

BAB II DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian [6] membahas tentang perbandingan dan analisis antara dua mode jaringan 5G yaitu *Standalone* (SA) dan *Non-Standalone* (NSA) dalam hal penyebaran, kinerja perangkat, kompleksitas jaringan, dan biaya. Penelitian ini juga membahas kelebihan dan kekurangan dari masing-masing mode jaringan dan merekomendasikan mode jaringan yang tepat untuk operator yang ingin memasuki pasar vertikal dan enterprise. Berdasarkan analisis yang dilakukan pada penelitian tersebut, disimpulkan bahwa mode jaringan *Standalone* (SA) lebih unggul dibandingkan dengan mode jaringan *Non-Standalone* (NSA) dalam hal konsumsi daya perangkat, kompleksitas jaringan, dan biaya. Namun, mode jaringan NSA memiliki keuntungan dalam hal interworking antara jaringan 4G dan 5G serta biaya awal implementasi. Oleh karena itu, SA direkomendasikan untuk implementasi skala besar, sementara NSA dapat menjadi pilihan kompromi untuk operator yang tidak ingin memperkenalkan jaringan 5G *Core network* (5GC) pada tahap awal implementasi [6].

Penelitian [7] membahas tentang perencanaan skenario jaringan 5G Non-Stand Alone (NSA) untuk mendukung revolusi industri 4.0. Dalam pengujian menggunakan metode ENDC, terdapat dua skenario yang digunakan, yaitu skenario 1 dan skenario 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa skenario 1 dengan eNodeB LTE pada frekuensi band 3 (1800 MHz) *bandwidths* 20 MHz dan 5G NR frekuensi B28 (700 MHz) *bandwidth* 15 MHz memiliki nilai *Data rate* dan *Throughput User* yang lebih baik dibandingkan dengan skenario 2 dengan eNodeB LTE pada frekuensi band 1 (2100 MHz) *Bandwidth* 15 MHz dan NR 5G pada frekuensi B28 (700 MHz) *Bandwidth* 15 MHz. Namun, keduanya termasuk dalam kategori baik dan normal untuk nilai RSRP dan SINR. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi industri yang ingin mendukung revolusi industri 4.0 dalam perencanaan jaringan 5G [7].

Penelitian [1] membahas tentang perencanaan dan analisis jaringan 5G di daerah perkotaan di Indonesia menggunakan model propagasi 3GPP TR38.900. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk menentukan level sinyal di daerah tersebut dan mengoptimalkan jumlah dan penempatan *site*. Hasilnya menunjukkan bahwa area cakupan tidak optimal, tetapi masih lebih baik daripada studi lain yang menggunakan model propagasi yang berbeda. Penelitian ini juga membahas metode perencanaan coverage pada arsitektur jaringan 5G NSA, dan distribusi 26 *site gNodeB* di daerah tersebut. Penelitian ini menggunakan parameter SS-RSRP untuk mengukur kekuatan sinyal di berbagai area dan menemukan bahwa 26 *site* diperlukan untuk

cakupan optimal. Dari Penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa perencanaan jaringan 5G di daerah perkotaan di Indonesia menggunakan model propagasi 3GPP TR38.900 dapat meningkatkan cakupan area dan mengoptimalkan jumlah dan penempatan *site*. Studi ini menemukan bahwa 26 *site* diperlukan untuk cakupan optimal di daerah perkotaan tertentu. Selain itu, arsitektur jaringan 5G NSA dapat digunakan untuk perencanaan jaringan 5G di Indonesia. Namun, perencanaan jaringan 5G juga harus mempertimbangkan kebutuhan pengguna di area tersebut dan tidak hanya mengandalkan pada *Coverage planning* [1].

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Teknologi Seluler

Teknologi seluler telah menjadi tulang punggung komunikasi modern di era digital saat ini. Dengan menggunakan sinyal radio, teknologi ini memungkinkan kita untuk berkomunikasi dengan mudah, mengakses informasi, dan terhubung dengan dunia di ujung jari kita. Dari generasi ke generasi, teknologi seluler terus berevolusi untuk memberikan pengalaman yang lebih baik kepada pengguna. Mulai dari panggilan suara pertama, LTE dengan kecepatan akses data mencapai 100 Mbps atau sekitar 4x lipat kecepatan teknologi 3G [8] hingga konektivitas 5G yang revolusioner, setiap perkembangan teknologi seluler membawa peningkatan dalam kecepatan, kapasitas, dan keandalan. Kini, kita dapat dengan cepat membagikan momen melalui pesan, menjelajahi dunia online dengan kecepatan tinggi, dan mengakses aplikasi yang membantu memudahkan kehidupan sehari-hari. Teknologi seluler tidak hanya mengubah cara kita berkomunikasi, tetapi juga membuka pintu menuju era baru inovasi dan kemajuan di berbagai sektor kehidupan, seperti kesehatan, pendidikan, bisnis, dan hiburan. Dengan terus berkembangnya teknologi seluler, masa depan komunikasi yang lebih cerdas dan terhubung sepenuhnya semakin dekat di tangan kita.

2.2.2 Generasi Kelima (5G)

Teknologi 5G, juga dikenal sebagai generasi ke-5 atau *5th Generation* (5G), merupakan langkah maju dalam standar telekomunikasi seluler yang melampaui standar *4th Generation* (4G). Teknologi 5G membawa transformasi yang penting dalam struktur radio dan tata letak jaringan, dengan tujuan memberikan konektivitas *broadband*, latensi rendah yang sangat andal, dan jaringan massal untuk manusia dan *Internet of Things* (IoT). Tidak seperti jaringan tanpa kabel yang hanya memiliki satu tujuan tunggal, 5G dirancang untuk memberikan berbagai pelayanan bagi perangkat jaringan *heterogen* yang terus berkembang yang mampu saling berkomunikasi. Dengan kata lain, *Internet of Things* (IoT) dan komunikasi Mesin ke Mesin (M2M) dalam skala besar akan mengandalkan jaringan nirkabel 5G, ini pastinya menetapkan

berbagai tuntutan pada jaringan, seperti konsumsi energi yang efisien, harga perangkat yang terjangkau, latensi yang rendah, keandalan yang tinggi, dan lainlain. Dalam jaringan 5G data dipancarkan melalui berbagai frekuensi gelombang radio. Regulasi penggunaan frekuensi ini diatur oleh *International Telecommunication Union* (ITU).

