.4 mengenai *frequency range*. Pita frekuensi 5G terdiri dari rentang frekuensi, operator seluler memiliki bagian dari band yang berbeda untuk membangun jaringan 5G mereka. Kecepatan dan jangkauan sinyal seluler 5G akan bervariasi tergantung di mana frekuensi 5G termasuk dalam spektrum.

Teknologi 5G membutuhkan spektrum dengan tiga rentang frekuensi utama, mereka adalah Pita frekuensi rendah (*low band*), pita frekuensi menengah (*mid band*), dan pita frekuensi tinggi (*high band*). *Low Band* merupakan frekuensi dibawah 1GHz yang digunakan untuk *coverage* untuk aplikasi mMTC. *Mid Band* merupakan frekuensi mulai dari 1 – 6 GHz dengan lebih luas *bandwidth* yang digunakan untuk eMBB dan missioncritical. Sedangkan *High Band* menggunakan frekuensi di atas 24 GHz yang digunakan untuk sesuatu yang besar yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Penunjukan *frequency range* [10].

Frequency Band dipilih berdasarkan Gambar 2.4 banyak pertimbangan, salah satunya adalah pita frekuensi tes dan alat yang digunakan oleh operator seluler yang hanya dapat beroperasi pada rentang frekuensi tertentu yang menimbulkan tantangan baru bagi telekomunikasi penyedia layanan di Indonesia untuk melakukan pengaturan sesuai rencana untuk mendapatkan yang terbaik jaringan untuk melayani pelangandi seluruh Indonesia. Studi menjelaskan jaringan 5G *coverage planning* berdasarkan *path loss* propagasi dan *throughput* pada benda kerja frekuensi 869MHz menggunakan *rooftop tower* dengan ketinggian yang berbeda sesuai dua pita frekuensi *band* Pada penelitian ini, akan digunakan dua jenis pita frekuensi, yaitu *Frequency Division Duplex* (FDD) dan *Time Division Duplex* (TDD) yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan 2.6.



Gambar 2.5 *Frequency Division Duplexing (FDD)* [13].

Pada Gambar 2.5, terdapat sistem *Frequency Division Duplex* (FDD) di mana frekuensi *uplink* dan *downlink* dipisahkan, memungkinkan perangkat untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data secara bersamaan. Jarak antara saluran *uplink* dan *downlink* disebut sebagai jarak *duplex*. Saluran *uplink* beroperasi pada frekuensi yang lebih rendah karena frekuensi yang lebih tinggi cenderung mengalami redaman lebih besar. Dengan cara ini, ponsel dapat memanfaatkan tingkat pengiriman yang lebih rendah dan tetap mencapai efisiensi komunikasi yang baik.



Gambar 2.6 *Frequency Time Division Duplex (TDD)* [13].

Gambar 2.6 menggambarkan *Mode TDD* yang memungkinkan operasi *full duplex* dengan menggunakan satu pita frekuensi tunggal dan membagi waktu untuk *multiplexing* sinyal *uplink* dan *downlink*. Setiap kanal dipisahkan menggunakan basis waktu, sehingga setiap kanal memiliki *time slot* yang berbeda. Salah satu keuntungan utama dari TDD adalah kemampuannya untuk memberikan alokasi asimetris antara *uplink* dan *downlink*. Selain itu, TDD juga memberikan manfaat seperti alokasi dinamis, peningkatan efisiensi spektral, dan meningkatkan penggunaan teknik *beamforming*. Adapun operasi frekuensi FDD dan TDD pada

frequency range 1 yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 mengenai operation gBand di masing masing kategori.

Tabel 2. 4 FDD dan TDD pada FR1 untuk 5G-New Radio [14].

FR 1 NR operation g band	Uplink (UL) operating band BS receive / UE transmit $F_{UL_low} - F_{UL_high}$	Downlink (DL) operating band BS transmit / UE receive $F_{DL_low} - F_{DL_high}$	Duplex Mode
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
n18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n53	2483.5 MHz – 2495 MHz	2483.5 MHz – 2495 MHz	TDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz – 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD
n77	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz – 3800MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD

Tabel 2.4 menunjukkan *Frequency Division Duplex* (FDD) dan *Time Division Duplex* (TDD) pada 5G New Radio (NR). Penulis menggunakan frekuensi TDD pada FR1 gBand n40 2300Mhz. Adapun FR 2 sebagai pembanding FR1 ditunjukkan pada Tabel 2.5 mengenai *operating Band* pada FR2.

Tabel 2. 5 5G New Radio Frequency Band di FR2 [14].

FR2 Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive			Downlink (DL) operating band BS transmit			Duplex Mode
	UE transmit			UE receive			
	$F_{UL_low} - F_{UL_high}$			$F_{DL_low} - F_{DL_high}$			
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

Frequency Range 2 pada teknologi 5 New Radio (NR) dengan *duplex mode* frekuensi TDD. Dipengaruhi *frequency range* FR1 dan FR2 pada teknologi 5G New Radio (NR) menggunakan *Channel Bandwidth* yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

Sub-6 GHz - Channel BW and number of RBs

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

mmWave - Channel BW and number of RBs

SCS (kHz)	50 MHz	100 MHz	200 MHz	400 MHz
60	66	132	264	-
120	32	66	132	264

Resource Block is defined as 12 consecutive OFDM subcarriers in frequency, regardless of the numerology.

