

BAB II DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [6] membahas dan menemukan bahwa kebutuhan 5G di Indonesia dengan tingkat urgensi yang tinggi karena dibutuhkan hampir semua orang dalam penggunaan *voice call*, data internet dan video sebagai transmisi daring seperti belajar jarak jauh, *video conference*, webinar, serta pemilihan para pemimpin daerah secara daring. Pemakaian massal tersebut membutuhkan lebar *band* berkapasitas besar dan 5G mampu menjawab kebutuhan itu. Namun dari hasil penelitian kualitatif ini maka ditemukan bahwa situasi infrastruktur telekomunikasi di Indonesia yang merupakan negara kepulauan belum mampu memasang perangkat 5G di seluruh area termasuk daerah terdepan, terpencil, dan tertinggal (3T) dalam waktu dekat walaupun sempat dicanangkan kementerian kominfo indonesia target komersial 5G ada di tahun 2020 tapi belum terbukti. Maka dari itu untuk pemerataan 5G dilakukan secara bertahap.

Penelitian [5] yang mengkaji tentang kelayakan dari aspek tekno dan ekonomi. Dimana penelitian tersebut menggunakan model propagasi *Stanford University* (SUI) Dari penelitian ini, didapatkan hasil bahwa semakin tinggi frekuensi yang digunakan, maka akan semakin banyak *site* yang dibutuhkan untuk mencakup *coverage* layanan jaringan 5G. Dengan kenaikan jumlah *site* yang semakin banyak, maka otomatis akan meningkatkan nilai CAPEX dan OPEX dan mengurangi nilai NPV. Perubahan sensitifitas terhadap tarif dan *traffic*, berbanding lurus terhadap nilai NPV yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan kedua faktor tersebut berpengaruh pada aspek *revenue*. Sedangkan perubahan faktor OPEX, nilai tukar dollar dan *discount rate*, memiliki *trend* berbanding terbalik terhadap nilai NPV yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan pada ketiga faktor tersebut, merupakan komponen pengeluaran

Penelitian [4] membandingkan dua frekuensi untuk mencari hasil *path loss* dari kedua frekuensi tersebut. Model prediksi yang digunakan pada kajian

ini meliputi model SUI, ABG, CI, dan NYUSIM *simulator* menggunakan frekuensi kerja 3,5 GHz dan 28 GHz dengan lebar pita 100 MHz dan 800 MHz. Hasil pengujian memperlihatkan *simulator* NYUSIM memberikan nilai prediksi *path loss* yang paling mendekati nilai rata-rata *path loss* dengan nilai margin sebesar 1,25 dB untuk frekuensi 3,5 GHz dan 1,8 dB untuk frekuensi 28 GHz. Frekuensi kerja 28 GHz memiliki *nilai path loss* lebih tinggi dibandingkan frekuensi 3,5 MHz sebesar 19 dB. Nilai *path loss* pada kondisi LOS dan NLOS berdampak pada penurunan nilai *path loss* sebesar 35% pada frekuensi 3,5 GHz dan 26% pada frekuensi 28 GHz

Penelitian [7] membahas dan memperhitungkan kebutuhan data di Indonesia, dalam hal ini kota besar dengan kebutuhan data yang tinggi, dan juga untuk menghitung aspek tekno-ekonomi dari penyebaran jaringan 5G di Indonesia dalam rentang tahun 2020 hingga 2025. Dari hasil penelitian diperoleh kebutuhan gNodeB berdasarkan *forecast demand traffic* sebesar 221 MaBS atau 237 *metro gNodeB*, sementara untuk mencukupi *coverage* minimal memerlukan sebanyak 715 gNodeB. Total CAPEX yang dibutuhkan di awal sebesar Rp.114.662.694.517. Kebutuhan OPEX sebesar Rp.228.618.905.616 (untuk pemodelan tahun 2020-2026) dengan *Net Present Value*(NPV) sebesar Rp. 30.118.427.755.076,-. serta *Internal Rate of Return*(IRR) sebesar 33,07.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Teknologi 5G

Jaringan nirkabel terdiri dari situs seluler yang dibagi menjadi beberapa sektor yang mengirimkan data melalui gelombang radio. Teknologi nirkabel *Long-Term Evolution* (LTE) generasi keempat (4G) menyediakan dasar untuk 5G. Tidak seperti 4G, yang membutuhkan menara seluler besar dan berdaya tinggi untuk memancarkan sinyal dalam jarak yang lebih jauh, sinyal nirkabel 5G ditransmisikan melalui sejumlah besar stasiun seluler kecil yang terletak di tempat-tempat seperti tiang lampu atau atap gedung. Penggunaan beberapa sel

kecil diperlukan karena spektrum gelombang *milimeter* (gelombang MM) - pita spektrum antara 30 dan 300 *gigahertz* (GHz) yang diandalkan 5G untuk menghasilkan kecepatan tinggi - hanya dapat berjalan dalam jarak pendek dan tunduk pada gangguan dari cuaca dan rintangan fisik, seperti bangunan atau pohon [8].

