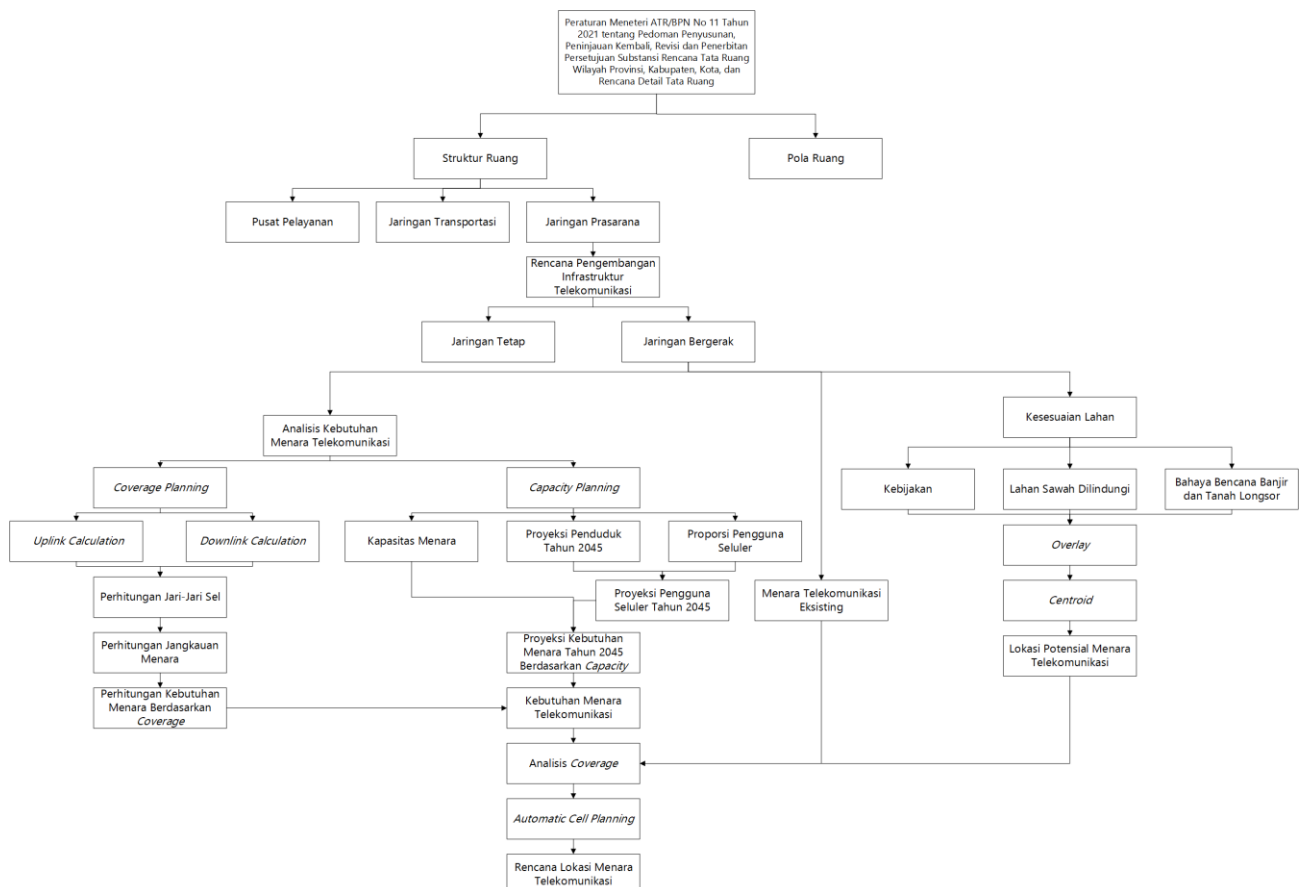


## BAB 2

### KONSEP PERENCANAAN

#### 2.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan dalam tugas akhir ini digunakan untuk menentukan lokasi menara telekomunikasi dengan beberapa tahapan di dalamnya. Perencanaan telekomunikasi dalam perencanaan tata ruang berkaitan dengan struktur ruang. Hal ini ditunjukkan pada Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/ Kepala Badan Pertanahan Nasional Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penyusunan, Peninjauan Kembali, Revisi, dan Penerbitan Persetujuan Substansi Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi, Kabupaten, Kota, dan Rencana Detail Tata Ruang. Telekomunikasi pada tugas akhir ini termasuk dalam jaringan bergerak yang termasuk dalam jaringan prasarana pada struktur ruang. Berikut merupakan kerangka perencanaan yang akan dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

**Gambar 2. 1 Kerangka Perencanaan**

Infrastruktur telekomunikasi berupa menara telekomunikasi sebagai bagian dari struktur ruang rencana tata ruang perlu direncanakan guna pemerataan akses telekomunikasi.

Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah didasarkan pada kebutuhan terhadap jaringan telekomunikasi yang andal pada Kabupaten Sleman sehingga diperlukan adanya perencanaan jaringan telekomunikasi dalam menunjang peningkatan akses internet terutama pada daerah *blank spot*. Kondisi ini juga dipengaruhi oleh kondisi pertumbuhan pertumbuhan penduduk dan pengguna seluler yang terus meningkat. Analisis yang dilakukan berupa perhitungan terhadap kebutuhan menara dengan metode *coverage planning* dan *capacity planning* serta *overlay* untuk penentuan lokasi menara. Analisis *coverage* digunakan untuk menentukan jangkauan dari menara yang dibutuhkan berdasarkan data pada *link budget* serta hasil perhitungan propagasi Cost 231 Hata. Sementara Analisis *capacity planning* digunakan untuk melihat kapasitas dari menara telekomunikasi dalam menangani pengguna. Penentuan kesesuaian lahan menggunakan metode *overlay* dari tiga variabel yakni kebijakan, bahaya bencana banjir dan tanah longsor, serta lahan sawah dilindungi. Penentuan lokasi menara berdasarkan lokasi potensial kesesuaian lahan dilakukan dengan menguji semua kemungkinan kombinasi dari kebutuhan menara menggunakan metode *automatic cell planning* dengan kriteria yang ditetapkan dan mempertimbangkan menara yang ada di daerah sekitarnya. Luaran dari tugas akhir ini dapat menjadi rekomendasi rencana lokasi menara telekomunikasi dalam Rencana Tata Ruang Kabupaten Sleman pada tahun mendatang.