Gambar 2. 7 Channel Bandwidth [15].

Pada 3GPP *release* 15 yang terletak pada Gambar 2.7 dimana *channel Bandwidth* mendukung 275 PRB dan membatasi *bandwidth* per operator hingga 400 MHz, yang dimana menghasilkan bandwidth operator maksimum 50/100/200/400 Mhz untuk SCS 15/30/60/120 kHz.

2.2.4 Penyediaan Alokasi Spektrum Frekuensi Di Indonesia.

Penyediaan Alokasi spektrum frekuensi di Indonesia pada saat ini memiliki lapisan dan mempunyai frekuensi yang berbeda beda, Pada Teknologi 5G New

Radio (NR) saat ini sudah mengimplementasikan di Indonesia yang dicantumkan di Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Implementasi Frekuensi 5G NR. [16]

Lapisan	FR
<i>Lower band</i>	700 dan 800Mhz
<i>Middle Band</i>	2,6Ghz dan 3,5Ghz
<i>High Band</i>	26Ghz

Secara prinsip yang dicantumkan pada Tabel 2.6, implementasi frekuensi 5G harus mencakup tiga lapisan, yaitu *lower band*, *middle band*, dan *high band*. Di *upper band*, Indonesia memiliki frekuensi 26 GHz yang belum digunakan dan menjadi salah satu opsi untuk implementasi 5G. Di *middle band*, frekuensi 2,6 GHz dan 3,5 GHz saat ini digunakan untuk koneksi satelit oleh pengguna seperti Indovision dan BRI. Sementara itu, di *lower band*, ada dua opsi frekuensi yaitu 700 MHz dan 800 MHz. Frekuensi 700 MHz saat ini masih digunakan untuk siaran TV analog, dan rencananya akan beralih ke siaran TV digital sebelum dapat diimplementasikan untuk 5G, yang ditunggu persetujuan UU Penyiaran. Sementara itu, frekuensi 800 MHz telah ditata ulang dan saat ini digunakan untuk layanan 4G oleh operator seluler setelah proses refarming pada April 2019 sesuai spektrum pada Gambar 2.8.

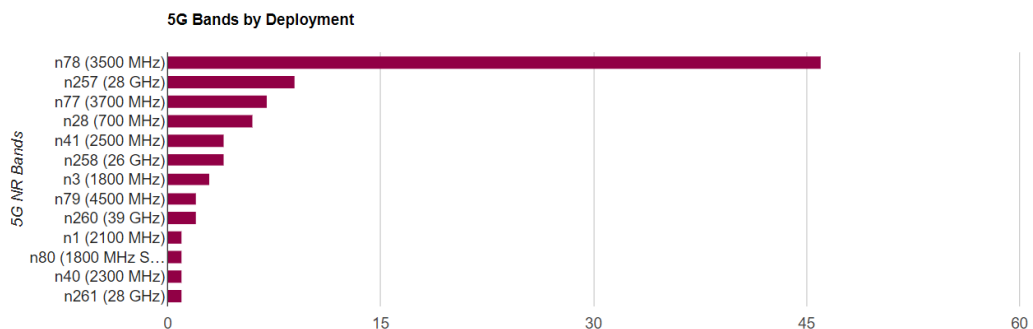


Gambar 2. 8 Spektrum 5G NR di pasar global [17].

Dalam komunikasi seluler yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 Frekuensi pita yang lebih rendah memiliki kemampuan untuk mendukung cakupan area yang lebih baik. Hampir semua negara, termasuk Indonesia, telah menggunakan spektrum pita rendah dan menengah (dibawah 6 GHz) untuk sistem teknologi 2G, 3G, dan 4G. Selain mencapai *throughput* data yang tinggi, penting juga untuk memastikan cakupan luas dan sinyal yang dapat menjangkau area luar ruang. Oleh karena itu, pita spektrum di bawah 6 GHz merupakan bagian yang sangat penting dalam solusi spektrum 5G. Saat ini, hampir semua rentang frekuensi yang digunakan oleh operator di Indonesia terfokus pada spektrum di bawah 3 GHz, dengan beberapa puluh *megahertz* digunakan untuk komunikasi seluler. Frekuensi 450 MHz hingga 467 MHz digunakan untuk komunikasi seluler dengan teknologi *fixed wireless* oleh operator Ceria. Sementara itu, frekuensi 478-798 MHz digunakan untuk broadcast TV, namun ada kemungkinan frekuensi ini akan dialihkan penggunaannya untuk teknologi 5G *New Radio*. Kelebihannya, pada frekuensi ini, 5G NR akan memiliki cakupan yang luas karena bekerja pada frekuensi rendah [18].