Kecepatan unduh 5G saat ini dapat mencapai 1.000 megabit per detik (Mbps) atau bahkan hingga 2,1 Gbps. Untuk memvisualisasikan ini, pengguna dapat memulai video YouTube dalam kualitas 1080p pada perangkat 5G tanpa buffering. Mengunduh aplikasi atau episode acara Netflix, yang mungkin membutuhkan waktu beberapa menit, dapat diselesaikan hanya dalam beberapa detik. Streaming video secara nirkabel dalam 4K juga menjadi jauh lebih layak. Jika pada gelombang MM, contoh-contoh ini saat ini harus berada dalam blok kota yang tidak terhalang dari simpul 5G; jika tidak, kecepatan unduh akan turun kembali ke 4G. Pita rendah dapat tetap terkunci pada 5G dalam jarak yang lebih jauh, dan meskipun kecepatan keseluruhan 5G pita rendah mungkin lebih lambat daripada gelombang MM, pita rendah masih harus lebih cepat daripada yang dianggap sebagai koneksi 4G yang baik. Kecepatan unduhan 5G pita rendah mungkin mencapai 30 hingga 250 Mbps. 5G pita rendah lebih mungkin tersedia untuk lebih banyak lokasi pedesaan. Kecepatan unduhan *Midband* 5G dapat mencapai hingga 100 hingga 900 Mbps, dan kemungkinan besar akan digunakan di area metro utama [8].

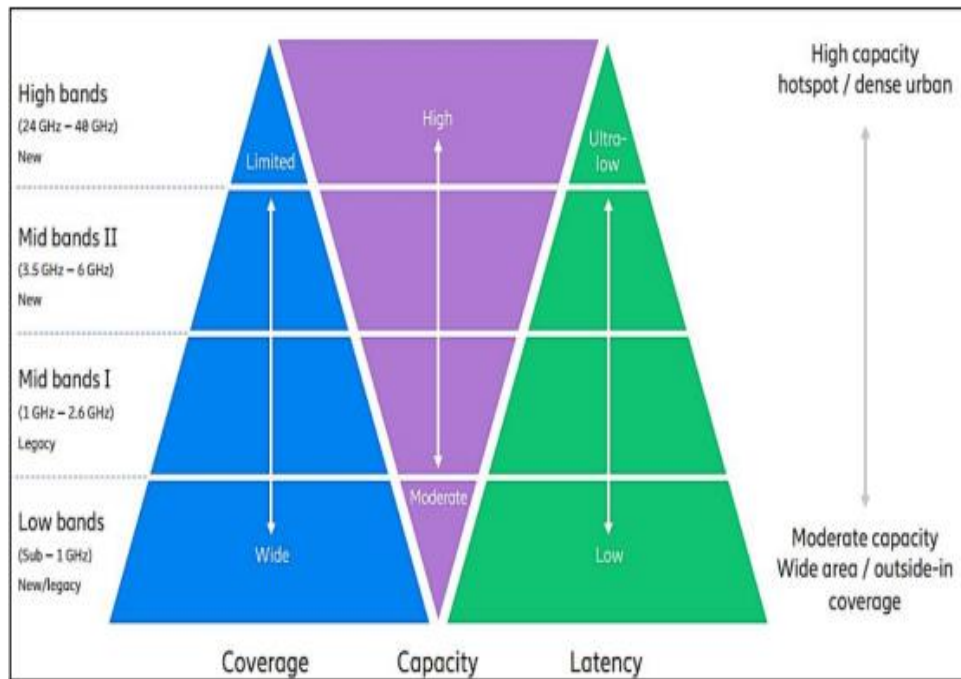
Operator jaringan nirkabel di empat negara - Amerika Serikat, Jepang, Korea Selatan, dan Cina - sebagian besar mendorong pembangunan 5G pertama. Operator jaringan diharapkan menghabiskan miliaran dolar untuk pengeluaran modal 5G hingga 2030, menurut *Technology Business Research (TBR) Inc.*, meskipun tidak jelas bagaimana layanan 5G akan menghasilkan pengembalian investasi itu. Kasus penggunaan dan model bisnis yang berkembang yang memanfaatkan manfaat 5G dapat mengatasi masalah pendapatan operator. Secara bersamaan, badan standar sedang mengerjakan standar peralatan 5G *universal*. Proyek Kemitraan Generasi ke-3 (3GPP) menyetujui standar *New*

Radio(NR) 5G pada Desember 2017 dan diharapkan dapat menyelesaikan standar inti seluler 5G yang diperlukan untuk layanan seluler 5G. Sistem radio 5G tidak kompatibel dengan radio 4G, tetapi operator jaringan yang telah membeli radio nirkabel baru-baru ini mungkin dapat meningkatkan ke sistem 5G baru melalui perangkat lunak daripada membeli peralatan baru [8].

