



JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jite> DOI : 10.31289/jite.v7i2.10440

Received: 17 November 2023

Accepted: 26 December 2023

Published: 31 January 2024

Performance Analysis of 4x4 MIMO and 8x8 MIMO Antena Implementation of Private 5G Networks in Industrial Area

Asri Wulandari¹⁾, Toto Supriyanto²⁾, Akita Hasna³⁾, Raviadin N⁴⁾, Alfin Hikmaturokhman⁵⁾*

1,3,4) Prodi Broadband Multimedia Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

2) Prodi Teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

5) Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Indonesia

*Corresponding email : asri.wulandari@elektro.pnj.ac.id

Abstrak

Teknologi 5G dengan *Private 5G Network*-nya menjanjikan semua jenis peluang baru bagi operator seluler untuk menghadirkan peningkatan kapasitas dan pengalaman pengguna akhir kepada pelanggan dalam mengatasi permintaan data yang terus meningkat. Tetapi perlu dipersiapkan dasar dengan benar, terutama dalam membuat pilihan yang tepat dari antena dan jalur *Radio Frequency* (RF). Penelitian ini bertujuan menganalisis performansi implementasi antena 4x4 *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dan 8x8 MIMO pada *Private 5G Network* di Kawasan Industrial Jababeka, dengan luas wilayah 35 km², pada frekuensi 700 MHz dan Bandwidth 20 MHz. Penelitian dengan menggunakan skenario pengukuran data rate dan perhitungan jumlah site berdasarkan variasi modulasi yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan antena 8x8 MIMO didapatkan hasil data rate lebih besar ± 2 kali Antena 4x4 MIMO dan kebutuhan jumlah site yang lebih sedikit $\pm 0,25$ kali Antena 4x4 MIMO. Simulasi coverage planning juga menunjukkan Antena 8x8 MIMO mempunyai nilai *Secondary synchronization- Reference signal received power* (SS-RSRP) dan nilai *Secondary synchronization -Signal to Noise and Interference Ratio* (SS-SINR) lebih baik dibandingkan Antena 4x4 MIMO, yaitu sebesar -91,51 dBm dan 8,52 dB

Kata Kunci: Private 5G Network, Data Rate, Number of site, SS-RSRP, SS-SINR.

Abstract

Private 5G represents a promising wireless network technology that offers a wide range of opportunities for mobile operators. It enables them to meet the increasing data demands of their customers and provide enhanced capacities and user experiences. However, before deploying *Private 5G*, it's crucial to prepare the foundation properly, especially when choosing the right antenna and *Radio Frequency* (RF) band. This research project focuses on evaluating the implementation of 4x4 MIMO and 8x8 MIMO antennas in the Greater Jakarta industrial area, covering a 35 km² area, operating at a frequency of 2300 MHz with a 40 MHz bandwidth. The study involved data rate measurements and determined the number of required sites based on different modulation schemes. The findings revealed that using an 8x8 MIMO antenna resulted in a data rate twice as high as that achieved with a 4x4 MIMO antenna and required only a quarter of the sites. Additionally, simulation results demonstrated that the 8x8 MIMO antenna provided better SS-RSRP and SS-SINR values compared to the 4x4 MIMO antenna, with values of -91.51 dBm and 8.52 dB.

Keywords: Private 5G Network, Data Rate, Number of site, SS-RSRP, SS-SINR.

How to Cite: Wulandari, A., Supriyanto, T., Hasna, A., N, R., & Hikmaturokhman, A. (2024). Performance Analysis of 4x4 MIMO and 8x8 MIMO Antena Implementation of Private 5G Networks in Industrial Area. *JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)*, 7(2), 555-565.