Pelayanan 5G NR telah mengubah persyaratan komunikasi dengan fokus pada kecepatan, cakupan, dan keandalan. Ini mendorong inovasi dalam berbagai jenis jaringan, baik melalui pengembangan sistem yang sudah ada maupun eksplorasi potensi jaringan baru. Sebagai sistem radio pionir yang mendukung frekuensi tinggi, jaringan 5G menciptakan terobosan penting. Dengan pilihan spektrum yang luas, 5G menawarkan kombinasi optimal antara kapasitas tinggi, kecepatan data tinggi, dan jangkauan yang luas. Keandalan sinyal di frekuensi di bawah 6 GHz juga memenuhi kebutuhan cakupan dan kecepatan data yang tinggi, mencapai beberapa *gigabyte per detik* (Gbps). Oleh karena itu, layanan 5G NR memberikan solusi terbaik untuk memenuhi tuntutan masyarakat akan konektivitas yang cepat, andal, dan merata [9].

2.2.3 Evolution 5G

Standar 3GPP untuk 5G dimulai dengan merililis 15, yang menetapkan dasar untuk *New Radio* (NR) dan *5G Non-Standalone* (NSA) yang memanfaatkan jaringan inti LTE yang sudah ada. Perilisan awal untuk ini terjadi pada tahun 2018. Selain itu, *Release 15* juga merinci beberapa peningkatan pada inti LTE, seperti kontrol dan pemisahan pesawat pengguna untuk memberikan layanan yang lebih baik. Ini adalah langkah awal yang penting dalam mengadopsi 5G. *Release 15* juga mencakup detail untuk *5G Standalone* (SA) yang melibatkan jaringan inti yang khusus untuk 5G. Pada bulan Juni 2020, *Release 16* dirilis dengan lebih banyak fitur yang menghadirkan berbagai peningkatan pada teknologi 5G. Mari kita mempelajari bagaimana perjalanan 5G dimulai, mengenal berbagai rilisnya, memahami detail *Release 16*, dan juga melihat apa yang direncanakan dalam *Release 17* yang sangat menarik. Dalam hal infrastruktur, perbedaan utama antara 4G dan 5G terletak pada perpindahan menuju jaringan tervirtualisasi yang dimulai oleh 4G, sedangkan 5G mendorong infrastruktur yang lebih maju dengan konsep kemas. *Release 16* memperkenalkan lebih banyak fitur, terutama yang difokuskan pada penggunaan industri. Detail *Release 16* dapat dilihat dalam Tabel 2.1. Versi lanjutan dari *Release 16* akan terus dikembangkan dalam beberapa kuartal mendatang [10].

Tabel 2. 1 Release 15 dan Release 16 [10]

Release 15	Release 16
<i>NR- New Radio</i>	<i>Radio</i>
<i>a) NR NSA, 5G Radio to work with LTE core</i> <i>b) NR SA, 5G Radio to work with 5G core</i>	<i>a) NR in unlicensed band</i> <i>b) Industrial IOT</i> <i>c) Accurate NR positioning</i> <i>d) NR for integrated Access and Backhaul (IAB)</i>
<i>Massive MTC and Internet of Things</i>	<i>5G Core</i>
<i>Vehicle to everything communication (V2x)</i>	<i>a) Enhanced SBA (eSBA)</i>
<i>Mission Critical (MC) internetworking with legacy systems</i>	<i>b) Private networks</i>
<i>WLAN unlicensed spectrum use</i>	<i>c) Wireless/Wireline (Cable/BNG)</i>
<i>Slicing-logical and end to end networks</i>	<i>Convergence + Access Steering</i>
<i>API Exposure-3rd Party access to 5G services</i>	<i>d) Time Sensitive Network (TSN)</i>
<i>Service Based Architecture (SBA)</i>	<i>e) Cellular IoT (NB-IOT, CatM)</i>
<i>Further LTE improvements</i>	<i>f) Slice Management</i>
<i>Mobile communication system for Railways</i>	<i>g) Network Analytics</i>
<i>MEC</i>	<i>V2x Phase 3: Platooning extended sensors, automated driving, remote driving</i>
	<i>URLLC enhancements</i>

Release 17 diharapkan akan tersedia pada tahun 2022, dan ini menjadi momen yang sangat dinantikan dalam perkembangan 5G. Release ini akan memperkenalkan serangkaian fitur yang lengkap, yang akan menjadi tonggak penting dalam perjalanan 5G. Dengan adanya *Release 17*, diharapkan akan ada peningkatan signifikan dalam kemampuan dan fungsionalitas jaringan 5G. Fitur-fitur baru ini akan memberikan dampak besar pada berbagai sektor, seperti industri, kesehatan, transportasi, dan lainnya. *Release 17* merupakan hasil kolaborasi antara para ahli dan pengembang di industri telekomunikasi, yang telah bekerja keras untuk merancang dan mengimplementasikan teknologi terbaik untuk memenuhi kebutuhan masa

depan. Dengan kedatangan *Release 17*, diharapkan 5G akan semakin matang dan dapat memberikan manfaat yang luar biasa bagi pengguna dan masyarakat secara luas [17]. Berikut Tabel 2.2 yang menampilkan tentang *Releases 17* pada perkembangan jaringan 5G:

Tabel 2. 2 Release 17 [10]

<i>Release 17</i>	
<i>NR Sidelink relay</i>	<i>Study - NR extended Reality (XR) NB-IoT and LTE-MTC enh.</i>
<i>NR MIMO</i>	<i>5G Multicast broadcast multi-Radio DCCA enh.</i>
<i>NR Sidelink enhancement</i>	<i>Multi SIM Integrated Access and Backhaul (IAB) enh.</i>
<i>52.6-71 GHz with existing waveform</i>	<i>Unmanned Aerial Systems</i>
<i>Dynamic Spectrum Sharing (DSS).</i>	<i>5GC Location Services</i>
<i>Study - IoT over (NTN) NR over (NTN)</i>	<i>Multimedia Priority Service (MPS)</i>
<i>NR Positioning enh.</i>	<i>5G LAN-type services</i>
<i>Low complexity NR devices Power saving</i>	<i>5G Wireless and Wireline Convergence</i>
<i>NR Coverage enh.</i>	<i>RAN Slicing Enh. for small data</i>
<i>eNB architecture Evolution, LTE C-plane / U-plane split</i>	<i>SON/Minimization of drive tests (MDT)</i>
<i>Satellite components in the 5G architecture</i>	<i>Enh. V2x Services</i>
<i>Non-Public Networks enh.</i>	<i>Advanced Interactive Services</i>
<i>Network Automation for 5G -</i>	<i>Access Traffic Steering</i>
<i>Proximity based Services in 5GS</i>	<i>5G LAN-type services</i>
<i>Network Slicing Phase 2</i>	<i>User Plane Function (UPF)</i>

