

Perancangan *Private 5G Network* Kawasan Industrial Jababeka untuk Mendukung Revolusi Industri 4.0

Asri Wulandari¹, Toto Supriyanto², Akita Hasna Mayanti³, Raviadin Nugroho⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta Depok, Indonesia

¹asri.wulandari@elektro.pnj.ac.id, ²toto.supriyanto@elektro.pnj.ac.id, ³akita.hasnamayanti.te19@mhs.pnj.ac.id,

⁴raviadin.nugroho.te19@mhs.pnj.ac.id

Abstrak

Revolusi Industri 4.0 merupakan upaya transformasi yang mengkolaborasikan teknologi siber dan teknologi otomatisasi. Konsep penerapannya berpusat pada otomatisasi yang mengintegrasikan dunia online dan lini produksi di industri, dengan internet sebagai penopang utama. Konektivitas telah menjadi hal yang utama untuk mendorong digitalisasi dan layanan produk di era revolusi industri 4.0. Teknologi 5G memberikan solusi sebagai platform untuk penyediaan *connectivity*, dengan menawarkan fleksibilitas membangun *public* atau *private network* untuk mensupport kebutuhan *industry enterprises*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *private 5G Network* di Kawasan Industrial Jababeka, pada frekuensi 3500 MHz dan BW 50 MHz dengan luas wilayah 35 km². Analisa dilakukan berdasarkan perhitungan *capacity* dan *coverage* untuk mendapatkan kebutuhan jumlah gNode B terbaik saat diimplementasikan *private 5G network*. Hasil penelitian menunjukkan dengan analisa *capacity* didapatkan penggelaran *Private 5G Network* membutuhkan 78 gNodeB untuk *uplink* dan 84 gNodeB untuk *downlink*. Sedangkan untuk *coverage*, dibutuhkan 80 gNodeB untuk *uplink* dan 128 gNodeB untuk *downlink*. Berdasarkan analisa tersebut hasil terbaik jumlah gNodeB yang dibutuhkan Kawasan Industrial Jababeka adalah 128 gNodeB, dengan nilai kebutuhan *traffic demand* sebesar 4032 Mbps/km², dengan maksimum *data rate* 1,826 Gbps untuk *uplink* dan 1,707 Gbps untuk *downlink*.

Keywords: *Private 5G Network, capacity planning, coverage planning, ODV, Data Rate*

I. PENDAHULUAN

5G merupakan teknologi seluler generasi ke 5 dari sistem komunikasi seluler dan dikenal sebagai *International Mobile Telecommunication (IMT)-2020* yang distandarisasikan oleh *International Telecommunication Union Radio (ITU-R)*. 5G menawarkan kecepatan data yang jauh lebih cepat dengan latensi yang sangat rendah bila dibandingkan dengan sistem seluler yang ada saat ini termasuk LTE. Oleh karena itu, generasi ini memungkinkan untuk adaptasi yang sangat cepat dalam mensupport kebutuhan teknologi serta diharapkan dapat memberikan solusi dalam memberikan pengalaman yang luar biasa untuk konektivitas implementasi *Internet of Thing (IoT)* [1].

Revolusi Industri 4.0 digambarkan sebagai “*fourth industrial revolution*” bertujuan untuk mengubah industri saat ini menjadi sebuah sistem produksi yang terintegrasi, dimana semua proses produksi membutuhkan internet sebagai penopang utama agar sistem dapat terhubung secara cerdas baik didalam atau diluar lingkungan industri. Konektivitas merupakan hal yang sangat penting dalam implementasi revolusi industri 4.0. Teknologi 5G memegang peranan penting dalam integrasi konektivitas ini, karena teknologi 5G menargetkan jangkauan pola komunikasi yang lebih luas dengan aplikasi di berbagai bidang seperti industri produksi, otomotif, transportasi, pertanian, dan kesehatan [2][3].

Teknologi 5G menjadi platform untuk implementasi otomatisasi pabrik dengan membentuk sebuah “jaringan pribadi (*private network*)” seluler yaitu pengoperasian jaringan seluler secara khusus pada sebuah perusahaan dengan pengoperasian yang dilakukan secara tertutup (*close network community*). Dari data yang dikeluarkan

oleh GSMA sebanyak 25 %-40 % usaha kecil dan menengah pada tahun 2023-2025 akan dapat dilayani dengan menggunakan jaringan seluler mandiri (*private mobile network*) [4]. Pengembangan *Private networks* akan memainkan peran penting dalam 5G sehingga memungkinkan layanan pada *smart factories* yang membutuhkan pengembangan lebih baik dalam pengoperasian dan penggunaan sumber daya serta infrastruktur yang tersedia secara fleksibel. [5].