2.2.5 Frekuensi FDD 2100MHz dan TDD 2300MHz di Indonesia.

5G NR (*New Radio*) telah dikembangkan untuk beroperasi di dua pita berbeda, Setiap band dapat beroperasi dalam *mode* dupleks FDD atau TDD. Pita dapat berupa pita tambahan *downlink-only* (SDL) atau *uplink-only* (SUL) yang digunakan untuk menyediakan kapasitas tambahan di masing-masing arah. Pada 5G NR juga mempunyai beberapa *band* pita frekuensi NR dari data statistik pada Gambar 2.9 Jaringan 5G NR.



Gambar 2.9 Jaringan Aktif 5G NR [29].

Penelitian akhir ini yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 ditulis penulis

mengacu pada frekuensi *band* 2100MHz dan 2300MHz yang dimana frekuensi tersebut digunakan pada frekuensi *New Radio* saat ini yaitu yang ditujukan pada gambar pada kategori n1 untuk Frekuensi FDD dan n40 untuk frekuensi TDD. Provider Telkomsel di Indonesia Telkomsel telah berhasil memenangkan seleksi penggunaan pita frekuensi radio 2100MHz untuk penyelenggaraan jaringan bergerak seluler pada tahun 2022 yang diadakan oleh Kemkominfo RI. Dengan tambahan spektrum ini, Telkomsel berencana meningkatkan kapasitas dan kualitas jaringan bergerak seluler untuk memberikan pengalaman pengguna digital terdepan. Selain itu, langkah investasi korporasi ini juga bertujuan untuk mendukung transformasi digital di berbagai sektor industri melalui akses *broadband* yang andal, cepat, merata, dan setara hingga ke seluruh pelosok negeri. Dalam proses implementasi, Telkomsel telah mempertimbangkan berbagai aspek yang relevan untuk mencapai tujuan tersebut, di antaranya strategi pengembangan investasi dan bisnis yang matang, serta *roadmap* perusahaan sebagai digital *connectivity enabler* yang terus membuka lebih banyak peluang untuk kemajuan bangsa dengan memperkuat *trifecta* digital bisnis Telkomsel yang meliputi keunggulan dalam menghadirkan digital *connectivity*, digital *service*, dan digital *platform*” dengan menggunakan lisensi frekuensi pada Telkomsel yang ditunjukkan pada Tabel 2.7.

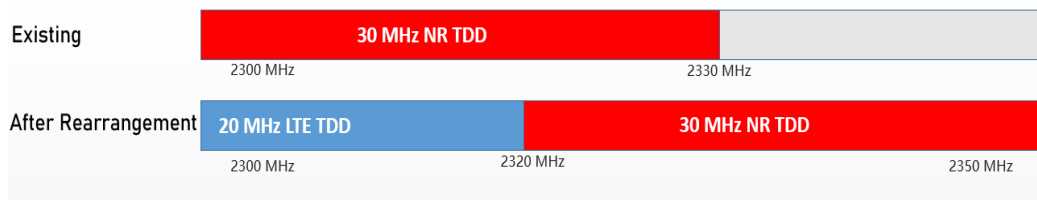
Tabel 2.7 Lisensi Frekuensi Telkomsel (update data November 2022 [29]).

FR	Lebar Pita
2300MHz	50MHz
2100MHz	20MHz
1800MHz	22,5MHz
800/900MHz	15Mhz

Peningkatan frekuensi di Indonesia khususnya pada Telkomsel yang ditunjukkan pada Tabel 2.7 sendiri berpengaruh bagi kapasitas *user smartphone* seperti diketahui penetrasi atau peningkatan *smarthphone* di Indonesia semakin meningkat tiap tahun Pada pertemuan yang diadakan pada November 2022, Direktur Jenderal Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika Kementerian Kominfo, Ismail, mengungkapkan bahwa tingkat penetrasi teknologi informasi dan

komunikasi telah mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Mulai dari tahun 2015 sebesar 27 persen, tahun 2016 sebesar 38 persen, tahun 2017 sebesar 45 persen, tahun 2018 sebesar 55 persen, tahun 2019 sebesar 63 persen, tahun 2020 sebesar 70 persen, hingga mencapai 75 persen pada tahun 2021, dan target untuk tahun 2022 adalah mencapai 80 persen. Mempunyai target penetrasi *smarthphone* agar bisa meningkat terus sesuai prediksinya pada 2023 sebesar 82 persen, tahun 2024 sebesar 85 persen, dan tahun 2025 sebesar 89 persen.

Dalam penelitian akhir ini, peneliti menggunakan dua frekuensi yaitu Frekuensi FDD 2100MHz dan TDD 2300MHz, yang saat ini digunakan secara *real-time* di Indonesia, terutama di Kota Jakarta. Frekuensi FDD (*Frequency Division Duplexing*) dibagi berdasarkan frekuensi, dan dalam perencanaan penelitian ini, digunakan NR2100MHz 20MHz, yang berarti FDD memiliki 20MHz pada frekuensi *downlink* dan 20MHz pada frekuensi *uplink* sesuai dengan Gambar 2.10 mengenai NR *frequency Location*.