## **2.2 Kajian Teori**

### **2.2.1 Telekomunikasi**

Telekomunikasi merupakan teknik pengiriman atau penyampaian informasi, dari suatu tempat ke tempat lain baik dalam bentuk tanda-tanda, isyarat, tulisan, gambar, suara, dan bunyi melalui sistem kawat, optik, radio, atau sistem elektromagnetik lainnya. (Novianto, 2012). Dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 36 Tahun 1999 tentang telekomunikasi, telekomunikasi diartikan sebagai setiap pemancaran, pengiriman dan atau penerimaan dari hasil informasi dalam bentuk tanda-tanda, isyarat tulisan, gambar, suara dan bunyi melalui sistem kawat, optik, radio, atau sistem elektromagnetik lainnya. Telekomunikasi menjadi solusi pengiriman pesan jarak jauh memungkinkan pertukaran informasi secara realtime baik menggunakan media kabel maupun nirkabel. Telekomunikasi dapat dibedakan menjadi tiga yakni telekomunikasi satu arah (*simplex*), telekomunikasi dua arah (*duplex*), dan telekomunikasi semi dua arah (*half duplex*). Komponen dasar dalam telekomunikasi meliputi informasi, pengirim, media transmisi, dan penerima. Pendirian terhadap menara telekomunikasi pada perencanaannya harus mengacu pada berbagai

regulasi yang berlaku baik pada tingkat nasional maupun yang ada di daerah perencanaan. Regulasi terkait dengan pendirian menara telekomunikasi yang digunakan dalam penelitian ini diatur dengan beberapa regulasi diantaranya:

- a. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 07/PRT/M/2009 Tahun 2009 tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Bersama Menara Telekomunikasi.
- b. Surat Edaran Direktur Jenderal Penataan Ruang Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 06/SE/Dr/2011 tentang Petunjuk Teknis Kriteria Lokasi Menara Telekomunikasi.
- c. Peraturan Daerah Kabupaten Sleman Nomor 13 Tahun 2021 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Sleman Tahun 2021-2041.
- d. Peraturan Daerah Kabupaten Sleman Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Kabupaten Sleman Nomor 7 Tahun 2015 tentang Pengendalian Menara Telekomunikasi.
- e. Peraturan Bupati Sleman Nomor 28 Tahun 2020 tentang Petunjuk Pelaksanaan Rekomendasi Pengendalian Menara Telekomunikasi.

Pembahasan lebih lanjut terhadap masing-masing regulasi yang digunakan dalam perencanaan menara telekomunikasi dalam penelitian ini terdapat pada bab 3. Perencanaan telekomunikasi pada tugas akhir ini menggunakan pendekatan pada teknologi *Long Term Evolution* atau LTE.

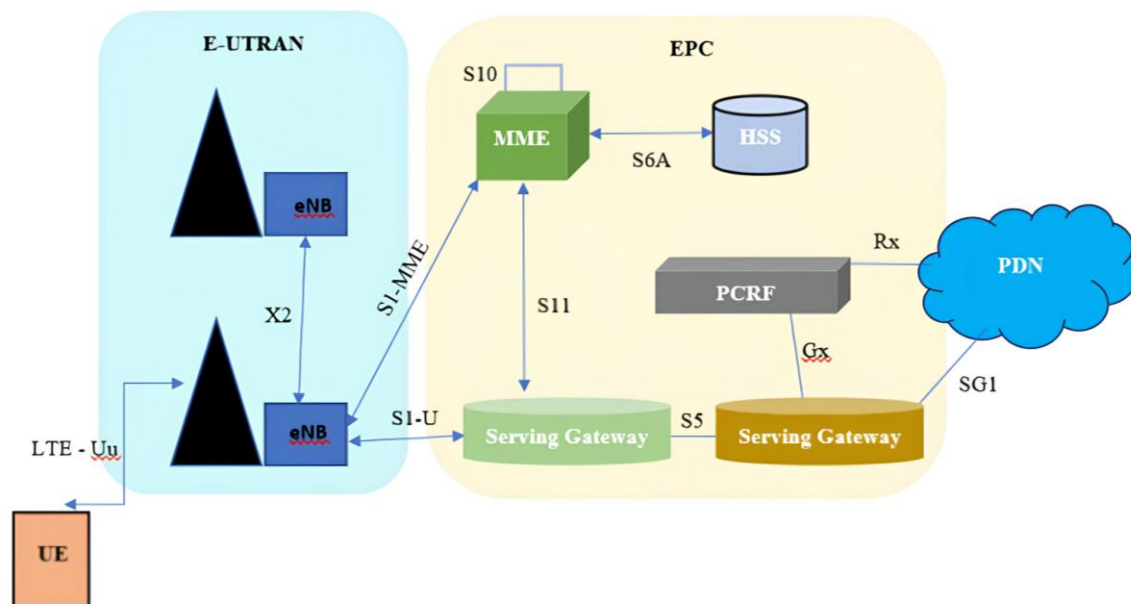
### **2.2.2 Long Term Evolution (LTE)**

*Long Term Evolution* atau disingkat LTE merupakan standar telekomunikasi yang dikembangkan oleh 3GPP atau *Third Generation Partnership Project* sebagai standar komunikasi baru untuk memperbaiki standar telekomunikasi *mobile* generasi ke-3 (3G) yakni UMTS WCDMA. LTE dirancang untuk mengatasi permintaan terhadap akses layanan telekomunikasi yang terus meningkat (Fakhrurrozi dkk., 2024). LTE menjadi kelanjutan dari evolusi teknologi seluler generasi sebelumnya yakni UMTS (3G) dan HSPA (3.5G) sehingga disebut sebagai generasi keempat (4G) (Sitanggang dkk., 2023). LTE dikembangkan untuk memberikan kecepatan akses yang lebih tinggi dengan *latency* yang lebih rendah. LTE menawarkan penggunaan spektrum yang lebih luas dan *radio package* yang lebih optimal. Sebagai pengembangan dari generasi sebelumnya LTE dapat menawarkan transfer data yang lebih cepat. UMTS sendiri memiliki kecepatan transfer data maksimal sebesar 2 Mbps, pada HSPA memiliki kecepatan transfer data sebesar 14 Mbps untuk *downlink* dan 5,6 Mbps

untuk uplink. Sedangkan LTE pada pengembangan awalnya dapat memberikan kecepatan transfer data mencapai 100 Mbps pada sisi downlink dan 50 Mbps pada sisi uplink dengan nilai bandwidth 20 MHz (Shiddiqah dkk., 2016).