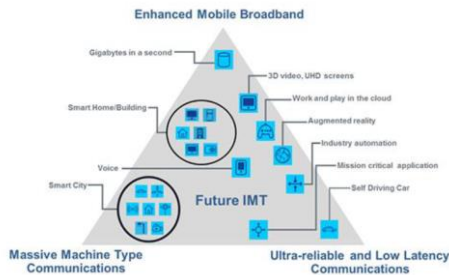
Penelitian ini melakukan perancangan dan analisa pengembangan *Private 5G Network* di daerah Jababeka Industrial Estate, yang mempunyai luas Area 35 km². Perancangan dilakukan pada jaringan 5G dengan frekuensi mid-band 3500 GHz dan bandwidth 50 MHz. Analisa dilakukan berdasarkan perhitungan kebutuhan site yang akan dihitung dengan mengacu pada kondisi *existing* jaringan 4G yang sudah ada. Skenario perhitungan dilakukan dengan melakukan analisa parameter performansi berupa nilai parameter *capacity requirement* dan *coverage requirement* dalam memberikan nilai *quality network* yang baik. Analisa perhitungan mengacu pada nilai *demand traffic* sesuai dengan kebutuhan case dan *throughput* berupa data rate dari layanan (*use case*). Hasil pengukuran performansi yang diperoleh dari perancangan *Private 5G Network* akan digunakan sebagai referensi dalam menentukan *resource plan* dan *network roll out plan* yang paling tepat bagi industri untuk menunjang revolusi industri 4.0.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Teknologi 5G

5G merupakan revolusi standar baru pada bidang teknologi seluler yang dikenal sebagai IMT 2020, dengan

standarinya yang dikeluarkan pada tahun 2020. 5G dirancang dapat memenuhi kebutuhan industri telekomunikasi dengan pertumbuhan data yang besar dan konektivitas yang lebih cepat untuk mensupport perangkat yang berbasis IOT, sehingga milliaran perangkat dapat saling terhubung sesuai dengan kebutuhan inovasi kedepan [5]. Terdapat 3 *usage scenario* pada 5G, yaitu mMTC, URLLC dan eMBB dengan beberapa perbedaan pada *bandwidth*, *latency*, *data rates* dan *density*, seperti yang terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. 5G Usage Scenario [6]

Penjelasan dari ketiga kateori tersebut adalah sebagai berikut [6]:

- *Massive machine to machine communications* (mMTC) ditujukan untuk melayani perangkat serentak dalam jumlah yang banyak. Peruntukannya adalah melayani sejumlah sensor *IoT* (*Internet of Things*) yang jumlahnya tersebar sangat banyak dan menghubungkan miliaran perangkat tanpa campur tangan manusia pada skala yang tidak terlihat sebelumnya. Hal ini berpotensi untuk merevolusi proses industri modern dan aplikasi termasuk pertanian, manufaktur serta komunikasi bisnis.
- *Ultra-reliable low latency communications* (URLLC) merupakan layanan yang membutuhkan kehandalan tinggi (99,999%) dan *latency* < 1 mili detik. Hal ini dibutuhkan untuk *critical mission* seperti *industrial automation*, pengendalian *drone*, *new medical equipment* dan *Autonomous Vehicles*. Dengan tingkat latensi yang sangat rendah bahkan mendekati 0, maka keamanan layanan semua jaringan dimungkinkan.
- *Enhanced mobile broadband* (eMBB) merupakan layanan yang mampu memberikan kecepatan internet yang sangat tinggi, yakni *downlink* hingga 20 Gbit/detik dan *uplink* hingga 10 Gbit/detik. Kecepatan ini dibutuhkan untuk layanan *Web-access*, *Video Conference* dan *Games* (*Virtual Reality*). Aplikasi baru mencakup *fixed wireless internet access* untuk rumah serta tersedianya konektivitas yang besar saat *user* pindah atau bepergian