2.2.4 Arsitektur Jaringan 5G

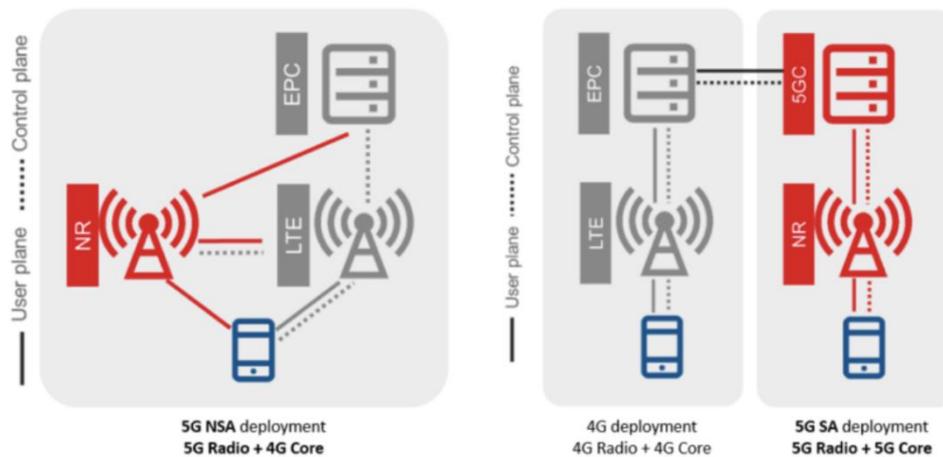
Arsitektur jaringan 5G dirancang dengan sangat cermat untuk memenuhi kebutuhan yang semakin meningkat dalam hal konektivitas dan layanan yang inovatif. Pada arsitektur ini, terdapat beberapa komponen inti yang bekerja secara sinergis untuk memberikan pengalaman terbaik kepada pengguna. Arsitektur jaringan 5G memiliki dua jenis yang berbeda, yaitu *Non-Standalone* (NSA) dan *Standalone* (SA). Berikut kedua jenis arsitektur jaringan tersebut:

a. Non-Standalone (NSA) 5G

Salah satu aspek penting dari teknologi 5G adalah arsitektur jaringan *Non-Standalone* (NSA). Dalam arsitektur ini, jaringan 5G bekerja sama dengan infrastruktur jaringan 4G yang sudah ada. Dengan menggunakan kembali elemen jaringan LTE yang

sudah ada dan melakukan beberapa perubahan untuk menyesuaikan dengan kasus penggunaan 5G, operator dapat memanfaatkan potensi 5G NSA. Pada Arsitektur 5G NSA menggabungkan *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) dan *Ultra Reliable Low Latency Communications* (uLLC) sebagai kasus penggunaan utama. eMBB memberikan kecepatan tinggi dan kapasitas besar, memungkinkan pengguna untuk mengakses layanan dengan kecepatan tinggi seperti streaming video, gaming, dan unduhan file besar. Di sisi lain, uLLC memberikan *low delay* dan *high reliability* untuk aplikasi yang membutuhkan respon waktu yang cepat, seperti kendaraan otonom, telemedisin, dan industri otomatisasi. Dengan kombinasi ini, arsitektur 5G NSA dapat memenuhi kebutuhan beragam pengguna dan aplikasi dengan performa yang optimal [17].

Arsitektur 5G NSA, yang juga dikenal sebagai arsitektur EN-DC [16], memanfaatkan fitur yang disebut *Dual Connectivity* untuk meningkatkan kinerja jaringan. Dalam arsitektur ini, 5G NR digunakan untuk mentransfer data paket pengguna antara perangkat dan internet, sementara jaringan 4G yang sudah ada tetap digunakan untuk pensinyalan dan kontrol koneksi.

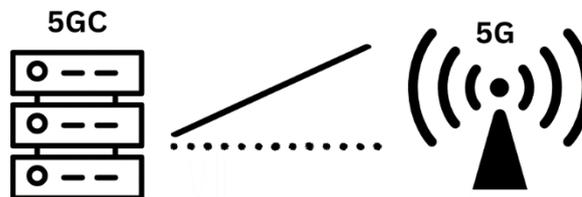


Gambar 2. 1 Arsitektur 5G NSA [12]

Pada gambar 2.1 menjelaskan bahwa arsitektur *E-UTRA-NR Dual Connectivity* (EN-DC) menggunakan dua jenis node, yaitu eNB sebagai node master dan en-gNB sebagai node sekunder. eNB berperan sebagai pengendali utama, sedangkan en-gNB memberikan akses tambahan ke jaringan 5G NR. Dalam arsitektur ini, eNB bertindak sebagai pusat kontrol, sementara en-gNB berfungsi sebagai node pendukung [17].

b. *Standalone* (SA)

Arsitektur jaringan *Standalone* (SA) pada 5G adalah sebuah konsep yang memungkinkan jaringan 5G untuk beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada jaringan 4G yang sudah ada sebelumnya. Dalam arsitektur SA, jaringan inti dan jaringan akses radio semuanya didesain khusus untuk 5G, memberikan fleksibilitas dan kemampuan yang lebih tinggi dalam menyediakan layanan yang inovatif dan mendukung berbagai aplikasi. Arsitektur jaringan *Standalone* akan memiliki *air interface* 5G yang baru disebut NR dan inti 5G (5GC) yang berada di lokasi. Jaringan 5G *Standalone* memberikan penanganan dari ujung ke ujung (*end-to-end*). Adapun arsitektur jaringan 5G *Standalone* yang ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Arsitektur 5G *Standalone* [12]

Dalam arsitektur SA, jaringan 5G dapat mendukung berbagai fitur dan teknologi yang unggul, seperti *Ultra-Reliable Low-Latency Communication* (URLLC) untuk aplikasi yang memerlukan respons waktu yang sangat cepat dan keandalan tinggi, *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB) yang memberikan kecepatan data yang tinggi untuk streaming video dan penggunaan data berat, serta *Massive Machine-Type Communication* (mMTC) yang mendukung konektivitas jutaan perangkat IoT.