I. PENDAHULUAN

Permintaan akan kecepatan data yang tinggi dan terus meningkat dari hari ke hari serta perkembangan yang pesat dan dinamis dari pertumbuhan data seluler, menjadikan generasi kelima seluler yaitu 5G menjadi teknologi terdepan dalam komunikasi nirkabel. Tujuan utama pada komunikasi teknologi 5G adalah untuk meningkatkan kecepatan data dan kapasitas (hingga 20 Gbps), latensi sangat

rendah (1 ms), keandalan tinggi, fleksibilitas tinggi, dan meningkatkan komunikasi perangkat ke perangkat (M, pant, 2022, Ordonez, 2019). 5G memainkan peran penting untuk menyediakan konektivitas tanpa batas dan memperluas cakupan jaringan nirkabel komunikasi di luar pengguna akhir individu manusia menuju sistem komunikasi terintegrasi, yang juga menyediakan konektivitas nirkabel ke aplikasi vertikal baru yang didorong oleh industri seperti manufaktur, otomotif, kesehatan atau pertanian, salah satunya dalam bentuk *Private 5G Network* (Rostami, Ahmad, 2019).

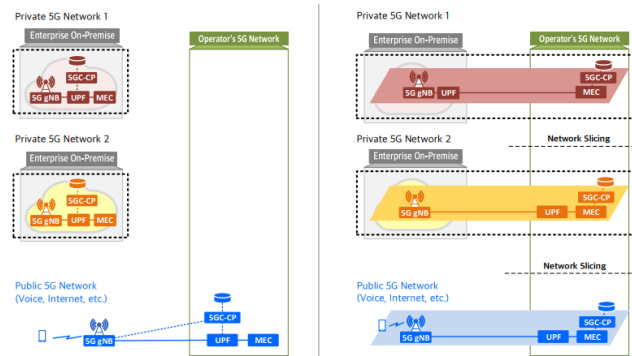
Private 5G Network dirancang untuk memenuhi pertumbuhan data dan konektivitas yang sangat besar pada masyarakat modern saat ini yaitu *Internet of Things (IoT)* sehingga memungkinkan layanan pada *smart factories* dan *vertical industries* yang membutuhkan pengembangan lebih baik dalam pengoperasian dan penggunaan sumber daya serta infrastruktur dalam mengoperasikan layanan (*use case*) yang heterogen dalam hal *reliability, connect-compute latency, re-configurability* dan *re-deployment resources* serta mengatur tata kelola terkait komponen dan elemen Jaringan 5G (Maman, 2021). Elemen jaringan dalam hal ini tidak hanya dari sisi akses saja, tapi juga dari sisi backhaul seperti media transmisi microwave (Hikmaturokhman, 2017), media transmisi fiber optic (de Souza Lopes, 2021, Alsharari, 2023) maupun satelit (Leyva-Mayorga, 2020). Pada *Private 5G Network* tidak ada kekhawatiran tentang dampak pengguna terhadap jumlah perangkat yang dapat dihubungkan, atau *throughput* yang diperoleh, serta indikator kinerja jaringan lainnya, karena hanya melayani perangkat yang telah ditetapkan oleh user (Wulandari, Asri, 2022, Hikmaturokhman, 2020). Pilihan konfigurasi radio yang luas di *mid-band* dan bagus untuk dimiliki, memberikan tekanan pada operator untuk membuat keputusan yang benar dalam memilih antena, karena apabila memilih konfigurasi antena (*radio access*) yang salah dapat menyebabkan hasil yang tidak diinginkan seperti kapasitas dan jangkauan jaringan yang tidak memadai, sehingga menyebabkan masalah kualitas jaringan dan kebutuhan untuk tambahan investasi dalam peningkatan site harus segera dipenuhi (Lee, 2022). Beberapa penelitian terkait implementasi antena 4x4 MIMO untuk aplikasi pada jaringan 5G telah dibahas pada penelitian sebelumnya (Felip, 2023), demikian juga dengan design antena 8x8 MIMO untuk aplikasi smartphone dengan teknologi 5G (Matthew, Bridges, 2020). Pada penelitian-penelitian tersebut belum membahas perbandingan performansi antena 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO saat diimplementasikan pada *Private 5G Network*.