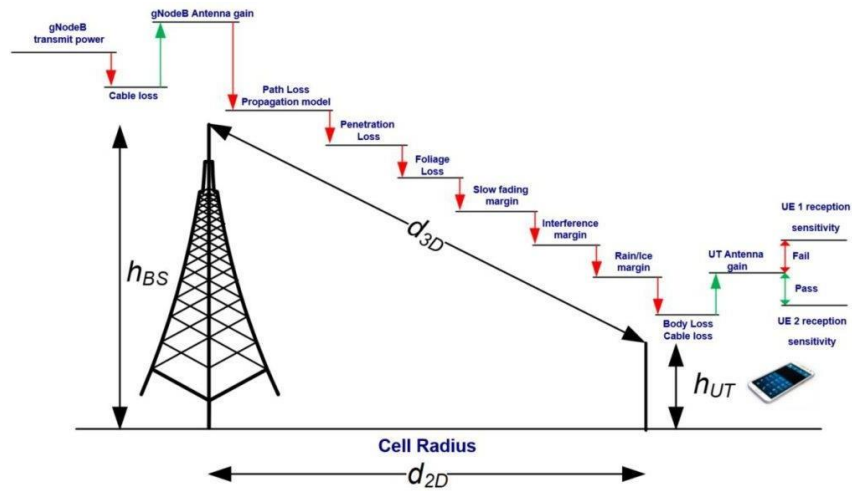
Gambar 2.10 NR *frequency Location* [29].

Sedangkan Gambar 2.10 pada frekuensi TDD (*Time Division Duplex*) menunjukkan NR2300. Perbedaan antara FDD (*Frequency Division Duplexing*) dan TDD (*Time Division Duplex*) terletak pada pembagian sinyal. Pada FDD, frekuensi dibagi untuk *downlink* dan *uplink*, sedangkan pada TDD, pembagian dilakukan berdasarkan waktu. Dalam kasus NR2300, sinyal hanya memiliki 30MHz untuk *downlink* dan *uplink* secara bersama-sama, yang dipisahkan berdasarkan waktu.

2.2.6 Link Budget

Link budget adalah suatu estimasi dari redaman propagasi maksimum yang masih dapat ditoleransi agar gNodeB (stasiun basis pada jaringan 5G) dan UE (Unit Terminal pada jaringan 5G) tetap dapat terhubung secara optimal. Estimasi ini dikenal juga sebagai *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) dengan parameter

link budget yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Parameter 5G NR Link Budget [28].

Parameter dan perhitungan *Radio Link Budget* pada Gambar 2.11 digunakan untuk mengestimasi redaman maksimum sinyal yang diizinkan antara antena Unit Terminal pada jaringan 5G (UE) dengan antena stasiun basis pada jaringan 5G (eNodeB). Nilai *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) berbeda untuk arah *uplink* dan *downlink*, dan dihitung berdasarkan *model* propagasi yang sesuai 3GPP 38.901 dengan langkah pertama yaitu dari parameter EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) untuk mengukur daya keluaran dari antena *isotropik* ideal (mendistribusikan daya secara merata ke segala arah) dalam satu arah. Untuk menentukan nilai EIRP dalam kalkulasi perhitungan dapat dirumuskan sebagai persamaan berikut:

$$EIRP = eNb \text{ Tx Power} + eNb \text{ Gain} - \text{Feeder Loss} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$eNb \text{ Tx Power}$ = power maksimal

$eNb \text{ Gain}$ = Gain Transmitter

$feeder \text{ Loss}$ = lost signalling

Dimana $eNb \text{ Tx Power}$ adalah kekuatan maksimal pada *eNodeB* dan memuat nilai atau *value* (dBm), $eNb \text{ Gain}$ adalah *Gain* yang terdapat pada *transmitter* dengan *value* (dBi), sedangkan *feeder Loss* yang mempunyai arti *loss signalling* atau biasanya bisa didefinisikan hilangnya sinyal yang disebabkan oleh berbagai perangkat yang terletak di *antenna* ke UE. Sedangkan untuk mencari nilai *receiver* dilakukannya langkah perhitungan seperti menentukan nilai *Thermal Noise* dan *Receiver*

Sensitivity. Thermal Noise merupakan suatu *noise* yang disebabkan adanya efek panas dari suatu perangkat dengan menggunakan perhitungan 2.2 :

$$N_{Thermal} = 10 \times \log(\text{Boltzman Constant} \times \text{Temperature} \times \text{BW}) \quad (2.2)$$

Keterangan:

$$\text{Boltzman Constant} = 1.38 \times 10^{-23}$$

$$\text{Temperature} = \text{Suhu (kelvin)}$$

$$\text{BW} = \text{Bandwidth}$$

Blotzman Constant merupakan rata rata energi termal relatif partikel dalam gas dengan termodinamika, penyelesaian *Blotzman Constant* mengikuti panduan perhitungan dari standarisasi 3GPP, *Temperature* yang digunakan dalam perhitungan *Thermal Noise* yaitu menggunakan suhu *kelvin* dimana untuk *bandwidth* menggunakan satuan (MHz).