B. Private 5G Network

Private 5G Network mengubah model seluler generik yang *rigid* menjadi sebuah jaringan dengan *platform* konektivitas yang fleksibel. *Private 5G Network* memperluas implementasi layanan seluler untuk platform konektivitas yang fleksibel. *Private 5G Network* memperluas implementasi layanan seluler untuk area luas dengan teknologi broadband dengan tetap menyertakan

konektivitas di area lokal, yang menghasilkan layanan berlatensi rendah (*low latency*) dan penggunaan pada ribuan perangkat *IoT* yang masif [7]

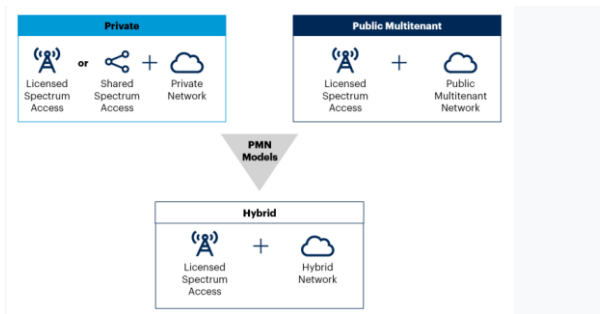
Private 5G Network dapat didasarkan pada teknologi 5G atau LTE secara eksklusif oleh perangkat yang di *authorized* oleh pengguna akhir (*end user*), dimana infrastruktur ini digunakan dalam satu atau lebih lokasi tertentu yang dimiliki atau ditempati oleh organisasi pengguna akhir seperti kampus, pabrik, atau industri yang lebih luas areanya. Konsep *Private 5G Network* yang berakar pada teknologi 5G dan LTE memungkinkan penyesuaian konektivitas termasuk mampu meningkatkan jangkauan dan kapasitas pada jaringan [8].

Private 5G Network menawarkan berbagai manfaat dibandingkan dengan opsi lain termasuk Ethernet kabel atau Wi-Fi atau *unlicensed* nirkabel, sebagai berikut [7]:

1. Menawarkan fleksibilitas perangkat dan efisiensi pengembangan (*deployment*);
2. Memberikan *coverage* dan *capacity* yang diperlukan dengan kualitas tinggi dan keandalan melalui 5G '*Ultra Reliable, Low Latency Communications*'
3. Persyaratan keamanan, privasi, dan isolasi data yang ketat (*data isolation requirements*) dapat dipenuhi dengan berbagai *feature* yang tersedia di Jaringan 5G
4. *Autonomous guided vehicles* (AGV) yang membutuhkan *highly targeted, high bandwidth coverage, error* serta *delay* kecil, hanya bisa dipenuhi oleh jaringan 5G, karena dengan menggunakan Wi-Fi bisa terjadi *congested* apabila *traffic* nya penuh
5. Delay transmisi (*Transmission latency*) dapat dikurangi dengan adanya *local edge equipment* jaringan 5G yang diinstal pada 5G *private network*
6. Tingkat kesalahan (*error rate*) dan *delay* transmisi sangat dapat diprediksi untuk 5G, sehingga dapat diandalkan (*reliable*) serta cocok diimplementasikan untuk industry
7. Bandwidth dapat dikirimkan dalam skala yang sesuai kebutuhan perusahaan tanpa harus bergantung pada *rollout plan* dari operator jaringan seluler

Private 5G Network mempunyai beberapa opsi pengembangan (*deployment*) yang memungkinkan untuk menggabungkan dan memvariasikan arsitektur jaringan dalam implementasinya, yaitu [7]:

1. *Public Dedicated Network*
pada *Public Dedicated Network* menggunakan spektrum yang berlisensi dan berupa jaringan publik, untuk implementasinya dapat berbentuk *network slicing*.
2. *Private Stand Alone Network*
Bentuk jaringan ini menggunakan spektrum bersama/tidak berlisensi atau berlisensi dan berupa jaringan yang terisolasi (*an isolated network*)
3. *Hybrid Network*
Model hybrid menggunakan spektrum yang berlisensi dan merupakan kombinasi dari *private network* dan jaringan publik (*public back-end networks*)
Bentuk opsi pengembangan dari *Private 5G Network* tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