Keberagaman fitur ini menjadikan arsitektur SA 5G sebagai solusi yang komprehensif untuk berbagai kebutuhan komunikasi. Dengan demikian, jaringan 5G mampu memberikan layanan yang dapat diandalkan dan efisien, mencakup berbagai skenario penggunaan, mulai dari aplikasi kritis waktu hingga konektivitas berskala besar untuk perangkat IoT. Arsitektur SA 5G secara keseluruhan menjadi fondasi yang kuat untuk evolusi teknologi komunikasi seluler di masa mendatang, membuka peluang inovasi yang lebih luas dalam dunia konektivitas digital.

Tabel 2. 3 Pemetaan 5G Network dengan Inti 4G Core Network [11]

<i>Node</i>	<i>Description</i>	<i>Similar function in EPC</i>
<i>AMF</i>	<i>Access Management Function</i>	<i>MME</i>
<i>SMF</i>	<i>Session Management Function</i>	<i>SGW, PGW-C</i>
<i>UPF</i>	<i>User Plane Function</i>	<i>PGW-U</i>
<i>PCF</i>	<i>Policy Control Function</i>	<i>PCRF</i>
<i>NRF</i>	<i>NF Repository Function</i>	<i>Partly DNS</i>
<i>NEF</i>	<i>Network Exposure Function</i>	<i>SCEF</i>
<i>NSSF</i>	<i>Network Slice Selection Function</i>	<i>n/a</i>
<i>AF</i>	<i>Application Function</i>	<i>e.g., IMS</i>
<i>AUSF</i>	<i>Authentication Server Function</i>	<i>AAA, Radius</i>
<i>UDM</i>	<i>Unified Data Management</i>	<i>HSS/HLR</i>
<i>N3 Interwork</i>	<i>in order to enable WiFi calling with 5G core</i>	<i>ePDG</i>

Tabel 2.3 menjelaskan node-node yang ada dalam inti jaringan 5G, termasuk depenelitian dan perbandingannya dengan elemen yang setara dalam jaringan 4G. Tabel ini memberikan informasi yang jelas tentang peran dan fungsi masing-masing node dalam arsitektur 5G. Dengan membandingkannya dengan jaringan 4G, kita dapat melihat bagaimana evolusi dan peningkatan yang terjadi dalam inti jaringan dengan adopsi teknologi 5G. Perbandingan antara 5G *Stand Alone* dan *Non-Stand Alone* diperoleh pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Perbandingan 5G Stand Alone dan Non-Stand Alone [6]

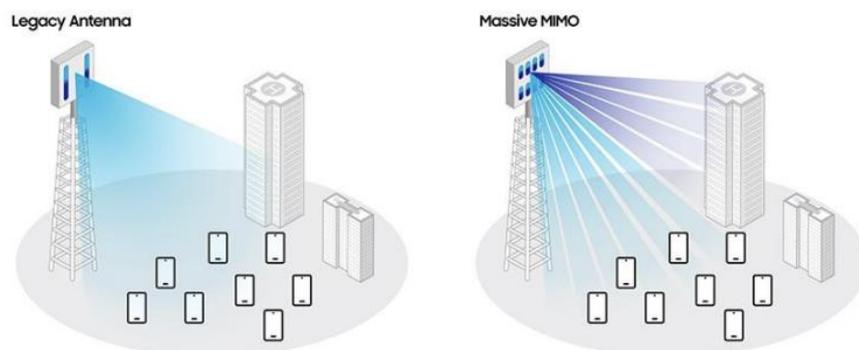
Perbedaan	<i>Stand Alone</i>	<i>Non-Stand Alone</i>
Konektivitas	Berdiri sendiri	Bergantung pada inti
<i>Efisiensi Spektrum</i>	Lebih tinggi	Lebih rendah
<i>Service offerings</i>	Mencangkup semua pengguna termasuk eMBB dan yang lainnya tergantung URLLC dan mMTC	Hanya mendukung penggunaan eMBB
Kecepatan Maksimum	Hingga 10 Gbps	Hingga 1 Gbps

Latensi	Kurang dari 10 ms	Kurang dari 1 ms
Contoh Kasus Penggunaan	Meningkatkan broadband dengan 5G NR dan jaringan 4G yang ada	Mendorong transformasi industri
Standar 3GPP	<i>Release 15(2018)</i>	<i>Release 15(2018)</i>

Dengan arsitektur jaringan SA pada 5G, operator telekomunikasi dapat meningkatkan kemampuan jaringan mereka untuk menyediakan pengalaman pengguna yang lebih baik, mengoptimalkan efisiensi dan kapasitas jaringan, serta membuka peluang baru untuk inovasi dan transformasi dalam berbagai sektor, termasuk transportasi, kesehatan, manufaktur, dan banyak lagi.