### 2.2.2.1 Arsitektur LTE

*Long Term Evolution* atau LTE diajukan untuk menjadi penerus dari generasi sebelumnya yang dapat dilihat pada peningkatan kecepatan, penurunan latensi, hingga teknologi yang lebih baik dari generasi sebelumnya. Perkembangan arsitektur dari *long term evolution* ditandai dengan *Evolved Packet System* atau EPS. EPS terdiri dari jaringan akses yang dinamakan *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN), dan jaringan inti yang dikenal sebagai *System Architecture Evolution* (SAE). Arsitektur dari LTE dapat dilihat sebagai berikut.



Sumber: Hardiyanti Taqwa dkk., 2021

**Gambar 2. 2 Arsitektur Long Term Evolution**

Pada arsitektur *long term evolution* sendiri terdapat beberapa sistem atau teknologi yang digunakan di dalamnya. Penjelasan dari masing-masing bagian arsitektur tersebut dijelaskan sebagai berikut.

#### A. *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*

E-UTRAN atau *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* merupakan bagian dari arsitektur LTE yang bertugas untuk menangani pada bagian sisi radio akses dari perangkat pengguna (UE) dengan jaringan inti (*core*) (Ulfah, 2018). E-UTRAN bertanggung jawab sebagai jembatan komunikasi yang menghubungkan perangkat pengguna seperti

ponsel, tablet, atau modem, dengan otak jaringan seluler yaitu jaringan inti (*evolved packet core*). Tidak seperti pada teknologi sebelumnya, pada E-UTRAN hanya terdapat satu pada *eNodeB* yang telah menggabungkan fungsi NodeB dan RNC (*Radio Network Controller*) pada teknologi sebelumnya sehingga lebih sederhana.

### **B. Evolved Node B**

*Evolved Node B (eNodeB)* adalah elemen jaringan inti dari E-UTRAN dalam arsitektur LTE (*Long Term Evolution*). *eNodeB* berfungsi untuk *Radio Resource Management* (RRM) dan sebagai *transceiver* yang berfungsi mengontrol semua *radio resource* (Ulfah, 2016). Pada jaringan yang berbasis GSM, *eNodeB* diibaratkan sebagai BTS atau *Base Transceiver Station*. Perbedaan BTS dan *eNodeB* adalah kemampuannya. *eNodeB* dirancang untuk arsitektur all-IP yang lebih datar dan efisien, memungkinkan kecepatan dan layanan yang tidak mungkin dicapai dengan teknologi sebelumnya.

### **C. Evolved Packet Core**

EPC atau *Evolved Packet Core* merupakan jaringan *core* pada LTE yang berfungsi untuk menangani rangkaian dan panggilan multimedia melalui konvergensi pada inti IMS (Ulfah & Kurnia, 2018). EPC bertanggung jawab untuk menyediakan semua layanan berbasis IP (data internet, panggilan suara melalui VoLTE, SMS, dan layanan multimedia lainnya) kepada perangkat pengguna (UE). Semua layanan yang disediakan oleh EPC berbasis pada All IP yang mana berbeda dengan generasi sebelumnya.

### **D. Serving Gateway**

*Serving Gateway (S-GW)* berfungsi sebagai titik *user plane sentral* untuk perangkat pengguna (UE) dalam jaringan LTE. S-GW bertanggung jawab untuk merutekan dan meneruskan data paket dari setiap UE, serta berfungsi sebagai jembatan antara jaringan LTE dan teknologi 3GPP lainnya, seperti GERAN dan UTRAN, bersama dengan SGSN (Ulfah & Andi, 2018). S-GW memungkinkan mobilitas dan kontinuitas layanan saat terjadi perpindahan jaringan antar teknologi.

### **E. Packet Data Network Gateway**

*Packet Data Network Gateway (PDN-GW)* merupakan elemen dalam *Evolved Packet Core* atau EPC berfungsi menjadi menjadi titik gerbang keluar bagi lalu lintas data dari jaringan seluler 3GPP (LTE) menuju jaringan data eksternal lainnya seperti WLAN, Wimax, CDMA 2000 1x, dan EVDO (Septiyanto dkk., 2015). PDN-GW berfungsi juga

sebagai *packet filtering* pada setiap pengguna, menentukan jenis layanan, *interception*, dan *packet screening*.

#### **F. Mobility Management Entity**

MME atau *Mobility Management Entity* berperan pengatur utama setiap bagian dari LTE/SAE (Ulfah & Andi, 2018). *Mobility Management Entity* menjadi otak atau *control plane* di *Evolved Packet Core*. *Mobility Management Entity* menangani semua sinyal non-data yang diperlukan untuk mengatur, mengelola, dan mengamankan koneksi perangkat pengguna (UE) ke jaringan LTE. MME bertanggung jawab atas penanganan semua sinyal non-data, yang mencakup proses penting seperti autentikasi dan otorisasi pengguna, pemberian identitas temporer, pengelolaan sesi koneksi, serta penanganan mobilitas antarsel maupun antar jaringan generasi berbeda.

#### **G. Policy and Charging Rules Function**

PCRF (*Policy and Charging Rules Function*) merupakan pengatur kebijakan dan aturan layanan yang tersedia memiliki priority QoS tergantung pada penyedia (Chaerunnisa & Irmayani, 2023). PCRF berperan mengatur akses layanan data secara *real-time*, termasuk pengaturan terhadap *bearer*, pembatasan atau pemberian alokasi *bandwidth*, dan penerapan kebijakan penggunaan data seperti pembatasan kuota atau pemutusan layanan setelah batas tertentu tercapai.