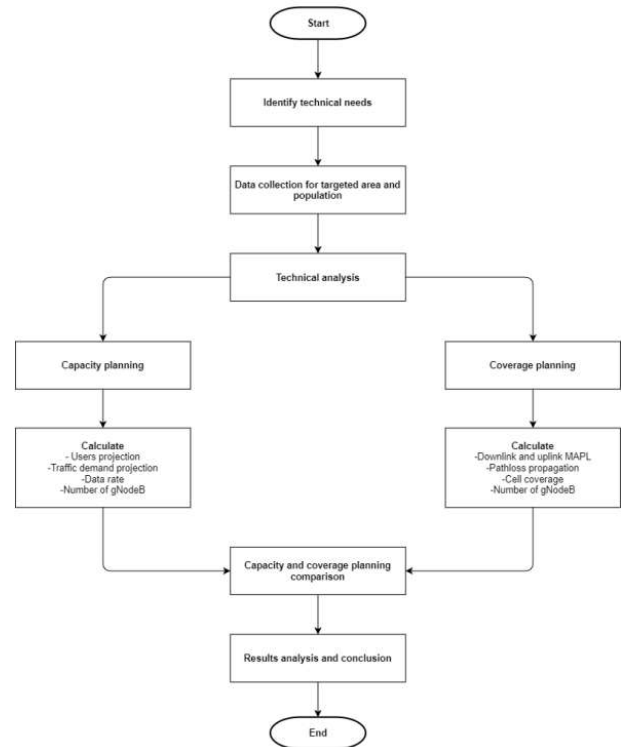
Gambar 2. Bentuk Pengembangan Private 5G Network [7]

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini perancangan *Private 5G Network* mengambil data di kawasan industri Jababeka sebagai salah satu kawasan industri di Indonesia, dengan menggunakan metode *forecasting* (peramalan) dan analisa perhitungan berdasarkan *coverage* area serta *capacity* pada frekuensi 3500 MHz dan bandwidth 50 MHz. Data untuk melakukan simulasi diperoleh dari salah satu operator Telekomunikasi Indonesia di kawasan industri Jababeka, yang meliputi parameter koordinat *existing site*, parameter transmitter, jumlah pelangan existing jaringan 4G dan asumsi pengguna jaringan *private 5G network* tahun 2023. Asumsi jumlah pelangan Jaringan 4G yang *capable* untuk jaringan 5G sebesar 1800 pelanggan dengan luas wilayah 35 km². Diagram Alir perancangan *Private 5G Network* diperlihatkan pada Gambar 3. Tahapan dalam perancangan *Private 5G Network*, meliputi:

1. Menentukan parameter perancangan dan analisa perhitungan implementasi teknologi *private 5G network* sesuai dengan skenario atau bentuk pemodelan,
2. Mengumpulkan data target area yang dirancang yaitu Kawasan Industri Jababeka Cikarang–Bekasi, luas area wilayah dan data *user* industry pada jaringan yang akan dirancang, Data ini didukung oleh data *existing* dari jaringan 4G operator yang akan dikembangkan ke jaringan 5G.
3. Melakukan analisa teknik sesuai skenario dan mengukur nilai parameter melalui metode *dimensioning* berdasarkan dari data parameter setiap skenario. Analisa skenario dibagi menjadi dua yaitu berdasarkan perhitungan *capacity* dan perhitungan *coverage*.
4. Melakukan perhitungan berdasar *capacity* menggunakan asumsi kebutuhan trafik saat jam sibuk (*Busy Hour Call Attempt*), *throughput* 5G saat trial di daerah Jababeka pada bulan Mei tahun 2022 yang mencapai 300 Mbps, dan perhitungan *data rate*. Data tersebut akan digunakan untuk menentukan jumlah gNodeB yang dibutuhkan.
5. Melakukan perhitungan *coverage* area dilakukan dengan memperhitungkan jumlah *existing site* jaringan 4G (eNodeB) yang ada, yaitu sebesar 41 eNodeB dan mengacu perhitungan link budget serta *Maximum Allowable Path Loss* (MPAL). Dari nilai *coverage* yang didapat akan dihitung jumlah gNode yang dibutuhkan.
6. Melakukan analisa dari dua skenario perhitungan tersebut kemudian dibandingkan untuk menentukan

jumlah perhitungan gNode B terbaik pada perancangan *private 5G network* di kawasan industri Jababeka.