2.2.5 Antena *Massive Multiple Input Multiple Output* (MIMO)

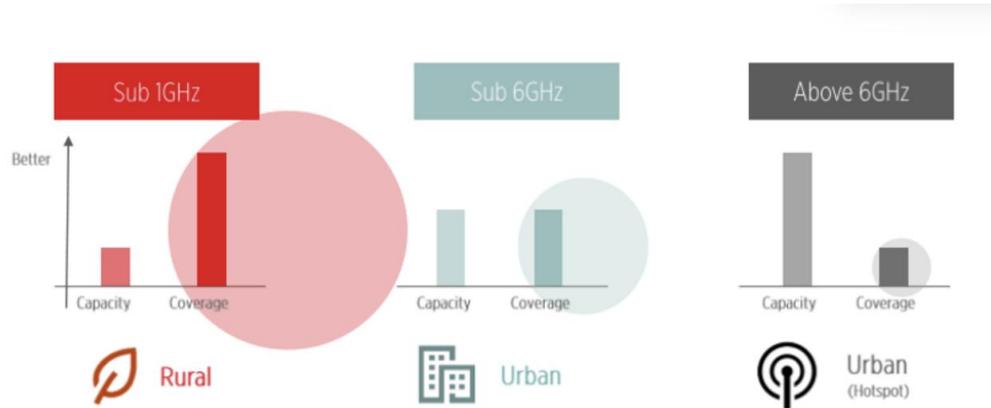
Teknologi *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) telah diterapkan secara umum dalam stasiun pemancar dan penerima pada teknologi 4G, menggunakan beberapa antena, seperti MIMO 2x2. Pada pengembangan selanjutnya di *LTE Advanced*, konfigurasi MIMO bahkan dapat mencapai 8x8, meningkatkan kemampuannya. Dalam konteks layanan 5G, teknologi MIMO terus mengalami perkembangan lebih lanjut. Dengan menggunakan jumlah antena yang lebih besar, seperti 16x16 atau bahkan lebih, 5G mampu memberikan kinerja yang lebih baik dalam hal kecepatan, kapasitas, dan keandalan. MIMO pada layanan 5G memungkinkan pengiriman dan penerimaan sinyal yang lebih efisien, meningkatkan *Throughput* dan kualitas layanan secara signifikan. Dengan demikian, MIMO menjadi salah satu fitur kunci dalam evolusi teknologi seluler yang memungkinkan pengalaman pengguna yang lebih baik dan mendukung perkembangan aplikasi dan layanan yang semakin canggih [13]. Model antena MIMO diilustrasikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Antena *Massive Multiple Input Multiple Output* [14]

2.2.6 Rentang Frekuensi

Teknologi 5G hadir dengan berbagai skenario baru yang dapat mempermudah kehidupan manusia. Namun, kebutuhan akan teknologi ini juga menyebabkan peningkatan kebutuhan spektrum untuk penyelenggaraan layanan sistem telekomunikasi seluler di masa depan. Pada Gambar 2.4 [15], spektrum teknologi 5G terbagi menjadi tiga kategori yang berbeda, yaitu:



Gambar 2.4 Rentang Frekuensi [15]

1. Dalam kisaran frekuensi di bawah 1 GHz (Rural), dapat dimanfaatkan untuk mendukung penerapan layanan IoT (*Internet of Things*) dan memiliki jangkauan yang luas, mulai dari area perkotaan hingga pedesaan. Sinyal dengan frekuensi ini memiliki karakteristik propagasi yang memungkinkan 5G memiliki jangkauan yang lebih luas dan mampu menembus bangunan.
2. Dalam rentang frekuensi 1-6 GHz (Urban), dapat dimanfaatkan untuk menggabungkan jangkauan dan kapasitas dalam layanan teknologi 5G. Rentang frekuensi ini juga dapat berfungsi sebagai inisiasi teknologi 5G.
3. Dalam rentang frekuensi 6 GHz (Urban Hotspot), dapat menyediakan kapasitas yang besar karena memiliki *bandwidth* yang sangat luas. Rentang frekuensi ini dapat dialokasikan untuk komunikasi bergerak dan skenario aplikasi eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*).

Pada tanggal 21 Desember 2017, TSG RAN 3GPP dapat menyetujui ketentuan teknis NR 5G yang pertama dapat diimplementasikan. Keberhasilan ini membuka pintu bagi pengembangan penuh skala uji coba besar-besaran dan pemanfaatan untuk keperluan bisnis yang direncanakan pada awal 2019. Spesifikasi awal ini diselesaikan sebagai bagian dari Rilis 15 3GPP. Dalam rilis tersebut, Frekuensi untuk jaringan 5G NR telah ditentukan sebagai FR1 dan FR2, Yang menyajikan daftar rentang frekuensi di mana 5G NR dapat beroperasi,

memberikan kerangka kerja krusial untuk penerapan 5G NR dan mendukung kemampuan jaringan 5G yang luas. Definisi pita frekuensi FR1 dan FR2 yang tercantum pada Tabel 2.5 membentuk dasar bagi pelaksanaan dan pengembangan teknologi 5G NR.

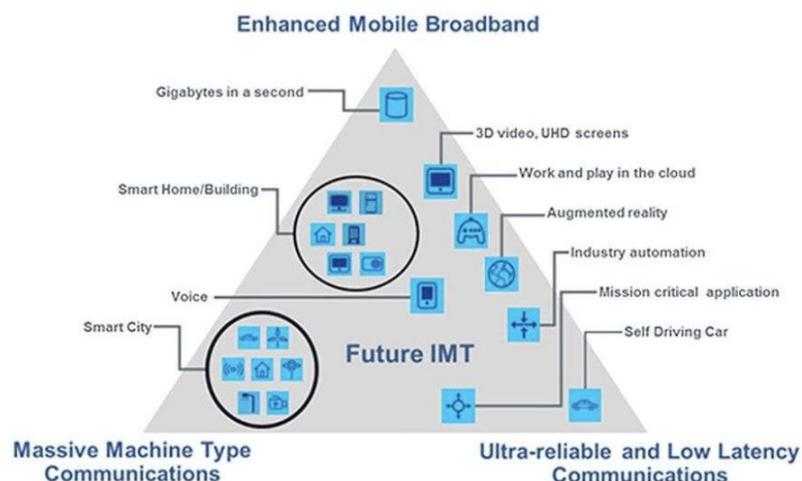
Tabel 2. 5 Spesifikasi Frequency Ranges 5G NR [16]

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

Dengan memanfaatkan ketiga rentang frekuensi tersebut, teknologi 5G dapat mengoptimalkan penggunaan spektrum dalam memberikan layanan yang lebih cepat, andal, dan luas. Penetapan dan penggunaan spektrum yang efisien akan menjadi faktor penting dalam menghadirkan kemampuan penuh teknologi 5G di masa depan.