#### **H. Home Subscription Service**

*Home Subscription Service* (HSS) berfungsi untuk menyimpan, memanajemen, dan menjadi keamanan pada semua data user, layanan yang digunakan, serta lokasi user pada *level* yang dikunjungi *node* (Suroyya, 2019). *Home Subscription Service* menjadi pondasi dalam sistem manajemen pelanggan karena berperan sebagai *master database* bagi semua informasi terkait pengguna jaringan telekomunikasi.

### **2.2.2.2 Teknologi Inti dan Pendukung LTE**

Perkembangan teknologi *long term evolution* tidak lepas dari berbagai penemuan dan pengembangan teknologi pendukung. Teknologi pendukung ini antara lain FDD, OFDM, MIMO, hingga arsitektur All-IP yang menjadi pondasi sistem telekomunikasi pada generasi keempat ini.

#### **A. FDD**

*Frequency Division Duplexing* atau FDD merupakan teknik pengiriman data dengan menggunakan dua buah kanal yang berbeda antara penerima dan pengirim. Sistem FDD

mengimplementasikan dua kanal frekuensi yang berbeda untuk transmisi *uplink* dan *downlink* (Razak dkk., 2022). Prinsip dasar dari FDD adalah menggunakan dua frekuensi band yang berbeda untuk komunikasi secara bersamaan yang memungkinkan pemancar dan penerima untuk saling beroperasi tanpa mengganggu satu sama lainnya. Metode FDD ini telah umum digunakan oleh berbagai operator telekomunikasi. Keunggulan utama FDD adalah kemampuannya dalam menyediakan komunikasi *full duplex* secara konsisten dan efisien, terutama pada skenario di mana lalu lintas *uplink* dan *downlink* cenderung seimbang.

## B. OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan teknik modulasi *multicarrier* di mana *subcarrier*-nya saling orthogonal, memungkinkan mereka untuk *overlapping* tanpa menyebabkan *intercarrier interference* (ICI) (Anwar dkk., 2010). Setiap *sub-carrier* dimodulasi secara independen menggunakan modulasi. OFDM dirancang untuk mengatasi tantangan utama dalam komunikasi nirkabel, terutama interferensi akibat *multipath fading*. OFDM bekerja dengan membagi kanal frekuensi menjadi banyak sub-kanal kecil yang berdekatan, masing-masing membawa bagian dari data keseluruhan. Agar *sub-carrier* tidak saling mengganggu, OFDM menerapkan prinsip ortogonalitas, yang mana OFDM menjamin bahwa puncak spektrum satu *sub-carrier* bertepatan dengan titik nol *sub-carrier* lainnya.

## C. MIMO

MIMO merupakan teknologi antena yang terdiri lebih dari satu elemen antena agar penerimaan sinyal menjadi lebih baik serta dapat mengatasi dari *fading* pada sistem komunikasi selular (Zulfikar dkk., 2020). MIMO menggunakan beberapa antena pengirim (*multiple-input*) dan beberapa antena penerima (*multiple-output*) baik di sisi pemancar maupun penerima. Tujuan dari *multiple input* dan *multiple output* adalah untuk mengatasi kelemahan ketika pengiriman informasi dari pengirim ke penerima yakni *fading* atau *multipath fading* pada jaringan bergerak yang diakibatkan oleh adanya pantulan lingkungan yang menyebabkan informasi saling mengalami superposisi maupun interferensi (Aprilita dkk., 2020). MIMO mengubah *multipath* yang tadinya tantangan menjadi peluang. Ketika sinyal dikirim dari beberapa antena dan diterima oleh beberapa antena, sistem dapat menginterpretasikan versi sinyal yang tiba melalui jalur berbeda untuk tujuan yang berbeda.

#### D. Arsitektur All-IP

Arsitektur *All-IP* merujuk pada konsep di mana semua jenis layanan komunikasi (suara, data, video) disalurkan melalui satu infrastruktur jaringan yang sepenuhnya berbasis *Internet Protocol* (IP) (Adu dkk., 2013). Layanan ini menandakan pergeseran dari teknologi sebelumnya seperti 2G dan 3G yang masih berbasis pada *circuit switch*. Pada fase awal implementasi dari jaringan 4G LTE, perangkat seluler masih bergantung pada mekanisme *fallback* ke jaringan 2G atau 3G untuk melakukan panggilan suara dan mengirim SMS. Ini berarti, ketika pengguna 4G melakukan atau menerima panggilan, koneksi akan secara otomatis dialihkan (diturunkan) ke jaringan yang lebih lama.

Sebagai solusi yang digunakan untuk mengatasi keterbatasan ini, standar *Voice over LTE via Generic Access Network* (VoLGA) muncul. VoLGA berfungsi sebagai gerbang penghubung antara *Mobile Switching Center* (MSC) yang merupakan elemen inti jaringan *circuit switch*, dengan *System Architecture Evolution* (SAE) yang merupakan arsitektur inti All-IP pada LTE (Gandhi dkk., 2014). Dengan VoLGA, layanan suara dan SMS dari jaringan dapat ditranslasikan dan disalurkan melalui jaringan *internet protocol*.

Adopsi penuh arsitektur *Internet Protocol Multimedia Subsystem* (IMS) pada jaringan inti menghilangkan kebutuhan akan translasi melalui VoLGA. IMS dirancang khusus untuk menyediakan layanan berbasis IP, termasuk suara dan SMS, secara *native*. Ketika sistem *core* telah beralih ke IMS, lalu lintas suara dan SMS diperlakukan layaknya komunikasi data biasa, yang disalurkan melalui standar *Voice over LTE* (VoLTE).

#### 2.2.3 Coverage Planning

*Coverage planning* merupakan perencanaan menara telekomunikasi dengan memperhitungkan jumlah sel yang dibutuhkan untuk dapat mencakup seluruh daerah yang direncanakan dengan memperhatikan terhadap redaman maksimum yang diperbolehkan (Pradana & Setiaji, 2016). Perencanaan menara telekomunikasi dengan *coverage planning* dilakukan dengan mempertimbangkan terhadap spesifikasi dari alat yang digunakan dan parameter input jaringan. Perhitungan yang dilakukan adalah dengan menghitung terhadap *link budget* baik pada *uplink* maupun *downlink*, penentuan dari model propagasi yang digunakan, perhitungan luas jangkauan sel, hingga perhitungan jumlah *site* atau menara telekomunikasi yang diperlukan.