Gambar 3. Diagram Alir dari Penelitian

A. Perencanaan Kapasitas (Capacity Planning)

Beberapa parameter yang dibutuhkan untuk melakukan perencanaan *capacity* (*capacity planning*) adalah sebagai berikut :

- *Offered Data Traffic* (ODV)

Dalam perhitungan kapasitas trafik atau mengestimasi kebutuhan *traffic* pada jaringan 5G menggunakan formula ODV. ODV adalah total bit *throughput* per km² pada jam sibuk, yang ditunjukkan dalam persamaan berikut [9] :

$$ODV = BHCA * Service Penetration * Potential User * Service Throughput * Effective Call Duration \quad (1)$$

Untuk nilai *service throughput* pada jaringan seluler, klasifikasi *bit rate user* tiap jenis layanan pada jaringan untuk *uplink* dan *downlink* terlihat pada Tabel 1 [9].

Tabel 1. Bit Rate Layanan [9]

Jenis Layanan	DL bit rate (Kbps)	UL bit rate (Kbps)
Speech / Voice	16	16
Simple Message	14	14
Switched Data	64	64
Medium Multimedia	384	384
High Multimedia	2000	2000
High Interactive Multimedia	128	128

Sedangkan nilai *service penetration* merupakan estimasi nilai yang digunakan untuk memprediksikan jenis layanan digunakan oleh pelanggan. Adapun penetrasi layanan seluler berdasarkan standar ITU tampak pada Tabel 2 [9].

Tabel 2. Nilai *Service Penetration* [9]

Jenis Layanan	DL bit rate (Kbps)
Speech / Voice	73
Simple Message	40
Switched Data	13
Medium Multimedia	15
High Multimedia	15
High Interactive Multimedia	25

• **Throughput (Data Rate)**

Data rate perlu dihitung untuk mengetahui seberapa besar kecepatan data yang dapat dicapai oleh jaringan, dan menunjukkan kapasitas informasi dari tiap sel. Rumus yang digunakan untuk menghitung *data rate* di 5G berdasarkan 3GPP TS 38.306 adalah [4] :

$$\text{Data Rate (Mbps)} = \tag{2}$$

$$10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J \left(v^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{\max} \cdot \frac{N_{PRB}^{BW(j),\mu} \cdot 12}{T_s^{\mu}} \cdot (1 - OH^{(j)}) \right)$$

Dimana *J* menunjukkan *Component Carrier*, $v^{(j)}$ menunjukkan jumlah layer, $Q^{(j)}$ menunjukkan *modulation* yang digunakan, $f^{(j)}$ menunjukkan *scaling factor*, N_{PRB} menunjukkan jumlah RB dan $OH^{(j)}$ menunjukkan *Overhead*.

• **Perhitungan Jumlah gNodeB**

Berdasarkan nilai ODV dan *throughput* atau kapasitas dari sel, maka luas *cell coverage* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [9] :

$$L = \frac{\text{Kapasitas Informasi Tiap Sel}}{\text{Offered Data Volume (ODV)}} \tag{3}$$

Sehingga jumlah site gNodeB yang dibutuhkan dapat dihitung *n* menggunakan persamaan berikut [10] :

$$\text{Number of gNodeB} = \frac{\text{Large of area (km)}}{\text{Coverage of area (km)}} \tag{4}$$

B. Perencanaan Coverage (coverage planning)

Pada perencanaan *coverage (coverage planning)*, bagian penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan nya adalah perhitungan *link budget*. Parameter yang diukur pada perhitungan *link budget* untuk perencanaan *coverage* adalah sebagai berikut :

• **Model Propagasi dan Link Budget**

Jaringan 5G menggunakan model propagasi 3GPP standar 38.901, dimana untuk wilayah Jababeka termasuk wilayah dengan kondisi UMa (Makro padat perkotaan/perkotaan/pinggiran kota), dengan persamaan standar propagasi model 3GPP 38.901 UMa LOS [10][11]:

$$PL_{UMa-LOS} = 28.0 + 30\log(d_{3D}) + 20\log(f_c) - 9\log[(d'_{BP})^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2] \tag{5}$$

Dimana $PL_{UMa-LOS}$ adalah *pathloss* (dB), d_{3D} adalah resultan h_{BS} dan h_{UT} , h_{BS} adalah tinggi antenna gNodeB (m), h_{UT} adalah tinggi *transmission user*, f_c adalah frekuensi *carrier* (Hz) dan d'_{BP} adalah *breakpoint distance* (m).