2.2.2 Frekuensi Jaringan 5G

Untuk spektrum frekuensi antara 1 Ghz dan 6 Ghz atau *medium frequency bands* terdapat kandidat, selain frekuensi 2.3-2.4 GHz yang telah digunakan untuk 4G LTE yaitu 3.3-4.2 GHz sebagaimana tertera pada Peraturan Menteri Kominfo Nomor 25 Tahun 2014. Berdasarkan *The World Radiocommunication Conference* (WRC) tidak menentukan frekuensi tertentu yang akan digunakan, namun terdapat kesamaan untuk peluncuran 5G di Eropa dan Asia bahwa akan menggunakan spektrum frekuensi 3.5 GHz. Frekuensi ini ideal untuk dikembangkan untuk layanan pada daerah perkotaan dengan kebutuhan kinerja trafik data yang tinggi[8].

Untuk meningkatkan kapasitas dan kinerja jaringan tersebut diperlukan penambahan akuisisi spektrum frekuensi yang sesuai dengan skema layanan yang digunakan pada 5G dengan indikator kapasitas trafik data seribu kali lebih besar dan data *rate* hingga seratus kali dari teknologi yang ada saat ini sehingga jaringan 5G akan mengakomodasi trafik data dengan orde mulai dari kbps hingga Gbps. Jika dilihat dari skema layanan pada 5G maka terdapat tiga jajaran spektrum frekuensi yang dapat digunakan yaitu dibawah 1 Ghz, diantara 1 Ghz dan 6 Ghz dan di atas 6Ghz [9].



Gambar 2. 1 Frekuensi Jaringan 5G [9].

Berdasarkan *The World Radiocommunication Conference* (WRC) seperti pada Gambar 2.1 yang mana tidak menentukan frekuensi tertentu yang akan digunakan, namun terdapat kesamaan untuk peluncuran 5G di Eropa dan Asia bahwa akan menggunakan spektrum frekuensi 3.5 GHz. Frekuensi ini ideal untuk dikembangkan untuk layanan pada daerah perkotaan dengan kebutuhan kinerja trafik data yang tinggi,

Selanjutnya penggunaan spektrum frekuensi di atas 6 Ghz adalah gelombang milimetrik atau mmWave dengan rentang frekuensi antara 30 GHz sampai 300GHz yang diharapkan dapat mendukung kinerja jaringan akses untuk mencapai data *rate* pada orde Gigabit/detik (Gbps). Tantangan utama pada gelombang milimetrik adalah sangat rentan terhadap *path loss*, lintasan *non-line-of-sight* serta *noise* karena menggunakan frekuensi *carrier* yang tinggi dan *bandwidth* yang lebar [10].

2.2.2.1 Frekuensi 3,5 Ghz Untuk 5G

Frekuensi 3,5 GHz merupakan frekuensi yang tergolong pada *mid-bands* atau *Sub-6GHz* yang merupakan teknologi 5G yang menggunakan frekuensi pita

rendah, di bawah 6 Ghz. Teknologi jenis ini sudah digunakan oleh beberapa provider asal AS, contohnya seperti AT&T dan T-Mobile. *Sub-6GHz* diklaim lebih baik didirikan di pedesaan atau daerah pinggiran kota. Selain memiliki jangkauan yang lebih luas dan dapat menembus objek dengan lebih baik, *Sub-6GHz* juga membutuhkan biaya yang jauh lebih murah. Sementara menurut Sekjen Pusat Kajian Kebijakan dan Regulasi Telekomunikasi Institut Teknologi Bandung (ITB) spektrum yang ideal digunakan untuk menggelar 5G adalah pita frekuensi 2,6 GHz atau 3,5 GHz (*Sub-6 GHz*). pita frekuensi 2,5 GHz di rentang 3,3 GHz-3,8 GHz cukup umum digunakan beberapa negara yang telah menggelar 5G, seperti Korea Selatan. Eropa menggunakan 3,4-3,8 GHz untuk peluncuran 5G. Jepang sedang mencari 3,6-4,2 GHz, setelah menyediakan 3,4-3,6 GHz untuk LTE dan 3,6-4,1 GHz untuk 5G. AS menyediakan pita 3,55-3,7 GHz dan 3,7-3,98 GHz untuk 5G sementara Kanada akan menyediakan spektrum 500 MHz. Untuk frekuensi 3,5 dianggap cocok untuk pengenalan 5G di Indonesia dengan keoptimalan jangkauan dan kapasitasnya dengan implementasi yang hemat biaya. Ketersediaan *bandwidth* saluran minimal 100 MHz per jaringan 5G dengan penerapan MIMO masif akan meningkatkan *throughput* puncak dengan kompleksitas yang terjangkau. Frekuensi lebih rendah sudah dilisensikan untuk penggunaan seluler (misalnya 700, 800, 900, 1800 dan 2100 MHz) dapat dieksploitasi dalam kombinasi dengan 3,3-3,8 GHz (memanfaatkan fitur koeksistensi uplink LTE/NR dari standar 3GPP) yang memungkinkan operator mendapatkan keuntungan dari penyebaran frekuensi ini yang lebih cepat dan hemat biaya, sehingga menghasilkan peningkatan kapasitas tanpa biaya tambahan pemadatan jaringan [19].