##### 2.2.3.1 Uplink Calculation

*Uplink* merupakan transmisi data dari *mobile station* ke *base station*. Perhitungan *uplink* dilakukan dengan mempertimbangkan *loss* serta *gain* dari perangkat pengguna



menuju *base station*. *Uplink* beserta dengan *downlink* termasuk salah satu perhitungan *link budget*. *Link budget* merupakan perhitungan yang digunakan untuk menghitung semua parameter yang mempengaruhi kekuatan sinyal dari pemancar (*transmitter*) hingga penerima (*receiver*), termasuk *gain* dan *loss* dalam sistem transmisi (Pramono dkk., 2020). Perhitungan terhadap *link budget* pada arah *uplink* bertujuan untuk mendapatkan nilai dari *Maximum Allowable Path Loss* atau *MAPL* yakni nilai *path loss* maksimum yang diperbolehkan antara *transmitter* dan *receiver* untuk memperoleh *signal to noise ratio* minimum yang dibutuhkan untuk mencapai kualitas minimum yang dibutuhkan dalam mencapai kualitas yang mencukupi (Salamah dkk., 2018).

Perhitungan pada *uplink calculation* dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap *receiver sensitivity* dahulu. *Receiver sensitivity* merupakan daya minimum yang diterima dimana persyaratan dari nilai *throughput* masih terpenuhi (Abdulkafi dkk., 2012). Rumus perhitungan pada sisi *uplink calculation* dilakukan dengan menghitung nilai *RseNodeB*, kemudian *MSRS*, hingga nantinya akan dihitung nilai *MAPLuplink* (Marhadi dkk., 2015). Penjabaran rumus perhitungan *uplink* dimulai dari perhitungan *RseNodeB* adalah sebagai berikut.

$$RSeNodeB = SINR + TNeNodeB + NFeNodeB$$

Keterangan:

*RSeNodeB* = *Receiver Sensitivity* (dBm)

*SINR* = *Required Signal Interference Noise Ratio* (dB)

*TNeNodeB* = *Thermal Noise per sub-carrier* (dBm)

*NFeNodeB* = *Noise Figure eNodeB* (dB)

*Receiver sensitivity* merupakan daya minimum yang diterima dimana persyaratan *throughput* masih terpenuhi (Abdulkafi dkk., 2012). Setelah nilai dari *receiver sensitivity* didapatkan, maka dapat dilakukan perhitungan terhadap *minimum signal reception strength*. *MSRS* merupakan nilai ambang minimum kekuatan sinyal radio yang harus diterima oleh perangkat komunikasi. Perhitungan terhadap *MSRS* dilakukan dengan melakukan penjumlahan terhadap nilai dari *receiver sensitivity*, *loss cable receiver*, *interference margin*, dan *gain antenna*.

$$MSRS = RSeNodeB + Lcable + IM - GR$$

Keterangan:

*MSRS* = *Minimum Signal Reception Strength* (dBm)

*RSeNodeB* = *Receiver Sensitivity eNodeB* (dBm)

|             |                              |
|-------------|------------------------------|
| $L_{cable}$ | = Loss cable receiver (dB)   |
| $IM$        | = Interference Margin (dB)   |
| $GR$        | = Gain antenna receiver (dB) |

Kemudian untuk mendapatkan nilai dari *Maximum Allowed Path Loss* atau MAPL pada *uplink* maka dilakukan perhitungan dengan rumus yakni.

$$MAPL_{uplink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF$$

Keterangan:

|                     |                                                        |
|---------------------|--------------------------------------------------------|
| $MAPL_{uplink}$     | = Maximum Allowed Path Loss uplink (dB)                |
| $EIRP_{subcarrier}$ | = Equivalent Isotropic Radiated Power subcarrier (dBm) |
| $MSRS$              | = Minimum Signal Reception Strength (dBm)              |
| $PL$                | = Penetration Loss (dB)                                |
| $SF$                | = Shadow Fading margin (dB)                            |

#### 2.2.3.2 Downlink Calculation

*Downlink* merupakan transmisi data dari *base station* ke *mobile station*. Perhitungan terhadap *downlink* dilakukan dengan mempertimbangkan semua *loss* dan *gain* dari sisi *base station* menuju *User Equipment (UE)*. Perhitungan *link budget* pada *downlink*, dilakukan guna mendapatkan nilai *Maximum Allowable Path Loss* atau MAPL sama seperti pada perhitungan *uplink*. Perhitungan pada sisi *downlink*, dilakukan dengan menghitung terhadap *equivalent isotropic radiated power subcarrier*, *receiver sensitivity*, *minimal signal reception strength*, hingga nantinya dapat dihitung nilai MAPL-nya (Marhadi dkk., 2015). Rumus perhitungan pada sisi *downlink* dijabarkan sebagai berikut.

$$EIRP_{subcarrier} = P_{subcarrier} + GT - LT_{cable}$$

Keterangan:

|                     |                                                        |
|---------------------|--------------------------------------------------------|
| $EIRP_{subcarrier}$ | = Equivalent Isotropic Radiated Power subcarrier (dBm) |
| $P_{subcarrier}$    | = Subcarrier power transmit (dBm)                      |
| $GT$                | = Gain antenna transmitter (dBi)                       |
| $LT$                | = Loss cable transmitter (dB)                          |

Perhitungan terhadap nilai dari *receiver sensitivity* pada *downlink* dilakukan dengan menghitung terhadap nilai dari *thermal noise per subcarrier* ditambahkan dengan *noise figure* pada *user equipment* dan *required signal interference noise ratio* seperti pada rumus perhitungan berikut ini.

$$RS_{ue} = TN + NF_{ue} + SINR$$

Keterangan:

|           |                                                 |
|-----------|-------------------------------------------------|
| $RS_{ue}$ | = Receiver Sensitivity (dBm)                    |
| $TN$      | = Thermal Noise per subcarrier (dBm)            |
| $NF_{ue}$ | = Noise Figure UE (dB)                          |
| $SINR$    | = Required Signal Interference Noise Ratio (dB) |