Persamaan (6) dan (7) digunakan untuk mendapat nilai d_{2D} dan d'_{BP} :

$$d_{2D} = \sqrt{(d_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2} \tag{6}$$

$$d'_{BP} = 4 \cdot h'_{BS} \cdot h'_{UT} \cdot \frac{f_c}{c} \tag{7}$$

dengan d_{2D} adalah *cell radius* (m), h'_{UT} adalah tinggi *transmission user* – tinggi perangkat (m) dan h'_{BS} adalah tinggi antenna gNodeB - tinggi perangkat (m)

Coverage maksimum setiap site digunakan untuk menentukan perkiraan *coverage* berdasarkan perhitungan *link budget*. Jumlah gNodeB ditentukan oleh jarak cakupan setiap site. *Coverage area* setiap site dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Coverage area} = 2.6 \cdot (d_{2D})^2 \tag{8}$$

Dari perhitungan diatas, jumlah gNode di area perancangan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Number of gNodeB} = \frac{\text{Large of area (km)}}{\text{Coverage of area (km)}} \tag{9}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Kapasitas (Capacity Analysis)

• **Perhitungan Kebutuhan Traffik (Traffic Demand)**

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan *capacity* meliputi jumlah pelanggan 4G di Area Jababeka sampai bulan Juni 2022 yang capable untuk jaringan 5G sebesar 1800 pelanggan. Nilai kebutuhan trafik yang dibutuhkan untuk perhitungan terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Perhitungan Traffik

Selected Area	Jababeka Industrial Estate
Area (km²)	35 km ²
Jumlah Pelanggan	1800 pelanggan
Service Penetration (kbps)	25 [9]
Service Throughput (kbps)	128 [9]
BHCA(kbps)	42

Dari data dihitung nilai ODV sesuai dengan persamaan (1) dan didapatkan nilai ODV sebesar 4032 Mbps/km²

• **Jumlah gNode Berdasar Analisa Kapasitas**

Perhitungan kapasitas merupakan faktor yang perlu diperhatikan. Faktor lain yang mempengaruhi kapasitas sistem adalah penggunaan site, spektrum frekuensi, dan sektorisasi. Perhitungan kapasitas tiap sel menggunakan persamaan (2) dimana antenna yang dipilih adalah 8T8R dengan modulasinya adalah 64 QAM, sehingga diperoleh nilai kapasitas tiap sel untuk UL sebesar 1826,957 Mbps dan DL didapatkan 1707,807 Mbps.

Dari hasil ini dipergunakan untuk menghitung nilai L pada kondisi UL dan DL seperti pada persamaan [3] sehingga jumlah gNode yang dihasilkan berdasar perancangan kapasitas di wilayah Jababeka sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah gNode Hasil Analisa Capacity

Parameter	Private 5G Network (3500MHz, 50 MHz)	
	Uplink (UL)	Downlink (DL)
Environment	Outdoor	Outdoor
Sector	3	3
Bandwidth (MHz)	50	40
Cell Coverage (km ² /site)	0,46	0.42
Large Area (km ²)	35	35
Total gNodeB	78	84

B. Analisa Coverage (Coverage Analysis)

• Analisa Link Budget

Analisa Coverage menggunakan perhitungan Link budget untuk memperkirakan nilai MAPL yang diterima pada antena, baik downlink maupun uplink. Parameter awal perhitungan adalah menentukan rentang frekuensi yang digunakan dalam desain, kemudian menentukan nilai parameter untuk numerologi dan nilai perhitungan link budget. Perancangan Private 5G Network ini menggunakan frekuensi 3500 MHz dan Bandwidth 50 MHz. Parameter lain yang digunakan dalam perhitungan link budget tampak pada Tabel 5. Dari parameter tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan link budget sesuai persamaan (5), (6) dan (7), sehingga diperoleh hasil propagation model sebagaimana tampak pada Tabel 6

Tabel 5. Parameter Link Budget Frequency 3500 MHz

Parameters	Link Budget 3500MHz BW 50 MHz	
	Urban	
	Downlink (DL)	Uplink (UL)
gNodeB Transmitter Power (dBm)	49	49
Resource Block	133	133
Subcarrier Spacing (kHz)	30	30
gNodeB Antenna Gain (dBi)	2	2
gNodeB Cable Loss (dBi)	0	0
Penetration Loss (dB)	19	19
Folliage Loss (dB)	19.59	19.59
Body Block Loss (dB)	3	3
Interference Margin (dB)	6	2
Subcarrier Quantity	1596	1596
Rain/Ice Margin (dB)	0	0
Slow Fading Margin (dB)	7	7
UT Antenna Gain (dB)	0	0
Thermal Noise Power (dBm)	-156.952	-156.952
UT Noise Figure (dB)	9	9
Demodulation Threshold SINR (dB)	19.4	19.4