2.2.2.2 Spektrum 5G di Indonesia

Idealnya, kandidat frekuensi 5G harus lengkap, ada beberapa 3 jenis layer frekuensi yaitu : *lower band*, *middle band*, dan *high band* . Indonesia memiliki frekuensi 26 GHz untuk *upper band*, yang saat ini masih kosong dan dijadikan salah satu opsi dalam implementasi 5G, frekuensi 2,6 Ghz dan 3,5 Ghz berada pada *middle band*. Keduanya digunakan untuk koneksi satelit, seperti BRI

dan Indovision, sedangkan *lower band*, terdapat opsi 700 MHz dan 800 MHz. Frekuensi 700 MHz digunakan untuk siaran TV analog, yang sedang direncanakan akan dimigrasi menjadi digital [11].

Dalam pengaplikasian frekuensi 5G, Kominfo menunggu UU Penyiaran yang telah dilegalkan. Layanan operator seluler 4G telah menggunakan frekuensi 800 MHz yang telah dilaksanakan *refarming* pada April 2019. Didalam komunikasi seluler, pita frekuensi yang lebih rendah mendukung daerah dengan kualitas penyebaran yang lebih baik. Hampir semua negara, termasuk indonesia, memakai spektrum pita rendah dan menengah (dibawah 6 GHz) untuk sistem teknologi 2G, 3G, dan 4G. Selain mencapai *throughput* data tingkat tinggi, penting juga untuk memastikan cakupan luas dan luar ruang. Dengan itu maka pita spektrum di bawah 6 GHz mewakili bagian yang penting dari spektrum 5G [11].

jangkauan seluler maksimal 5G (m). Cakupan sel maksimum berkurang seiring dengan meningkatnya pita frekuensi. Untuk mmWave, sel jangkauan seluler tertinggi adalah 194,78 meter pada 28 GHz dan 195,60 meter pada 26 GHz. Sel coverage seluler tertinggi pada frekuensi midband 2,6 GHz dan 3,5 GHz masingmasing sebesar 617,42 meter dan 608,10 meter. Akibatnya, semakin rendah pita frekuensi, semakin besar cakupan maksimum sel seluler, semakin sedikit situs sel yang diizinkan untuk memenuhi wilayah tersebut, dan semakin sedikit cakupan sel yang diperlukan. Akibatnya, jika pita frekuensi lebih tinggi, MNO perlu melakukan investasi besar untuk memelihara dan memasang jaringan seluler di wilayah target. Akibatnya, seiring dengan melebarnya rentang frekuensi, biaya infrastruktur jaringan seluler diperkirakan akan meningkat. [12].

2.2.3 Perancangan Jaringan

2.2.2.3 Perancangan Berdasarkan Coverage

A. *Link Budget*

Link budget adalah perhitungan dari semua *gain* dari pemancar dan terima setelah melalui redaman di berbagai media transmisi hingga akhirnya diterima oleh *receiver* di dalam sebuah sistem telekomunikasi. *Link budget* akan memperhitungkan besarnya redaman dari sinyal termasuk di

dalamnya berbagai macam redaman propagasi yang dipancarkan selama proses propagasi berlangsung. Secara umum maka *link budget* bisa dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu kelompok perangkat pengirim dan penerima serta kelompok media propagasi [12].

Perancangan jaringan secara cakupan digunakan untuk mengestimasi pelemahan maksimal yang terjadi antara UE dengan eNodeB, sehingga dapat diketahui perangkat dapat bekerja dengan maksimal pada radius tertentu untuk dapat melayani *User*, pelemahan ini biasanya disebut dengan *Maximal Allowable Path Loss* (MAPL). MAPL diperhitungkan secara *Uplink* maupun *Downlink* [22]. Di bawah ini persamaan (2.1) merupakan persamaan perhitungan menentukan *Receive Signal Level* (RxSL) pada jaringan 5G New Radio (NR) dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Received Signal Level receiver (dBm)} = & \text{gNodeB transmit power (dBm)} - \\ & 10 \cdot \log_{10}(\text{subcarrier quantity}) + \text{gNodeB antenna gain (dBi)} - \text{gNodeB cable} \\ & \text{loss (dB)} - \text{Path loss (dB)} - \text{penetration loss (dB)} - \text{foliage loss (dB)} - \text{body} \\ & \text{block loss (dB)} - \text{interference margin (dB)} - \text{rain/ice margin (dB)} - \text{slow fading} \\ & \text{margin (dB)} + \text{UE antenna gain (dB)} - \text{Thermal noise power (dBm)} - \text{UE} \\ & \text{noise figure (dB)} - \text{demodulation threshold SINR (dB)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- *Received Signal Level* (RSL) : Level sinyal pada sisi penerima input RSL biasanya di lambangkan dengan dB (1 mW / 0 dBm).
- *gNodeB transmit power* : Kemampuan daya pemancar pada perangkat gNodeB (dBm)
- *Subcarrier Quantity* : Membawa daya rata-rata *reference signal*
- *gNodeB Antenna Gain* : Penguatan daya antenna pada sisi perangkat gNode B (dBi)
- *gNodeB Cable Loss* : Sisipan loss total pada sistem transmisi kabel gNodeB (dB)