Untuk menghitung dari nilai *minimal signal reception strength* pada *downlink* dilakukan dengan menghitung terhadap nilai *receiver sensitivity*, *loss body receiver*, dan *interference margin* dikurangi dengan nilai dari *gain antenna*.

$$MSRS = RS_{ue} + LR_{body} + IM - GR$$

Keterangan:

|             |                                           |
|-------------|-------------------------------------------|
| $MSRS$      | = Minimal Signal Reception Strength (dBm) |
| $RS_{ue}$   | = Receiver Sensitivity (UE)               |
| $LR_{body}$ | = Loss body receiver (dB)                 |
| $IM$        | = Interference Margin (dB)                |
| $GR$        | = Gain Antenna Receiver (dB)              |

Sementara untuk mendapatkan nilai dari *Maximum Allowed Path Loss* atau MAPL pada *downlink* maka dilakukan perhitungan dengan rumus yakni

$$MAPL_{downlink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF$$

Keterangan:

|                     |                                                        |
|---------------------|--------------------------------------------------------|
| $MAPL_{downlink}$   | = Maximum Allowed Path Loss downlink (dB)              |
| $EIRP_{subcarrier}$ | = Equivalent Isotropic Radiated Power subcarrier (dBm) |
| $MSRS$              | = Minimum Signal Reception Strength (dBm)              |
| $PL$                | = Penetration Loss (dB)                                |
| $SF$                | = Shadow Fading margin (dB)                            |

### 2.2.3.3 Perhitungan Jari-Jari Sel

Jari-jari sel atau *cell* dapat dilakukan perhitungan dilakukan dengan menggunakan model propagasi. Propagasi merupakan proses perambatan gelombang radio dari antenna pemancar ke antenna penerima sinyal (Soleha dkk., 2023). Model propagasi menjadi pendekatan matematis dalam menghitung perambatan gelombang radio. Pada perencanaan menara telekomunikasi di Kabupaten Sleman ini digunakan model propagasi COST 231

Hata sebagai perhitungannya dikarenakan frekuensi yang akan digunakan adalah 1.800 MHz. Frekuensi 1.800 MHz memiliki berbagai keunggulan diantaranya biaya investasi rendah, perangkat ponsel telah banyak tersedia di pasar, frekuensinya tidak terlalu tinggi dan rendah, serta daya pancar dan cakupannya luas (Septiana dkk., 2013).

COST 231 Hata merupakan pengembangan dari model Okumura Hata. Model propagasi COST 231 Hata di desain untuk rentang frekuensi 1.500 MHz – 2.000 MHz (Sirait & Dhuha, 2020). Model ini dapat menghitung pada lingkungan urban, sub urban, dan rural. Rumus perhitungan model propagasi COST 231 Hata adalah sebagai berikut.

$$PL(dB) = 46,3 + 33,9 \log_{10} (f_c) - 13,82 \log_{10} (h_t) - \alpha(h_r) + (44,9 - 6,55 \log_{10} (h_t)) \log_{10} (d) + C_M$$

Keterangan:

PL = *Pathloss* (dB)

$f_c$  = Frekuensi (MHz)

$h_t$  = Tinggi antenna *base station* (m)

$h_r$  = Tinggi antenna *mobile* (m)

d = Jarak antara *base station* dan *mobile* (km)

$\alpha(h_r)$  = Faktor koreksi antenna *mobile*

$C_M$  = Konstanta (dB),

Perhitungan pada wilayah urban dilakukan dengan menggunakan konstanta senilai 3 dB. Sementara perhitungan pada wilayah sub urban dan rural menggunakan konstanta 0 dB. Untuk menghitung nilai dari faktor koreksi antenna *mobile* pada wilayah yang termasuk urban dihitung menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut.

$$\alpha(h_r) = 3,2 (\log 11,75h_r)^2 - 4,97$$

Sementara untuk menghitung faktor koreksi antenna *mobile* pada karakteristik wilayah yang termasuk dalam kategori sub urban dan rural dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\alpha(h_r) = (1,1 \log f_c - 0,7)h_r - (1,56 \log f_c - 0,8)$$

Perhitungan dari masing-masing nilai faktor koreksi antenna *mobile* dapat digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap rumus propagasi yang ada di atasnya. Hasil dari koreksi juga disesuaikan dengan karakteristik wilayah yang ada baik urban, sub urban, maupun rural.

#### 2.2.3.4 Perhitungan *Coverage* Sel

*Coverage* sel dapat dihitung dengan menggunakan model perhitungan salah satunya adalah model perhitungan dengan bentuk heksagonal. Perhitungan terhadap model heksagonal pada *coverage* sel konfigurasi 3 sektor dapat dilakukan dengan mengalikan nilai K sebesar 1.95 ke dalam perhitungan *coverage* sel (Gebru Abay & Jemal Ali, 2016). Berikut rumus perhitungan site dengan 3 sektor.

$$L_{cell} = 1,95 \times 2,6 \times d^2$$

Keterangan:

$L_{cell}$  = Luas Sel ( $km^2$ )

$d$  = Jari-jari sel ( $km$ )

Hasil dari perhitungan terhadap jangkauan sel yang berupa luasan yang dapat dicakup oleh satu menara telekomunikasi nantinya dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan dari menara telekomunikasi yang dibutuhkan berdasarkan *coverage planning*.

#### 2.2.3.5 Perhitungan Kebutuhan Menara

Kebutuhan menara dihitung dengan membagi luasan area yang direncanakan dengan luasan dari *coverage* sel yang telah dihitung sebelumnya (Fakhrurrozi dkk., 2024). Rumus perhitungan kebutuhan menara telekomunikasi berdasarkan *coverage* adalah sebagai berikut.

$$\sum LTEeNodeB = \frac{L_{area}}{L_{cell}}$$

Keterangan:

$\sum LTEeNodeB$  = Jumlah Kebutuhan Menara

$L_{area}$  = Luas Area

$L_{cell}$  = Luas Sel

Hasil perhitungan kebutuhan menara telekomunikasi nantinya dapat dibulatkan keatas agar dapat mengakomodir sisa dari perhitungan sehingga dapat mencukupi dari kebutuhan menara telekomunikasi pada daerah perencanaan.