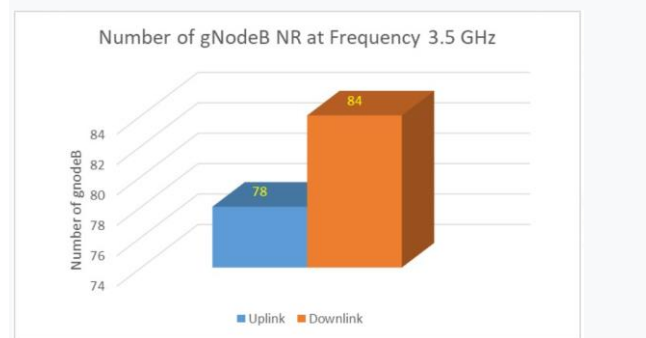
Tabel 6. Jumlah gNode Hasil Analisa Coverage

Propagation Model 5G NR Frekuensi 3500 MHz			
Parameters	Symbols	Propagation 3GPP 38.901 UMa- LOS	
		Urban	
		Downlink (DL)	Uplink (UL)
Path loss	$PLUMa$	89.9225 (dB)	93.9225 (dB)
Height of Equipment	hE	1 (m)	1 (m)
Transsmission User Height	hUT	1.5 (m)	1.5 (m)
Height of gNodeB	hBS	25 (m)	25 (m)
$h'bs$	$h'bs$	24 (m)	24 (m)
$h'UT$	$h'UT$	0.5 (m)	0.5 (m)
Speed of Light	c	3×10^8 (m/s)	3×10^8 (m/s)
Breakpoint Distance	$d'BP$	560 (m)	560 (m)
BS-UT Distances/ Cell Radius	$d2D$	324.9 (m)	409.42 (m)
Resultant of Distance Between hBS dan hUT	$d3D$	325.75 (m)	410.095 (m)
Total gNode B		127	80

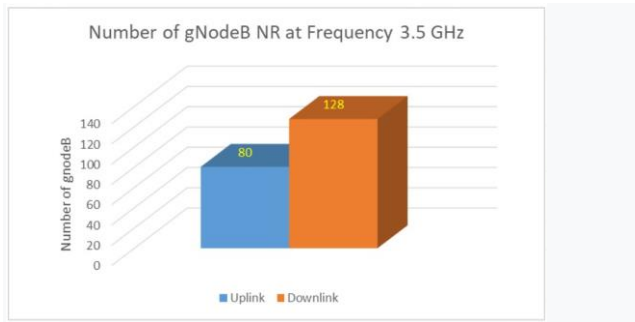
C. Perbandingan jumlah gNode B dengan Capacity Analysis dan Coverage Analysis

Berdasarkan hasil perhitungan *capacity planning* untuk penggelaran *private 5G network* wilayah Jababeka, maka jumlah gNodeB yang dibutuhkan adalah 78 gNodeB untuk *uplink* dan 84 gNodeB untuk *downlink*, mencakup 1800 user, dengan kebutuhan traffic demand sebesar 4032 Mbps/km². Hasil perhitungan ini dapat dilihat pada Gambar 4.

Perhitungan coverage planning implementasi *private 5G network* wilayah Jababeka menunjukkan bahwa jumlah gNodeB yang dibutuhkan adalah 80 gNodeB untuk skenario uplink O2O dan 127 gNodeB untuk skenario downlink O2O yang mencakup area Jababeka dengan luas 35 km². Hasil Perhitungan untuk coverage analysis dapat dilihat pada Gambar 5. Dari kedua hasil yang diperoleh berdasarkan perhitungan dilakukan komparasi kebutuhan jumlah gNodeB berdasarkan capacity analysis dan coverage analysis dari hasil yang diperoleh seperti pada Tabel 7.



Gambar 4. Jumlah kebutuhan gNode B berdasar Capacity Analysis



Gambar 5..Jumlah kebutuhan gNode B berdasar Coverage Analysis.