- *Path loss* : Level sinyal yang melemah akibat propagasi *free space loss* (dB)
- *Penetration Loss* : Menunjukkan sinyal radio yang melemah dari *indoor* terminal ke *base station* karena terhalang bangunan (dB)
- *Foliage Loss* : Dalam gelombang milimeter *foliage loss* disebabkan oleh peningkatan redaman yang signifikan dalam perancangan *link radio* (dB)
- *Body Block Loss* : *Body block loss* parameter yang perlu dipertimbangkan untuk skenario dimana lokasi *User Equipment* yang rendah dan volume trafik luas khususnya pada skenario mmWave (dB)
- *Interference Margin* : Sensitivitas penerima untuk mengatasi peningkatan *noise floor* yang disebabkan interferensi dari sel tetangga (dB)
- *Slow Fading Margin*: Parameter ini mengacu pada batas margin yang diperbolehkan untuk memastikan probabilitas tingkat cakupan tertentu untuk pengukuran jangka panjang (dB)
- *Rain/Ice Margin* : Batas margin yang disediakan untuk mengatasi kemungkinan pelemahan sinyal yang disebabkan oleh hujan, salju dan es. (dB)
- *UE antenna gain* : Penguatan antena pada perangkat *User equipment* (dB)
- *Thermal noise power* : Daya derau termal yang bergantung pada *bandwidth* dan suhu lingkungan (dB)
- *Noise Figure* : Pengukuran dari degradasi *signal to noise ratio* (dB)
- *Demodulation Threshold SINR* : Ambang batas demodulasi *signal*

2.2.2.4 Model Propagasi Jaringan 5G (NR) Pada *Outdoor*

A. Model Propagasi *Rural Macrocell* (3D-RMa)

Model pathloss RMa biasanya digunakan untuk transmitter (Tx) yang memiliki tinggi kurang lebih 35 meter, dan memiliki urgensi untuk memprediksi statistika kekuatan sinyal yang diterima (*received signal*) dalam area pedesaan. *Pathloss* berasal dari frekuensi pada saluran *outdoor macrocell*, kecuali untuk meter pertama dari *propagation loss* yang merupakan fungsi dari frekuensi kuadrat. karena level daya yang diterima area lokal berasal dari *bandwidth* [13].

Pada skenario 3D-RMa LOS memiliki *Path loss* (dB), f_c (GHz),
Distance (m) yaitu [10] :

$$PL2 = PL1(dBP) + 40 \log_{10} \left(\frac{d3D}{dBP} \right) \quad (2.2)$$

Keterangan :

PL = nilai *path loss* (dBm)

d3D = resultan dari nilai (h'BS-h'UT) dan nilai d2D

f_c = frekuensi (GHz)

B. Model Propagasi *Urban Macrocell* (UMa)

Skenario Uma O2O dan O2I menyerupai 3D-Uma *Base Station* dipasang di atas *rooftop* bangunan sekitar, dengan tinggi TX kurang lebih 25 m; tinggi Rx kira-kira 1,5-2,5 m dan ISD kurang lebih 500 m [13]:

Pada skenario 3D-UMa LOS memiliki *Path loss* (dB), f_c (GHz),
Distance (m) yaitu :

$$PL1 = 22.0 \log_{10}(d3D) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c) \quad (2.3)$$

Keterangan :

PL = nilai *path loss* (dBm)

d3D = resultan dari nilai (h'BS-h'UT) dan nilai d2D

f_c = frekuensi (GHz)

Lalu skenario 3D-UMa NLOS memiliki memiliki *Path loss* (dB),
 f_c (GHz), *Distance* (m) yaitu [11]:

$$L = \max(PL3D - UMi - NLOSPL3D - UMi - LOS) \quad (2.4)$$

Keterangan :

PL = nilai *path loss* (dBm)

d3D = resultan dari jarak antara hBS dan hUT (m)

d'BP = jarak *break point* (m)

f_c = frekuensi (GHz)

hBS = tinggi gNB (m)

hUT = tinggi UT (m)

C. Model Propagasi *Urban Micro* (3D - UMi)

Base Station O2O dan O2I dari skenario *Urban Microcell street* canyon dipasang di bawah tingkat *rooftop* pada gedung sekitar. Skenario *reallife* direkam pada area terbuka seperti kota atau terminal. Nilai dari luas cakupan area terbuka kurang lebih 50-100 m; dengan tinggi Tx 10 m; tinggi Rx sekitar 1,5-2,5 m; dan ISD sekitar 200 m [13].