2.2.7 Visi 5G

Standar 5G dalam komunikasi seluler terdaftar dalam IMT-2020. Tujuan utama dari teknologi 5G adalah meningkatkan kapabilitas sistem jika dibandingkan dengan generasi sebelumnya. Selain itu, salah satu tujuan lainnya adalah mengintegrasikan Sistem aplikasi dan komunikasi seluler yang berbeda diintegrasikan menjadi satu jaringan yang beroperasi secara efisien dengan berbagai fungsi. Untuk mengidentifikasi parameter sistem komunikasi 5G. Pembagian sistem dilakukan dengan mempertimbangkan tiga tujuan utama dalam IMT-2020, yang dapat ditampilkan pada Gambar 2.5, yaitu



Gambar 2. 5 Usage scenario of IMT for 2020 and beyond [17]

a. *Enhanced Mobile Broadband*

layanan 5G yang bertujuan untuk meningkatkan kecepatan dan kualitas akses internet seluler. Dengan eMBB, pengguna dapat menikmati pengalaman seperti streaming video 4K, realitas virtual, dan terjemahan *real-time*. eMBB menggunakan teknik-teknik seperti *multiple-input multiple-output* (MIMO), *carrier aggregation*, dan *beamforming* untuk meningkatkan *throughput* dan *spektral efisiensi*.

b. *Ultra-Reliable and Low Latency Communications* (URLLC)

layanan 5G lainnya yang menawarkan koneksi yang sangat andal dan responsif. URLLC cocok untuk aplikasi yang membutuhkan waktu reaksi yang cepat dan akurat, seperti kendaraan otonom, bedah jarak jauh, dan internet taktis. URLLC menggunakan teknik-teknik seperti *transmission time interval* (TTI) yang variabel, *hybrid automatic repeat request* (HARQ), dan *grant-free transmission* untuk mengurangi latensi dan meningkatkan reliabilitas.

c. *Massive Machine Type Communications* (MMTC)

kumpulan teknologi 5G yang dirancang untuk mendukung *Internet of Things* (IoT) melalui layanan eMBB, URLLC, dan mMTC. MMTC memungkinkan komunikasi berkecepatan tinggi, latensi rendah, dan hemat biaya untuk sejumlah besar perangkat IoT. MMTC menggunakan teknik-teknik seperti *narrowband IoT* (NB-IoT), LTE-M, dan *network slicing* untuk mengoptimalkan kinerja dan kapasitas jaringan.

2.2.8 Kapabilitas dan Persyaratan 5G

Perkembangan Teknologi 5G telah menjadi sorotan utama dalam industri telekomunikasi. Hingga saat ini, Teknologi 5G masih belum memiliki penetapan standar yang berlaku secara global. Namun, organisasi-organisasi telekomunikasi di seluruh dunia terus melakukan penelitian dan berkompetisi dalam mengembangkan teknologi ini. Salah satu organisasi internasional yang bertanggung jawab dalam meregulasi radio dan telekomunikasi secara global adalah ITU (*International Telecommunication Union*). Pada tahun 2020, ITU mengeluarkan rekomendasi dengan kode ITU-R M.0283-02 yang mencakup visi pengembangan teknologi *International Mobile Telecommunication* (IMT) untuk tahun 2020 dan masa depan. Dalam rekomendasi tersebut, visi IMT "*Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond*" yang merangkum perkembangan dan kapabilitas 5G dibandingkan dengan teknologi sebelumnya yang terdapat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Rekomendasi Pengembangan Kapabilitas 5G dari ITU [18]

Parameter	IMT-2020	IMT <i>Advanced</i>
<i>Peak Data rate</i> (Gbps)	20	1
<i>User Experienced Data rate</i> (Mbps)	100	10
<i>Spectrum Efficiency</i> (bps/Hz)	30	10
<i>Mobility</i> (km/h)	500	350
<i>Latency</i> (ms)	1	10
<i>Area Traffic Capacity</i> (Mbps/m ²)	10	0,1
<i>Connection Density</i> (dev/km ²)	10 ⁶	10 ⁵

Dalam nilai parameter yang tercantum pada Tabel 2.6, terdapat perbedaan prioritas utama tergantung pada jenis layanan yang dimaksud. Untuk kategori *Massive Machine Type Communications* (mMTC), kepadatan koneksi (*connection density*) menjadi prioritas utama, sementara spektrum dan *data rate* memiliki tingkat kebutuhan yang lebih rendah. Sementara itu, untuk kategori *Ultra-Reliable and Low Latency Communications* (URLLC), prioritas utama adalah *latency* dan mobilitas. Sedangkan untuk kategori *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), parameter yang menjadi fokus utama adalah *area traffic capacity* (kapasitas lalu lintas area), *user experienced*, *data rate*, *latency*, mobilitas, dan kepadatan koneksi. Hal ini menunjukkan bahwa setiap jenis layanan memiliki parameter-parameter penting yang berbeda sesuai dengan kebutuhan dan karakteristiknya [18].

2.2.9 Coverage planning

Coverage planning merupakan bagian penting dalam perencanaan jaringan seluler yang bertujuan untuk menentukan jumlah dan lokasi optimal antenna dalam rangka mencakup wilayah yang diinginkan. Proses *coverage planning* melibatkan beberapa tahapan, di antaranya adalah pengumpulan data geografis seperti peta dan luas bangunan, pemilihan model propagasi yang sesuai, perhitungan parameter teknis seperti kehilangan atau peningkatan sinyal pada perangkat, perhitungan *link budget* radio digunakan untuk menentukan *maximum allowable pathloss* yang dapat diterima antara antenna gNB dan antenna UT, sementara untuk menilai jarak radius sel, digunakan model propagasi. Dengan melakukan *coverage planning* yang tepat,

jaringan seluler dapat memberikan cakupan yang optimal dan kualitas sinyal yang baik bagi pengguna [19].

2.2.10 Parameter *Radio planning*

Parameter yang digunakan pada *radio planning* di antaranya adalah SS-RSRP, SS-SINR, dan *data rate*, diantaranya:

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

RSRP berfungsi sebagai alat evaluasi untuk mengukur intensitas sinyal yang diterima oleh perangkat UE dari sinyal referensi. Pada lingkungan jaringan 5G, perangkat UE melakukan pengukuran kekuatan sinyal yang berasal dari *Secondary Synchronization Signal (SSS)* yang dipancarkan oleh setiap pemancar *site* terdekat. SS-RSRP mengacu pada rata-rata daya (Watt) yang diukur pada perangkat UE dari sinyal (SS) yang diberikan oleh pemancar *site*. Nilai standar SS-RSRP ini ditetapkan oleh *Key Performance Indicator (KPI)* berdasarkan Tabel 2.7:

Tabel 2. 7 Standar KPI SS-RSRP [20]