Selanjutnya untuk menentukan nilai *Sensitivity Receiver* (SR). SR adalah pengukuran sinyal terlemah yang dapat diterima oleh UE yang dimana sensitivitas penerima sangat dipengaruhi oleh sejumlah faktor termasuk lokasi dan penempatan di dalam perangkat nirkabel. Adapun perhitungan sensitivitas penerima pada persamaan 2.3 :

$$SR_{UE} = NF_{UE} + TN_{UE} + SINR \quad (2.3)$$

Keterangan:

$$NF_{UE} = \text{UE Noise Figure}$$

$$TN_{UE} = \text{Thermal Noise}$$

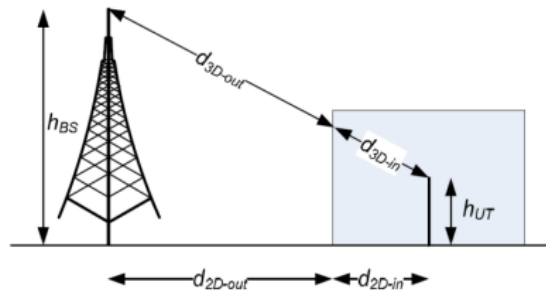
$$SINR = \text{Signal to Interference Noise Ratio.}$$

Dimana *UE Noise Figure* merupakan nomor yang digunakan untuk menentukan kinerja *receiver radio* (dB), *thermal noise* yang digunakan pada perhitungan SR_{UE} yaitu hasil perhitungan *thermal noise* yang terdapat pada persamaan 2.2. Sedangkan *SINR* merupakan ukuran kualitas sinyal (dB) yang dapat didefinisikan sebagai rasio kekuatan sinyal yang diinginkan, dan juga dipengaruhi oleh jumlah *resource block* dalam.

2.2.7 Path Loss

Path loss adalah penurunan daya sinyal yang terjadi saat informasi dikirim melalui gelombang radio dari pemancar ke penerima. Redaman ini merupakan hasil

dari kombinasi redaman di ruang bebas dan redaman akibat *fading* dari objek-objek di sekitarnya. Besar redaman *path* dipengaruhi oleh frekuensi dan jarak transmisi. Selain itu, tinggi antenna pemancar (h_{BS}) dan antenna penerima (h_{UT}) juga memiliki peran penting dalam mempengaruhi *path loss* saat gelombang radio dikirim dalam suatu jaringan. Selain itu, gelombang radio dapat terjadi dalam dua kondisi yaitu *Line of Sight* (LOS) dan *Non Line of Sight* (NLOS) dengan definisi penggunaan *outdoor* dan *indoor* pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Definisi d_{2D} – d_{3D} penggunaan *Outdoor* dan *Indoor*[29].

Penggunaan *Outdoor* dan *Indoor* pada Gambar 2.12 dapat diperhitungkan dengan menggunakan persamaan 2.4

$$d_{3D-out} + d_{3D-in} = \sqrt{(d_{2D-out} + d_{2D-in})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2} \quad (2.4)$$

Keterangan :

d_{3D} = sisi miring antara *antenna* pemancar dengan UE

h_{UT} = tinggi *user*

h_{BS} = tinggi antenna

Pada Perhitungan *pathloss* untuk menentukan cakupan area selain memperhatikan perhitungan *model* propagasi, pada perencanaan *5G New Radio* (NR) ini perlu juga dilakukan untuk mendapatkan nilai maksimum *loss* yang diizinkan pada sistem perencanaan yang dibuat tersebut. *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) dihitung pada penelitian ini dihitung pada sisi *downlink*, sehingga ketika pelanggan mengalami *loss* lebih kecil dari pada nilai MAPL yang telah diperhitungkan, maka pelanggan masih dapat mengakses layanan. Untuk didapatkan nilai MAPL dapat dihitung melalui persamaan 2.5 :

$$MAPL = EIRP - SRUE - I\text{Margin} - F\text{Margin} - P\text{Loss} - B\text{Loss} +$$

$$\mathbf{UEGain} \quad (2.5)$$

Keterangan:

\mathbf{EIRP} = *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)

\mathbf{SR}_{UE} = Sensitivitas Penerima

\mathbf{I}_{Margin} = *Interference Margin*

\mathbf{P}_{Loss} = *Penetration Loss*

\mathbf{B}_{Loss} = *Body Loss*

\mathbf{UEGain} = *UE Gain*

Hasil perhitungan MAPL untuk mencari nilai radius sel. *Cell radius* sebagai d_{2D} dari rumus *pythagoras* sesuai pada Gambar 2.11 dengan persamaan 2.6 :

$$\mathbf{d2D} = 10^{\frac{(\mathbf{MAPL}-46.3-33.9 \times \log(fc)+13.82 \times \log(h_{UT}+a_{hm}))}{(44.9-6.55 \times \log(h_{UT}))}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