#### 2.2.4 *Capacity Planning*

*Capacity planning* merupakan perencanaan menara telekomunikasi dengan mempertimbangkan terhadap jumlah pengguna dan trafik (*capacity*) yang mampu diakomodir oleh *eNodeB*. *Capacity planning* bertujuan untuk mengetahui jumlah site yang dibutuhkan sesuai dengan trafik yang diperlukan (Mubarok & Putri, 2019). Parameter input

pada perencanaan dengan *capacity planning* berupa bandwidth, spektral efisiensi, jam sibuk, hingga konsumsi pengguna tiap bulannya.

#### 2.2.4.1 Perhitungan Kapasitas Menara

Perhitungan terhadap kapasitas pelanggan yang mampu dilayani oleh tiap menara salah satunya adalah dengan menggunakan metode *traffic volume based dimensioning*. Metode pendekatan berbasis volume trafik memperkirakan kapasitas maksimal trafik data dalam satuan gigabyte per bulan yang dapat ditangani oleh *eNodeB*, berdasarkan efisiensi spektral, jam sibuk, dan strategi QoS (Holma & Toskala, 2011). Rumus perhitungan terhadap *capacity planning* yang mampu ditangani oleh sebuah *eNodeB* adalah sebagai berikut.

$$S = \frac{B \times E \times 3600 \times L \times D \times N}{8192 \times F \times U}$$

Keterangan:

- $S$  = Pelanggan Tiap Menara (Jiwa)
- $B$  = Bandwidth (MHz)
- $E$  = Efisiensi spektral (bps/Hz)
- 8192 = Konversi dari Mbps ke Gbyte
- 3600 = Konversi dari per detik ke per jam
- $L$  = *Busy hour average load* (%)
- $D$  = Jumlah hari selama bulan (30)
- $N$  = Jumlah sektor per *site* (3)
- $F$  = *Busy hour carries* (%)
- $U$  = Konsumsi data per user per bulan (GB)

Perhitungan terhadap kapasitas dari *eNodeB* dihitung dengan mempertimbangkan terhadap kapasitas sel yang dapat ditangani dengan mempertimbangkan terhadap efisiensi spektralnya. Kemudian akan dihitung terhadap tingkat rata-rata pemanfaatan kapasitas jaringan selama jam sibuk dan jumlah kanal frekuensi atau carrier yang aktif atau digunakan selama jam sibuk untuk mendapatkan nilai dari volume data yang dapat ditangani oleh sebuah *eNodeB* setiap bulannya. Lalu untuk mendapatkan jumlah pengguna yang dapat ditangani maka akan dibagi terhadap jumlah rata-rata penggunaan bulanan masing-masing pengguna yang ada.

#### 2.2.4.2 Perhitungan Proyeksi Penduduk

Penduduk merupakan sekelompok warga negara yang menempati suatu wilayah, baik secara menetap maupun sementara. Proyeksi penduduk merupakan ramalan yang didasarkan pada asumsi rasional tertentu yang dibuat untuk kecenderungan masa yang akan datang menggunakan statistik atau perhitungan matematik (Karyana & Rusliana, 2021). Proyeksi pertumbuhan penduduk dilakukan untuk menjadi dasar dalam pengambilan keputusan yang tepat di masa depan (Herlina dkk., 2023). Perhitungan terhadap proyeksi penduduk nantinya akan digunakan sebagai dasar dari proyeksi jumlah pengguna seluler di suatu wilayah. Perhitungan terhadap proyeksi penduduk dapat dilakukan dengan berbagai metode salah satunya perhitungan agregat baik dengan model aritmatik, geometrik, maupun eksponensial. Rumus perhitungan proyeksi penduduk secara aritmatik dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_n = P_0(1 + rn)$$

Keterangan:

$P_n$  = Penduduk pada tahun  $n$

$P_0$  = Penduduk pada tahun awal

$r$  = Angka pertambahan penduduk (%)

$n$  = Periode waktu antara tahun awal dan tahun  $n$

Perhitungan dengan model aritmatik memproyeksikan pertumbuhan penduduk dengan jumlah sama setiap tahun. Sementara untuk perhitungan secara geometrik dapat dilihat dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_n = P_0(1 + r)^n$$

Keterangan:

$P_n$  = Penduduk pada tahun  $n$

$P_0$  = Penduduk pada tahun awal

$r$  = Angka pertambahan penduduk (%)

$n$  = Periode waktu antara tahun awal dan tahun  $n$

Model perhitungan secara geometrik menghitung angka pertumbuhan penduduk yang menggunakan dasar bunga majemuk. Angka pertumbuhan penduduk dianggap sama untuk setiap tahun. Sedangkan untuk rumus perhitungan secara eksponensial dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$P_n = P_0 \times e^{rn}$$

Keterangan:

$P_n$  = Penduduk pada tahun  $n$

$P_0$  = Penduduk pada tahun awal

$r$  = Angka pertambahan penduduk (%)

$n$  = Periode waktu antara tahun awal dan tahun  $n$

$e$  = Bilangan pokok sistem logaritma natural

Perhitungan secara eksponensial menghitung terhadap pertumbuhan penduduk secara terus menerus dengan angka pertumbuhan konstan. Nilai bilangan eksponensial yang digunakan dalam perhitungan adalah 2,7182818.

#### 2.2.4.3 Perhitungan Proyeksi Pengguna Seluler

Pengguna seluler merupakan individu yang mengoperasikan, menggunakan atau memiliki telepon atau layanan seluler untuk melakukan komunikasi. Proporsi pengguna seluler merupakan perbandingan antara individu yang memiliki atau menggunakan telepon genggam terhadap keseluruhan penduduk yang ada pada suatu wilayah. Jumlah pengguna seluler merupakan faktor penting dalam perencanaan pengembangan menara telekomunikasi. Menara telekomunikasi yang dibangun harus dapat melayani jumlah pelanggan yang ada di suatu wilayah dikarenakan jumlah pelanggan menentukan jumlah kebutuhan trafik yang nantinya akan digunakan dalam menentukan jumlah menara yang akan direncanakan. Proyeksi jumlah pengguna seluler dilakukan dengan mengalikan proyeksi jumlah penduduk dengan nilai proporsi pengguna seluler (Septiawan dkk., 2016). Rumus perhitungan proyeksi pengguna seluler dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Proyeksi Pengguna Seluler} = \text{Proyeksi Penduduk} \times \text{Proporsi Pengguna Seluler}$$

Proyeksi terhadap pengguna seluler nantinya dimasukkan ke dalam perhitungan kebutuhan menara sebagai faktor pembagi untuk menentukan jumlah kebutuhan dari menara *eNodeB* pada wilayah perencanaan. Proyeksi ini dapat menjadi data masukan awal untuk menentukan jumlah proyeksi beban trafik kedepannya.