SS-RSRP	Grade	Color
$x < -115$ dBm	<i>Unusable</i>	
$-100 > x \geq -115$ dBm	<i>Fair to Poor</i>	
$-80 > x \geq -100$ dBm	<i>Good</i>	
$X \geq -80$ dBm	<i>Excellent</i>	

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

SS-SINR dan SS-RSRP merupakan parameter penting dalam evaluasi kualitas sinyal pada jaringan 5G. SS-SINR adalah Perbandingan antara kekuatan sinyal utama dengan gangguan dan kebisingan dari lingkungan sekitarnya disebut sebagai rasio *signal-to-interference-and-noise*. Sedangkan SS-RSRP mengukur kekuatan sinyal referensi yang diterima oleh perangkat UE. Standar nilai SS-SINR dan SS-RSRP ditetapkan oleh *Key Performance Indicator (KPI)* untuk memastikan kualitas jaringan yang optimal, diantaranya ditunjukkan pada Tabel 2.8:

Tabel 2. 8 Standar KPI SS-SINR [20]

<i>Range (dB)</i>	<i>Category</i>	<i>Color</i>
$x \leq 0$ dB	<i>Unusable</i>	
$0 < x \leq 10$ dB	<i>Fair to Poor</i>	
$10 < x \leq 20$ dB	<i>Good</i>	
$x > 20$ dB	<i>Excellent</i>	

3. *Throughput, Data rate, dan Capacity*

Throughput adalah jumlah total bit yang berhasil diterima dengan benar dalam satu detik, sedangkan *data rate* mengacu pada jumlah bit yang diterima dalam satu detik, termasuk bit yang diterima dengan kesalahan. *capacity*, di sisi lain, mencerminkan jumlah maksimum bit yang dapat dikirimkan dengan benar melalui saluran komunikasi dalam satu detik. Dalam konteks jaringan 5G, standar nilai *throughput* yang diharapkan adalah lebih dari 100 Mbps, sesuai dengan rekomendasi ITU pada IMT-2020. Standar ini penting untuk memastikan bahwa jaringan dapat menyediakan kecepatan data yang memadai bagi pengguna. Informasi lebih lanjut mengenai persamaan perhitungan *data rate* dapat ditunjukkan pada (2.1) dan rekomendasi *throughput* dan *capacity* dapat ditemukan pada Tabel 2.9, diantaranya:

Tabel 2. 9 Rekomendasi Standar 5G NR dari ITU [21]

Parameter	IMT-2020
<i>User Experienced Data rate</i> (Mbps)	100
<i>Spectrum Efficiency</i> (bps/Hz)	30
<i>Mobility</i> (km/h)	500
<i>Latency</i> (ms)	1

Persamaan *data rate* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{Data rate ({ Mbps)} = 10^{-6} \sum_{j=1}^j \left(V_{\text{Layers}}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{\text{max}} \cdot \frac{N_{P_{RB}}^{BW(j), \mu}}{T_s^\mu} \cdot (1 - OH^{(j)}) \right) \quad (2.1)$$

Keterangan:

J = Jumlah komponen *Carrier*

Rmax = 948/1024

V(J) = Jumlah layer MIMO maksimum

Q(j) = Modulation order

f(j) = *Scaling factor*

μ = *Numerology*

Tμ = Simbol OFDM

NBW (j), μ = *Bandwidth* maksimum

OH(j) = *Overhead*

2.2.11 Link budget

Link budget adalah proses estimasi yang digunakan untuk menghitung redaman maksimum yang dapat ditoleransi dalam propagasi gelombang. Redaman ini merupakan hasil dari sejumlah faktor, seperti jarak antara gNB dan UE, karakteristik lingkungan sekitar, dan parameter teknis yang terlibat dalam komunikasi. Tujuannya adalah untuk menentukan nilai *Maksimum Allowable Path loss* (MAPL) yang memungkinkan koneksi yang masih berfungsi dengan baik antara gNB dan UE. Dalam perhitungan *Link budget*, parameter-parameter seperti daya transmit gNB, sensitivitas penerima UE, kekuatan sinyal di titik awal, dan faktor redaman lainnya diperhitungkan. Selain itu, karakteristik antena, penggunaan teknik modulasi dan pengkodean yang digunakan, serta ketentuan regulasi yang berlaku juga ikut diperhitungkan dalam memperoleh nilai MAPL [18].

2.2.14 Model Propagasi 3D

Model propagasi 3D telah menjadi elemen penting dalam pengembangan jaringan 5G NR. Spesifikasinya, seperti 3GPP TS 36.873 untuk rentang frekuensi 2-6 GHz dan 3GPP TS.38.901 untuk rentang frekuensi 0.5-100 GHz, telah digunakan sebagai acuan dalam menggambarkan karakteristik propagasi gelombang secara tiga dimensi dalam berbagai situasi.

Melalui perhitungan yang mempertimbangkan ketinggian *base station*, model ini mampu memberikan prediksi yang lebih akurat terkait propagasi gelombang. Kehadiran model ini sangat penting dalam proses perencanaan dan perancangan jaringan 5G, karena dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang interaksi sinyal gelombang dengan lingkungan sekitarnya. Dengan dasar yang kuat dari model propagasi 3D ini, estimasi redaman jalur dapat dilakukan dengan lebih realistis, dan performa jaringan dapat diprediksi dengan lebih akurat dalam implementasi jaringan 5G pada berbagai frekuensi yang digunakan. Model propagasi 3D yang digunakan pada 5G NR (3GPP TS 36.873 untuk 2-6 GHz dan 3GPP TS.38.901 untuk 0.5-100 GHz) didefinisikan dalam beberapa skenario, diantaranya:

1. *Urban Macro (UMa)*

Skenario UMa yang melibatkan komunikasi dari *Outdoor ke Outdoor (O2O)* dan dari *Outdoor ke Indoor (O2I)* menunjukkan kemiripan dengan skenario 3D-UMa. Dalam konteks ini, *base station* ditempatkan di puncak bangunan di sekitarnya, dengan ketinggian pengirim (Tx) biasanya sekitar 25 meter, ketinggian penerima (Rx) sekitar 1,5 meter, dan jarak antara *base station (ISD)* sekitar 500 meter [22].