\mathbf{MAPL} = nilai total *path loss*

\mathbf{F}_c = Frekuensi yang digunakan

\mathbf{H}_{UT} = tinggi *antenna*

\mathbf{a}_{hm} = *mobile station antenna factor*

Perhitungan *cell radius* sebagai d^2 digunakan untuk menghitung cakupan area dengan persamaan:

$$\mathbf{Coverage Area (CA)} = 1.95 \times 2,6 \times d^2 \quad (2.7)$$

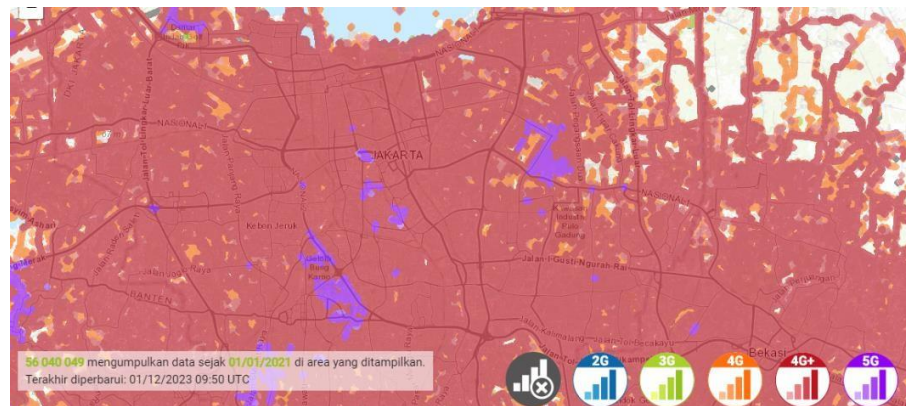
Dengan menentukan cakupan area untuk mencari nilai jumlah *site gNodeB* dimana d^2 sebagai nilai radius sel nilai frekuensi FDD 2100MHz dan TDD 2300MHz untuk dilanjutkannya pada perhitungan:

$$\mathbf{Jumlah gNodeB} = \frac{\mathbf{Total\ luas\ permukaan\ daerah\ (m^2)}}{\mathbf{Coverage\ Area\ dari\ gNodeB\ (m^2)}} \quad (2.8)$$

Perhitungan Jumlah *site* pada FDD 2100MHz dan TDD 2300MHz yang dilakukan penelitian ini penulis mengambil *sample* daerah di salah satu wilayah Jakarta Selatan yaitu pada Kawasan Pondok Indah yang akan dikalkulasi pada Sub Bab analisis pembahasan dengan memperhitungkan persamaan.

2.2.8 Coverage Planning

Coverage Planning merupakan pendekatan perencanaan jaringan seluler yang fokus pada teknologi 5G *New Radio* dengan tujuan memastikan jaringan memberikan sinyal layanan di seluruh area cakupan yang akan dievaluasi. Proses *coverage planning* dapat dipengaruhi oleh sejumlah parameter penting, termasuk daya pancar, daya terima, *path loss*, sensitivitas perangkat, perhitungan link budget, dan analisis perhitungan radius sel pada *coverage* yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 di Kota Jakarta. [30].



Gambar 2.13 Coverage 5G New Radio pada Wilayah Jakarta

Pada *coverage* di wilayah Jakarta khususnya di Kota Jakarta adanya beberapa jaringan yang belum terjangkau dengan 5G. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa wilayah yang berwarna merah atau orange yaitu masih dalam koneksi 4G+ atau 4G LTE, sedangkan wilayah yang sudah mempunyai *coverage* 5G yaitu wilayah yang berwarna ungu dan data tersebut tertanda terakhir diambil pada tanggal 1 januari 2023, hal ini menandakan bahwa sampai sekarang pada wilayah ibu kota Jakarta masih sedikit jangkauan atau *coverage site* 5G. Hasil *coverage* yang menampilkan parameter *Secondary Synchronization – Reference Signal Received Power (SS-RSPP)* dan *Signal to Noise and Interference Ratio (SS-SINR)*. *Secondary Synchronization – Reference Signal Received Power (SS-RSPP)* merujuk pada daya rata-rata yang diterima dari satu Elemen Sumber Daya yang ditetapkan untuk Sinyal SS atau bisa digunakan sebagai ukuran kekuatan sinyal. Sementara itu, *Signal Interference to Noise Ratio (SS-SINR)* adalah parameter yang mengindikasikan kualitas sinyal yang diterima pengguna dalam satuan dB, serta berfungsi sebagai perbandingan antara kekuatan sinyal terima dan tingkat interferensi. Adapun parameter *Secondary Synchronization – Reference Signal*

Received Power (SS-RSPP) dan *Signal to Noise and Interference Ratio* (SS-SINR) yang ditunjukkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Legenda SS-RSPP [16] .

SS-RSRP (dBm)	Legend	Keterangan
< -120		Sangat Buruk
-120 s/d -110		Buruk
-110 s/d -95		Cukup
-95 s/d -75		Baik
-75 s/d -65		Sangat Baik
-65 s/d -0		<i>Excelent</i>

Received Signal Reference Power (RSPP) pada Tabel 2.8 merupakan parameter yang menyatakan tingkat kekuatan sinyal yang diterima oleh user dalam satuan dBm. Nilainya bergantung jarak user dengan eNodeB. Semakin jauh maka semakin lemah, begitu juga dengan sebaliknya, user yang berada di luar jangkauan maka tidak akan mendapatkan layanan, Sedangkan parameter *Signal to Noise and Interference Ratio* (SS-SINR) ditunjukkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Legenda SS-SINR [16].