Tabel 2. 1 Ketentuan Parameter yang Digunakan untuk Model Umi-street[13]

Parameters		Ketentuan Umi-street canyon
<i>Cell layout</i>		Hexagonal grid
Tinggi antena gNodeB (hBS)		10m
Lokasi UT	<i>Outdoor/Indoor</i>	<i>Outdoor dan Indoor</i>
	LOS/NLOS	LOS dan NLOS
	<i>Height Hut</i>	1,5 – 22,5 m

Tabel 2. 2 Ketentuan Parameter yang Digunakan untuk Model Umi[13]

Parameters	Ketentuan Umi-street canyon
Mobilitas UT (<i>horizontal plane only</i>)	3km/h
Jarak minimal BS-UT	10 m

Pada skenario 3D-UMi LOS memiliki *Path loss* (dB), f_c (GHz),
Distance (m) yaitu :

$$PL1 = 32.4 + 21 \log_{10}(d3D) + 20 \log_{10}(f_c) \quad (2.5)$$

$$PL2 = 40 \log_{10}(d3D) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c) - 9 \log_{10}((d'BP)^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2) \quad (2.6)$$

Keterangan :

PL = nilai *path loss* (dBm)

d3D = resultan dari nilai (h'BS-h'UT) dan nilai d2D

f_c = frekuensi (GHz)

Lalu skenario 3D-Umi NLOS memiliki nilai *pathloss* (dB), f_c

(GHz), *Distance* (m) yaitu:

$$PL (UMi - NLOS) = 35.3 \log_{10}(d3D) + 22.4 + 21.3 \log_{10}(f_c) - 0.3 (h_{UT} - 0.5) \quad (2.7)$$

Keterangan :

PL = Nilai *pathloss* (dBm)

d3D = resultan dari jarak antara hBS dan hUT (m)

d'BP = jarak *break point* (m)

f_c = frekuensi (GHz)

hBS = tinggi gNB (m)

hUT = tinggi UT (m)

Kemudian *Applicability Range, Antenna Height Default Values* pada 3D-Umi LOS yaitu [13]:

$$10m < d2d < d'BP, dBP < d2d < 5000, hBS = 10m, 1.5m < hUT < 22.5m \quad (2.8)$$

Kemudian *Applicability Range, Antenna Height Default Values* pada 3D-UMi NLOS yaitu :

$$10m < d2D < 2000m^2), hBS = 10m, 1.5 m \leq hUT \leq 22. \quad (2.9)$$

2.2.2.5 Perancangan berdasarkan *capacity*

Estimasi jumlah pelanggan digunakan untuk menghitung perencanaan jaringan berdasarkan kapasitas. Semakin banyak jumlah pelanggan maka semakin besar kapasitas jaringan yang disediakan. Estimasi jumlah pelanggan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [17].

A. *Forecasting* Jumlah Pelanggan

Perencanaan kapasitas jaringan dapat memperkirakan jumlah *user* sehingga mengetahui kebutuhan lalu lintas yang dapat dipenuhi. Jumlah *user* yang dinilai dapat ditentukan oleh kondisi berikut [17]:

$$U_n = U_0(1 + fp)^n \quad (2.10)$$

Keterangan:

U_n : jumlah pelanggan tahun ke-n

U_0 : jumlah pelanggan pada tahun perencanaan

F_p : faktor pertumbuhan pelanggan (%)

n : jumlah tahun prediksi

B. Trafik dan Model Layanan

Penentuan parameter pada model trafik dan layanan yang digunakan pada LTE untuk memperluas *throughput* yang akan dicapai [18]

$$Session\ Time \times Session\ duty\ Ratio \times Bearer\ Rate \times [1/(1 - B)] \quad (2.11)$$

Keterangan:

Throughput = Banyaknya data yang diterima (kbit)

Session Time = Durasi setiap layanan (s)

BLER = Toleransi *Block Error Rate*

Bearer Rate = *Application Layer Bit Rate* (kbit)

Untuk menghitung *throughput* klien tunggal menggunakan rumus [18].

$$Single\ User\ Throughput = \left(\sum \left(\frac{Throughput}{Session} \right) \times BHSA \times Penetration\ Rate \times (1 + Peak\ to\ Average\ Ratio) \right) / 3600 \quad (2.12)$$

Dimana :

BHSA = *Service Attempt in Busy Hour Penetration*.

Rate = Penetrasi jaringan tiap daerah.

Peak to Average Ratio = Penetrasi rata-rata tiap daerah 3600..