#### 2.2.4.4 Perhitungan Kebutuhan Menara

Perhitungan kebutuhan menara dapat dilakukan dengan membagi jumlah pengguna seluler pada tahun proyeksi dengan jumlah pengguna yang dapat ditampung oleh *eNodeB* (Sasongko & Mauludiyanto, 2015). Perhitungan terhadap kebutuhan jumlah menara atau *eNodeB* dilakukan dengan rumus sebagai berikut.



$$\Sigma LTEeNodeB = \frac{\text{Proyeksi Pengguna Seluler}}{\text{KapasitasMenara}}$$

Hasil dari perhitungan kebutuhan menara berdasarkan *capacity* atau kapasitas dari menara dapat dibulatkan ke atas apabila hasilnya berbentuk desimal. Hal ini bertujuan agar sisa dari perhitungan tetap dapat diakomodir pada wilayah yang direncanakan agar sesuai dengan perhitungan.

### 2.2.5 Automatic Cell Planning

*Automatic Cell Planning* (ACP) merupakan pendekatan yang memanfaatkan algoritma untuk merancang dan mengoptimalkan menara telekomunikasi pada jaringan seluler (Ayuningtyas dkk., 2024). ACP menggunakan algoritma pencarian (*search algorithm*) untuk merencanakan *eNodeB* baik dengan *sorting algorithm* maupun *tunning algorithm* (Adwel dkk., 2023). *Automatic Cell Planning* dapat dijalankan dengan menggunakan perangkat lunak Atoll. Proses algoritma yang dijalankan dalam perangkat lunak ini akan berjalan secara otomatis oleh sistem, berdasarkan banyaknya iterasi dan beragam kemungkinan kombinasi parameter *tuning* yang tersedia. ACP dapat dijalankan dengan memasukkan parameter berupa nilai *reference signal received power* yang ingin dicapai dan luasan yang diinginkan serta lokasi kandidat menara rencana. Pada tahap akhir, sistem akan melakukan *tuning algorithm* untuk mencari kombinasi terbaik pada perhitungan yang dilakukan (Purnama dkk., 2020).

### 2.2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan langkah awal yang dilakukan untuk memperoleh landasan perbandingan serta merumuskan gagasan baru dalam pengembangan penelitian selanjutnya. Kajian ini bermanfaat untuk memperjelas posisi penelitian yang dilakukan serta menegaskan tingkat orisinalitasnya. Pada bagian ini, peneliti memaparkan berbagai hasil penelitian terdahulu baik yang telah terpublikasi maupun belum terpublikasikan. Dengan demikian, dapat diidentifikasi sejauh mana kebaruan dan posisi penelitian yang akan dilakukan. Adapun kajian yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini antara lain dijabarkan sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

| Judul Penelitian                                                                                                                                                                           | Tujuan                                                                                                                           | Metode                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Hasil                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rencana Pengembangan Jaringan Telekomunikasi dalam Menunjang Penataan Ruang di Kabupaten Purworejo                                                                                         | Merencanakan lokasi menara telekomunikasi khususnya menara bersama di Kabupaten Purworejo                                        | Penentuan jumlah kebutuhan menara telekomunikasi didasarkan pada perhitungan kebutuhan trafik pada tahun perencanaan kemudian disesuaikan dengan proyeksi penduduk. Penentuan lokasi didasarkan pada kesesuaian lahan terhadap RTRW, lahan terbangun, LSD, rawan banjir dan longsor serta harga tanah yang kemudian dilakukan <i>centroid</i> .                                                                | Perencanaan menara telekomunikasi di Kabupaten Sleman pada tahun 2042 membutuhkan jumlah menara sebanyak 632 menara dengan kapasitas 55,33 Erlang tiap menaranya . |
| Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) pada Frekuensi 700 MHz di Jalur Tol Cipali berdasarkan <i>Coverage</i> dan <i>Capacity</i> Menggunakan <i>Software Atoll Radio Planning</i> | Merencanakan jaringan 4G LTE pada frekuensi 700 MHz di Jalan Tol Cipali sesuai dengan kebutuhan trafik kendaraan tahun proyeksi. | Perencanaan jumlah menara dilakukan dengan metode <i>coverage</i> dan <i>capacity planning</i> . <i>Coverage planning</i> dihitung dengan model propagasi Okumura-Hata pada daerah urban, sub urban, dan rural. Sementara pada <i>capacity planning</i> dihitung berdasarkan trafik yang telah diproyeksikan. Penentuan menara dilakukan dengan perangkat lunak atoll tanpa mempertimbangkan menara eksisting. | Jumlah <i>site</i> yang diperlukan pada Tol Cipali pada tahun proyeksi 2020 sejumlah 11 site dengan setiap site memiliki 2 antena.                                 |
| Analisis dan Perencanaan Kebutuhan eNodeB Jaringan 4G LTE Wilayah Kelurahan Pulo Gebang Jakarta Timur                                                                                      | Menghitung kebutuhan <i>eNodeB</i> di Kelurahan Pulo Gebang pada 2017-2021 berdasarkan <i>capacity planning</i> .                | Jumlah kebutuhan menara telekomunikasi dihitung dengan nilai kapasitas <i>eNodeB</i> dengan OBQtotal ( <i>Offered Bit Quantity</i> ). Perencanaan hanya sebatas penentuan kebutuhan tanpa perencanaan lokasi menara.                                                                                                                                                                                           | Kebutuhan <i>eNodeB</i> di Kelurahan Pulo Gebang pada tahun 2017-2022 yakni sejumlah 5-6 <i>eNodeB</i> .                                                           |

Sumber: Analisis, 2025