Dalam model propagasi UMa (*Urban Macro*) pada situasi *Line of Sight (LOS)*, terdapat rumus *pathloss* yang digunakan:

$$P_1 = 22\log(d_{3D}) + 28 + 20\log(fc) \quad (2.2)$$

$$P_2 = 40\log(d_{3D}) + 28 + 20\log(fc) - 9\log[(d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2],$$

Keterangan : (2.3)

PL = nilai *pathloss* (dBm)

d_{3D} = resultan dari nilai $(h'_{BS} - h'_{UT})$ dan nilai

fc = frekuensi (GHz)

Sedangkan, untuk kasus *Non-Line of Sight (NLOS)* mempunyai rumus *pathloss*:

$$\begin{aligned} &[\text{PL (UMa - NLOS)} \\ &= 161.04 - 7.1 \log_{10}(W) \\ &+ 7.5 \log_{10}(h) \left(24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{BS}} \right)^2 \right) \log_{10}(h_{BS}) \\ &+ (43.42 - 3.1 \log_{10}(h_{BS})) (\log_{10}(d_{3D}) - 3) + 20 \log_{10}(fc) \\ &- (3.2 \log_{10}(17.625)) 20.6 (h_{UT} - 1.5)] \end{aligned}$$

(2.4)

Keterangan :

PL = nilai *pathloss* (dBm)

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

d_{BP} = jarak *break point* (m)

f_c = frekuensi (GHz)

h_{BS} = tinggi gNB (m)

h_{UT} = tinggi UT (m)

2. Rural Macrocell (RMa)

Model *pathloss* RMa umumnya digunakan untuk stasiun pemancar (Tx) yang memiliki ketinggian lebih dari 35 meter, terutama ketika memproyeksikan karakteristik kekuatan sinyal yang diterima di wilayah pedesaan. *Pathloss* pada skala besar berkaitan dengan frekuensi pada saluran *outdoor macro cell*, kecuali pada meter pertama yang dipengaruhi oleh propagasi *loss* berdasarkan frekuensi kuadrat. Model *pathloss* ini dapat digunakan baik untuk sinyal *narrowband* maupun *wideband*, karena daya rata-rata yang diterima dalam area lokal dipengaruhi oleh lebar pita (*bandwidth*) [23]. Berikut rumus *pathloss Line of Sight* (LOS):

$$PL1 = 20 \log_{10}(40\pi d_{3D} f_c / 3) + \min(0.03h_{1.72}, 10) \log_{10}(d_{3D}) - \min(0.044h_{1.72}, 14.77) + 0.002 \log_{10}(h) d_{3D} \quad (2.5)$$

$$PL2 = PL1 (d_{BP}) + 40 \log_{10}(d_{3D} / d_{BP}) \quad (2.6)$$

Keterangan :

PL = nilai *pathloss* (dBm)

d_{3D} = resultan dari nilai ($h_{BS} - h_{UT}$) dan nilai d_{2D}

f_c = frekuensi (GHz)

Sedangkan untuk *Non-Line of Sight* (NLOS) mempunyai rumus *pathloss*:

$$[PL = 161.04 - 7.1 \log_{10}(W) + 7.5 \log_{10}(h) - \left(24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{BS}}\right)^2\right) \log_{10}(h_{BS}) + (43.42 - 3.1 \log_{10}(h_{BS}))(\log_{10}(d_{3D}) - 3) + 20 \log_{10}(f_c) - (3.2(\log_{10}(11.75 \cdot h_{UT}))^2 - 4.97)] \quad (2.7)$$

Keterangan:

PL = nilai *pathloss* (dBm)

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

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

f_c = frekuensi (GHz)

h_{BS} = tinggi gNB (m)

h_{UT} = tinggi UT (m)

3. Urban Micro (UMi)

Dalam konteks skenario UMi, penggunaan *base station Outdoor to Outdoor* (O2O) dan *Outdoor to Indoor* (O2I) telah menjadi pilihan yang umum. Pada situasi ini, *base station* UMi dipasang di bawah atap gedung-gedung di sekitar wilayah yang ingin ditutupi. Area terbuka seperti kota atau terminal digunakan sebagai dasar untuk mereplikasi skenario kehidupan nyata. Cakupan area terbuka biasanya mencakup luas sekitar 50-100 meter, dengan tinggi pemancar (Tx) sekitar 10 meter, tinggi penerima (Rx) sekitar 1,5-2,5 meter, dan jarak antara dua *Base station* (ISD) sekitar 200 meter. Penyusunan ini memungkinkan jaringan untuk menyediakan sinyal optimal kepada pengguna dalam wilayah tersebut [22]. Adapun untuk parameter Model UMi, informasinya terdapat pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Parameter Model UMi [22]

<i>Parameters</i>		Ketentuan UMi
<i>Cell layout</i>		<i>Hexagonal grid, 19 micro sites, 3 sectors, per site (200 m)</i>
Tinggi antenna <i>gNodeB</i> (h_{BS})		10 m
Loka si UT	<i>Outdoor/Indoor</i>	<i>Outdoor dan Indoor</i>
	LOS/NLOS	LOS dan NLOS
	<i>Height</i> h_{UT}	1,5 – 22,5 m
Mobilitas UT (<i>horizontal plane only</i>)		3 km/h
Jarak minimal BS - UT		10 m

Dalam model propagasi UMi (Urban Micro) pada situasi *Line of Sight* (LOS), terdapat formula *pathloss*:

$$PL1 = 32,4 + 21 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) \quad (2.8)$$

$$PL2 = 40 \log_{10}(d_{3D}) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c) - 9 \log_{10}((d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2) \quad (2.9)$$

Keterangan:

PL = nilai *pathloss* (dBm)

d_{3D} = resultan dari nilai $(h'_{BS} - h'_{UT})$ dan nilai d_{2D}

f_c = frekuensi (GHz)

Sedangkan, untuk kasus *Non-Line of Sight* (NLOS) mempunyai rumus *pathloss*:

$$PL (UMi - NLOS) = 36.7 \log_{10}(d_{3D}) + 22.7 + 26 \log_{10}(f_c) - 0.3(h_{UT} - 1.5) \quad (2.10)$$

Keterangan :

PL = nilai *pathloss* (dBm)

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

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

f_c = frekuensi (GHz)

h_{BS} = tinggi gNB (m)

h_{UT} = tinggi UT (m)