C. Kapasitas *Downlink Cell* dan *Uplink Cell*

$$\text{DL MAC layer Capacity} + \text{CRC} = (168 - 36 - 12) \times (\text{Code bits}) \times (\text{Code rate}) \times \text{Nrb} \times \text{C} \times 1000 \quad (2.13)$$

Sedangkan kapasitas sel dengan arah *uplink* adalah sebagai berikut:

$$\text{L MAC layer Capacity} + \text{CRC} = (168 - 24) \times (\text{Code rate}) \times \text{Nrb} \times \text{C} \times 1000 \quad (2.14)$$

Keterangan:

CRC = 24

168 = *The number of RE in 1 ms*

36 = *The number of control channel RE in 1 ms*

12 = *The number of reference signal RE in 1 ms*

Code bits = *modulated bits*

Code rate = *channel coding rate*

Nrb = *numbers of RBs*

C = MIMO TRX

24(*uplink*) = *The number of RS RE in 1 ms*

Throughput jaringan ditentukan dengan *Uplink* dan *Downlink*.

Throughput Jaringan ditentukan untuk memenuhi prasyarat *throughput* yang ditunjukkan oleh batas di wilayah perencanaan. Persamaan yang digunakan adalah [18]:

$$\text{UL Net. Throughput: total user number} \times \text{UL single user} \quad (2.15)$$

$$\text{DL Network Throughput} = \text{total user number} \times \text{UL single user} \quad (2.16)$$

D. Perhitungan kapasitas sel

Perhitungan kapasitas sel dipengaruhi oleh kapasitas transmisi dan *tweak* yang digunakan dalam perencanaan. *Throughput* sel ditentukan

dengan mengetahui jumlah sel yang dibutuhkan di wilayah perencanaan. Estimasi batas *Uplink* dan *Downlink* dapat menggunakan rumus berikut [18]:

$$DL \text{ cell capacity} + RC = (168 - 36 - 120) \times (cb) \times (cr) \times Nrb \times C \times 1000 \quad (2.17)$$

Keterangan:

CRC : 24

Cb : *Code bit*

Cr : *Code Rate*

Nrb : *Number of Resource Block*

C : Model Antena MIMO

2.2.4 Radio Key Performance Indicator (KPI) Parameter

A. Parameter SS-RSRP

Parameter SS-RSRP atau dengan kata lain *Secondary Synchronization - Reference Signal Received Power* digunakan dalam pengukuran daya linier rata-rata pada *resource elements* yang membawa informasi *reference signal* dengan rentang frekuensi *bandwidth* yang digunakan.

Tabel 2. 3 Kategori Nilai SS-RSRP[14].

Kategori	Batas Nilai SS-RSRP (dBm)
Bagus	-70 s/d -90
Normal	-91 s/d -110
Buruk	-111 s/d -130

Reference signal dibawa oleh simbol tertentu pada satu *subcarrier* dalam *resource block*, sehingga pengukuran hanya dilakukan pada *resource element* yang membawa informasi *cell-specific reference signal* dan untuk tampilan kategori nilai sesuai dengan Tabel 2.3. Nilai diatas akan menjadi acuan atau parameter dalam penentuan baik buruk coverage sinyal.

B. Parameter SS-SINR

Parameter SS-SINR atau dengan kata lain *Signal-to-Noise and Interference Ratio* digunakan dalam perhitungan rasio kekuatan sinyal antara sinyal utama dengan interferensi terhadap *noise background* yang muncul dengan kata lain nilai rata-rata interferensi dan *noise* dengan rata-rata *power* diterima.

Tabel 2. 4 Kategori Nilai SS-SINR[14].

Kategori	Batas Nilai SS-SINR (dBm)
Bagus	16 s/d >30
Normal	1 s/d 15
Buruk	<-10 s/d 0

Tabel 2.4 merupakan batas nilai parameter untuk nilai SS-SINR yang mana akan menjadi acuan menentukan baik buruknya sinyal yang diterima, dan parameter ini di bagi menjadi tiga kategori bagus, normal dan buruk.

2.2.5 *Capital expenditure (CAPEX)*

Capex adalah pengeluaran yang dilakukan oleh sebuah perusahaan untuk menciptakan manfaat masa depan. Dengan kata lain, capex merupakan pembelanjaan aktiva tetap yang bertujuan untuk menambah nilai aset serta memperluas kemampuan perusahaan dalam meningkatkan *profit*. CAPEX dapat ditentukan dengan ketentuan sebagai berikut [16] :

$$CAPEX_{Total} = BS_{cost} + BS_{INST} + BHL + SP_{License} \quad (2.21)$$

Dari persamaan diatas merupakan biaya yang akan dihitung dalam penentuan nilai CAPEX. Ada biaya instalasi biaya, biaya sewa dan lisensi. biaya pembangunan backhaul transmisi (BHL) dan biaya penyewaan License Frequency (SP license).

Tabel 2. 5 Komponen CAPEX [5] [29]

Parameter	Value	Satuan
Inflasi	5.5%	per tahun
eNodeB + <i>Software / license</i>	140,000,000	per NE
Instalasi	10,000,000	per NE
Bunga pinjaman	5,75%	per tahun
Masa pengembalian Pinjaman	5	Tahun
Struktur Pendanaan		
Pinjaman	60%	
Modal Sendiri	40%	

Dalam Tabel 2.5 perhitungan CAPEX ini akan dihitung total biaya keseluruhan dari biaya pembangunan *base station* (BS cost), Instalasi *base station* (BS inst), biaya pembangunan *backhaul* transmisi (BHL) dan biaya penyewaan *License Frequency* (SP license).