Tabel 7. Perbandingan Hasil Analisa Kebutuhan Jumlah gNode

Analysis	Private 5G Network (3500MHz, 50 MHz)	
	Uplink (UL)	Downlink (DL)
Capacity (Total gNode B)	78	84
Coverage (Total gNodeB)	80	128

Berdasarkan perbandingan hasil perhitungan capacity dan coverage planning yang telah dilakukan, maka dipilih jumlah gNodeB terbaik untuk perancangan Private 5G Network wilayah Jababeka berdasarkan *demand* tertinggi untuk gNodeB. Hasilnya yaitu skenario kapasitas dengan jumlah gNodeB sebesar 128 gNodeB dengan demand traffic area sebesar 4032 Mbps/km² untuk penggelaran Private 5G Network wilayah Jababeka.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa perancangan private 5G Network di wilayah Jababeka Industrial Estate pada frekuensi 3500 MHz dan bandwidth 50 MHz diperoleh hasil bahwa untuk analisa *capacity* didapatkan kecepatan *bit rate* untuk *UL* sebesar 1826,957 Mbps dan *DL* sebesar 1707,807 Mbps. Kebutuhan gNodeB pada analisa *capacity* adalah 78 gNodeB untuk *UL* dan 84 gNodeB untuk *DL*, mencakup 1800 user, dengan kebutuhan *traffic demand* sebesar 4032 Mbps/km². Perhitungan berdasarkan analisa *coverage* diperoleh bahwa jumlah gNodeB yang dibutuhkan 80 gNodeB untuk *UL* O2O dan 127 gNodeB untuk *DL* O2O dengan area seluas 35 km². Berdasarkan kedua hasil analisa tersebut dipilih kebutuhan gNodeB terbaik yaitu 128 gNodeB untuk penggelaran Private 5G Network wilayah Jababeka.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Jakarta atas dana dan fasilitas yang diberikan selama penelitian dan juga kepada Tim PT. Telkomsel atas bantuan, dukungan dan rekomendasi yang diberikan untuk menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

[1] Rostami, Ahmad, "Private 5G Networks for Vertical Industries: Deployment and Operation Models," <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8894900/proceeding>, IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF), 2019.

[2] Ordonez, Jose, Jestis F, Luis M, and Antonio Pastor, "The Use of 5G Non-Public Network to Support

Industri 4.0 Scenario," IEEE Conference on Standards for Communications and Networking, 2019.

[3] GSMA, "Road To 5G : Introduction and Migration," GSMA White Paper, April 2018.

[4] Wulandari, Asri, Marfani Hasan, and Alfin Hikmaturokhman, "5G Stand Alone Inter-band Aggregation Planning in Kelapa Gading Jakarta Utara," <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9656491/proceeding>, 2nd International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRudev), Oktober 2021.

[5] GSMA, "5G IoT Private & Dedicated Networks for Industry 4.0," GSMA White Paper, Oktober 2020.

[6] Maman, Michael, Strinati, Emilio Calvanese, Dinh, Lam Ngoc, et al, "Beyond Private 5G Networks : Applications, Architecture, Operator Models and Technological Enablers," EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking, 2021.

[7] AMTA, "5G and EMF Explained," www.emfexplained.info, 2019-2020 edition.

[8] 3GPP TS 23.501, "3rd Generation Partnership Project : Technical Specification Group Services and Systems Aspects : System Architecture for the 5G System," (Release 16), 2019.

[9] J. Son, Harrison, "7 Deployment Scenarios of Private Networks," Netmanias, Tech-Blog, Oktober 2019.

[10] Rahmawati, Putri, M Imam Nashirudin, and M Adam Nugraha, "Capacity and Coverage Analysis of NR Mobile Network Deployment for Indonesia's Urban Market," 2021 2nd International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRudev), Oktober 2021.

[11] Sukarno, Ari, Hikmaturokhman, A, and Rachmawaty, Dina, "Comparison of 5G NR Planning in Mid-Band and High-Band in Jababeka Industrial Estate," IEEE International Conference on Communication, Networks, and Satellite (Comnetsat), ©2020 IEEE

[12] Esa, R.N., Hikmaturokhman, A and Danisya, A.R., "5G NR Planning at Frequency 3.5 GHz : Study Case in Indonesia Industrial Area," 2020 2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE), pp 187-193, Oktober 2020.