SINR (dB)	Legend	Keterangan
<0		Sangat Buruk
0 s/d 5		Buruk
5 s/d 10		Cukup
10 s/d 20		Baik
20 s/d 30		Sangat Baik
>30		<i>Excellent</i>

Tabel 2.9 SINR merupakan parameter yang menyatakan tingkat kualitas sinyal yang diterima oleh user dalam satuan dB. SINR merupakan perbandingan kekuatan sinyal terima dengan derau/interferensi.

2.2.9 Data Rate

Data Rate merupakan ukuran kecepatan *bit* data dalam proses transmisi dan dihitung dalam *bit* per detik. Teknologi 5G menawarkan kecepatan yang jauh lebih tinggi daripada 4G, dengan kecepatan data maksimum mencapai 20 Gigabit per detik (Gbps) dan kecepatan data rata-rata 100 Megabit per detik (Mbps). 5G juga memiliki kapasitas jaringan yang lebih besar, dirancang untuk mendukung peningkatan hingga 100 kali lipat dalam kapasitas lalu lintas efisiensi.

juga berkaitan dengan kemampuan sistem untuk mempertahankan sejumlah pelanggan tertentu. Dalam 3GPP sistem, baik kapasitas dan jangkauan saling terkait. Untuk meningkatkan kualitas cakupan di area tertentu, kapasitas harus dikorbankan, sedangkan untuk meningkatkan kapasitas, cakupan harus dikorbankan.

Proses perencanaan RF terutama terdiri dari empat fase:

- a) *Link Budget*
- b) Detail pemodelan Propagasi RF
- c) Penyesuaian & Pengoptimalan Parameter
- d) Pengoptimalan Berkelanjutan

Perencanaan RF juga dipengaruhi dengan pemanfaatan *Resource Block* kapasitas pada cakupan area yang ditunjukkan pada Gambar 2.14

SCS [kHz]	5 MHz	10 MHz	15 MHz	30 MHz	20 MHz	25 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	70 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
	N _{RB} and Spectrum Utilization (FRI:400 MHz to 6000 MHz)												
15	25	52	79	[160]	106	133	216	270	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	90%	93.6%	94.8%	[94%]	95.4%	95.8%	97.2%	97.2%	\	\	\	\	\
30	11	24	38	(78)	51	65	106	133	162	[189]	217	[245]	273
	79.2%	86.4%	91.2%		91.8%	93.6%	95.4%	95.8%	97.2%		97.7%		98.3%
60	N/A	11	18	[38]	24	31	51	65	79	[93]	107	[121]	135
		79.2%	86.4%		86.4%	89.3%	91.8%	93.6%	94.8%		93.6%		97.2%

Gambar 2.14 Pemanfaatan *Resource Block* [29].

Pemanfaatan RB pada Gambar 2.14 penulis mengambil *resource block* pada frekuensi FDD 2100MHz dengan menggunakan *bandwidth* 20Mhz dengan total 51RB dan frekuensi TDD 2300MHz menggunakan *bandwidth* 30MHz dengan 78RB sesuai dengan pemanfaatan *resource block* yang ditunjukkan pada Tabel 2.10 Jumlah RB pada *low* dan *middle frequency band* .

Tabel 2.10 Jumlah RB Low dan Middle Frequency Band[28].

<i>Numerologi</i>	0	1	2
<i>Bandwidth/SCS</i>	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

Jumlah RB *low* dan *middle frequency band* pada Tabel 2.10 berdasarkan kalkulasi yang akan disampaikan di analisis dan pembahasan mengenai perhitungan awal pada persamaan 2.9 dan 2.10[29]:

$$NRB = \frac{(Channel\ BW - 2 * Guard\ BW)}{One\ RB\ BW} \quad (2.9)$$

$$Subcarrier\ Quantity = RB \times Subcarrier\ per\ RB \quad (2.10)$$

Keterangan :

RB = *Resource Block*

SR = *Subcarrier Quantity*

Pada Perhitungan menentukan nilai RE dalam 1 detik dapat dikalkulasikan melalui persamaan :

$$N_{RE(1s)} = N_{RE} \times Slot\ Num\ (1s) \quad (2.11)$$

Keterangan:

N_{RE} = Jumlah nilai RE dalam 1 *slot*

Slot Num (1s) = Jumlah *slot* pada Numerologi Tabel 2.10

Setelah menghitung nilai RE dalam 1 detik, langkah berikutnya menghitung total RE pada *downlink* di masing masing frekuensi yang digunakan melalui persamaan :

$$\mathbf{Total}_{RE} (DL) = \mathbf{N}_{RE} (1s) \times \%DL \quad (2.12)$$

Keterangan:

$\mathbf{N}_{RE} (1s)$ = Jumlah nilai RE dalam satu detik

$\%DL$ = Nilai *downlink*

Tahap akhir menghitung *data rate* dengan nilai *downlink throughput* yaitu dengan menghitung total nilai menghitung data kombinasi pita frekuensi yang digunakan oleh operator berdasarkan *downlink throughput* standarisasi 3GPP melalui persamaan 2.13 :

$$\mathbf{Data Rate} (MBps) = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J \left(V_{Layer}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{max} \frac{N_{PRB}^{BW(j),\mu} \cdot 12}{T_s^\mu} \cdot (1 - OH^{(DL)}) \right) \quad (2.13)$$

Keterangan :

J = 1 (*single carrier component*)

$V_{Layer}^{(j)}$ = nilai maksimal yang digunakan MIMO *Layers*

$Q_m^{(j)}$ = *bits per symbol* untuk 256QAM (8)

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

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

$$T_s^\mu = \frac{14 \times 2^{-1}}{10^3}$$

R_{max} = 948/1024

μ = numerologi yang digunakan

$OH^{(DL)}$ = *overhead* untuk FR1 (0,14)

2.2.10 5G Carrier Aggregation (CA)

Teknologi *Aggregation Carrier* (CA) menggabungkan sumber daya spektrum dari pita frekuensi yang sama atau yang berbeda untuk menggunakan sumber daya jaringan dengan lebih baik dan meningkatkan *user experience*. NR *Carrier aggregation intra-band* (NR) beroperasi di pita operasi yang sama, dan *carrier aggregation inter-band* (NR) beroperasi di pita operasi berbeda.

- a) *Intra-band Carrier Aggregation (Intra-Band CA)*

CA *intra-band* melibatkan beberapa operator dalam *operation band* yang sama. Band n77, n78, dan n79 adalah contoh operasi CA *intra-band* yang didefinisikan oleh Gambar 2.15 3GPP Rel-15.

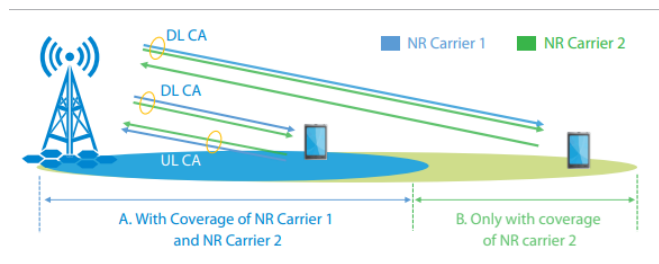


Gambar 2.15 Mode operasi uplink 5G Rel-15 UE dengan UL CA.

Mode operasi uplink carrier Agregation pada Gambar 2.15 dijelaskan bahwa *carrier aggregation* dapat menggunakan saluran transmisi UE pada saat yang sama karena berada di *band* yang sama. Akibatnya, lebih banyak operator CA meningkatkan throughput uplink. Misalnya, kecepatan data pengguna dapat digandakan dengan CA *intra-band* dengan dua pembawa frekuensi dengan *bandwidth* yang sama.

b) *Inter-Band Carrier Aggregation (Inter-Band CA)*

Inter-Band CA menggabungkan pembawa dari berbagai pita operasi. 3GPP Rel-15 mendefinisikan tiga belas operasi *band inter-band CA* yang melibatkan FR1, seperti CA_n3-n78 dan CA_n28-n78, antara lain. Jika cakupan dua operator secara keseluruhan baik, CA *uplink* dapat digunakan untuk meningkatkan pemanfaatan spektrum. Namun, karena sebagian besar perangkat seluler mendukung dua saluran transmisi (2Tx), masing-masing saluran transmisi mendukung dua operator, CA UL akan menahan kemampuan aliran ganda uplink pada TDD-NR, yang dapat menyebabkan *capacity loss* pada aplikasi *uplink* yang ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Skenario Aplikasi UL *inter-band CA*.

Dijelaskan pada Gambar 2.16 bahwa pada skenario UL *inter-band* CA di area A dengan jangkauan dua operator UL CA bisa diaktifkan, sedangkan di area B hanya dengan jangkauan satu operator atau satu *carrier* saja. UE menggunakan satu *carrier* atau satu operator untuk *transmit date*.

2.2.11 Physical Cell Identity (PCI)

PCI merupakan pengidentifikasi cell lapisan fisik dalam 4G LTE dan 5G NR yang digunakan untuk menunjukkan identitas fisik sel selama prosedur pemilihan sel. PCI juga digunakan untuk sinkronisasi downlink, hal ini menjadikan perencanaan PCI sebagai salah satu langkah terpenting dalam desain dan konstruksi jaringan 4G LTE dan 5G NR [32].

2.2.12 Track Area Code (TAC)

Track Area Code (TAC) merupakan pengidentifikasi area lokasi dalam jaringan MNO, dimana jaringan MNO adalah penyedia layanan telekomunikasi yang menyediakan komunikasi suara dan data nirkabel untuk *User Equipment*. Penulis meneliti penggunaan TAC melalui *software Tableau*.