2.2.6 Operational Expenditure (OPEX)

Operating Expenditure atau Biaya Operasional adalah pengeluaran yang biasa dilakukan oleh sebuah perusahaan saat memenuhi kebutuhan operasional. Dalam kata lain, Opex juga adalah biaya yang dikeluarkan untuk tetap menjaga kelangsungan aset serta menjamin aktivitas perusahaan yang direncanakan dapat berjalan dengan baik, dengan Rumus [16]:

$$OPEX_{annual} = OAM_{cost} + MA \quad (2.22)$$

Keterangan : OPEX_{annual} : Operational Expenditure

OAM_{cost} : Biaya Operasional dan Maintenance

OPEXannual : *Operational Expenditure*

OAMcost : Biaya Operasional dan *Maintenance*

MA : *Marketing and Advertisement*

Tabel 2. 6 Komponen OPEX [5]

Parameter	Biaya (Rp)
<i>Operational & Maintenance</i>	250,000,000
Sewa <i>site</i>	1,000,000,000
BHP frekuensi	1.200.000.000.000

Tabel 2.6 merupakan biaya SDM (Sumber Daya Manusia), Interkoneksi, Pemasaran dan organisasi umum didapat dari informasi laporan tahunan pada administrator PT. Telkomsel mengambil informasi terbaru dari 5 tahun terakhir, tepatnya dari tahun 2017 hingga 2021.

Tabel 2. 7 Biaya pada *revenue* OPEX [28]

Tahun	Interkoneksi (Rp)	Biaya Pemasaran	Biaya General & Administration	SDM (Karyawan) (Rp)
2019	5,181,000,000	3,633,000,000	5,016,000,000	5,256,000,000
2018	5,406,000,000	3,482,000,000	6,511,000,000	4,961,000,000
2017	2,439,000,000	2,462,000,000	1,860,000,000	4,846,000,000
2016	3,191,000,000	3,347,000,000	2,072,000,000	4,074,000,000
2015	2,785,000,000	4,320,000,000	1,821,000,000	3,950,000,000

Pada tabel 2.7 ada beberapa biaya yang nantinya akan di jadikan asumsi untuk prediksi 10 tahun kedepan, yaitu pada data hanya ada dari 2014-2019 yang nantinya akan dijadikan sebagai acuan menentukan prediksi biaya-biaya pada tabel 2.7, dari biaya-biaya tersebut nantinya akan menjadi keseluruhan biaya operasional. Ada beberapa aspek dalam OPEX dimana beberapa aspek tersebut akan dijumlahkan dan menjadi nilai OPEX.

Tabel 2. 8 Biaya *General & Administration* [28]

Tahun	Revenue Seluruh Indonesia
2019	93,418,000,000
2018	94,649,000,000
2017	91,088,000,000
2016	89,246,000,000
2015	93,217,000,000

Pada tabel 2.8 merupakan hasil ARPU telkomsel yang di rilis di website resmi telkomsel dimana bisa di akses dan di unduh untuk data yang berkaitan dengan hubungan investor, pada data diatas adalah dari tahun 2014 sampai 2019 yaitu 5 tahun yang nantinya akan di proyeksikan ke penelitian ini.

2.2.7 Net Present Value (NPV)

Net present value atau NPV disebutkan sebagai selisih antara nilai arus kas masuk sekarang dan yang keluar selama dalam kurun waktu tertentu. Penganggaran modal dan perencanaan investasi memakai NPV sebagai metode dalam menentukan keuntungan atau profitabilitas. Selain itu *net present value* adalah juga disebut sebagai hasil perhitungan untuk menentukan nilai saat ini dari aliran investasi atau pembayaran di masa yang akan datang. Untuk perhitungannya menggunakan rumus berikut [16]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{Cft}{(1 + K)^t} - I_0 \quad (2.23)$$

Dimana :

t : Jumlah tahun

Cft : aliran kas periode t

I₀ : investasi tahun ke 0

K : tingkat suku bunga.

2.2.8 *Internal Rate Of Return (IRR)*

IRR juga dikenal sebagai metode untuk menghitung tingkat bunga suatu investasi dan menyamakannya dengan nilai investasi saat ini berdasarkan penghitungan kas bersih di masa mendatang. Singkatnya, apabila penghitungan *internal rate of return* menunjukkan angka lebih besar daripada modal yang dikeluarkan. Dengan perhitungan menggunakan rumus berikut [16]:

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{C_{ft}}{(1+IRR)^t} \quad (2.24)$$

Keterangan

t : Tahun ke

n : Jumlah tahun

I₀ : Nilai investasi awal

CF : Arus kas bersih

IRR : Tingkat bunga yang dicari