Penelitian ini bertujuan menganalisis performansi implementasi antena 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO pada *Private 5G Network* di Kawasan Industrial Jababeka, dengan menggunakan skenario pengukuran data rate dan skenario perhitungan kebutuhan jumlah site berdasarkan variasi modulasi yang digunakan. Kedua perhitungan skenario dilakukan dengan mengukur kondisi uplink dan downlink pada setiap variasi jenis antena yang diukur. Analisa dilakukan pada wilayah industrial Jababeka dengan luas wilayah 35 km² dengan pendekatan analisa teknis pada frekuensi 700 M dengan Bandwidth 20 MHz, menggunakan coverage planning dengan melihat cakupan coverage implementasi antena 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO berdasarkan kebutuhan jumlah site. Hasil akhir adalah melakukan komparasi implementasi yang terbaik dari kedua jenis antena tersebut berdasarkan data rate maupun jumlah kebutuhan site yang diperlukan, sehingga dapat ditentukan jenis antena mana yang akan digunakan sebagai final rekomendasi bagi industri untuk pengembangan *Private 5G Network* di wilayah Industrial Jababeka.

II. STUDI PUSTAKA

A. *Private 5G Network*

Private 5G network merupakan bentuk infrastruktur jaringan pada suatu area atau wilayah tertentu yang digunakan secara eksklusif oleh perangkat yang di authorized oleh pengguna akhir (end user), melalui peningkatan konektivitas komunikasi terpadu, pelayanan optimal dan keamanan yang handal dengan berbasiskan jaringan 5G (Varga, 2020, Wen, 2021). *Private 5G Network* menawarkan jangkauan khusus, penggunaan eksklusif sumber daya dan peluang untuk layanan yang disesuaikan untuk kasus penggunaan industry, baik berupa public maupun non public network (Guo,2022, Wen, 2022). Dalam implementasinya secara fungsional. Arsitektur *Private 5G Network* terdapat pada Gambar 1



Gambar 1. Fuctional Architecture of Private 5G Network
Sumber Gambar (Son, 2019)

Bentuk implementasi arsitektur secara fungsional dari *Private 5G Network* dapat dijelaskan sebagai berikut (Son, 2019)]:

1. *Standalone Private Deployment* Mengembangkan *Private 5G network* secara *standalone independent network (Stand Alone NPN)* yang tidak bergantung serta terpisah dari jaringan public, dengan seluruh aliran datanya berada dalam premises di sisi industrial site.
2. *Public-Private Shared RAN Deployment* Dalam bentuk ini private network akan berbagi sisi RAN dengan public network, namun semua fungsi pada masing-masing jaringan tetap terpisah. Dengan demikian private network akan mengembangkan jaringannya sendiri, namun tetap berbagi RAN dengan public network melalui sebuah perjanjian.
3. *Shared RAN and Control Plane Deployment* Mengembangkan *Private 5G network* dengan bagian public dan private nya berbagi sumberdaya (*resources*) pada sisi RAN. Namun bagian fungsi control plane nya kan selalu diatur oleh sisi public network. Premises pada site industrial akan mengatur seluruh aliran data pada private network.

B. Perbandingan Antena 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO

Antena 5G *Multiple-Input, Multiple-Output (MIMO)* adalah komponen penting dari sistem komunikasi nirkabel 5G. Teknologi MIMO menggunakan banyak antena pada ujung pemancar dan penerima untuk meningkatkan kinerja jaringan nirkabel. Ini memungkinkan peningkatan throughput data, jangkauan yang lebih baik, dan peningkatan efisiensi spektral dalam jaringan 5G dibandingkan dengan sistem antena tunggal tradisional (Mandhyani, 2019)]. Beberapa aspek utama antena MIMO adalah sebagai berikut (Matthew, 2020), (Pramono 2019):

- *Multiple Antenas:* Antena MIMO memiliki berbagai konfigurasi, seperti 2x2, 4x4, 8x8, dan bahkan lebih tinggi. Angka pertama menunjukkan jumlah antena di ujung transmisi, dan angka kedua menunjukkan jumlah antena di ujung penerima. Sebagai contoh sistem MIMO 4x4 memiliki empat antena untuk pemancar dan penerima.
- *Spatial Multiplexing:* merupakan keuntungan signifikan dari teknologi MIMO yang memungkinkan transmisi simultan dari beberapa aliran data melalui pita frekuensi yang sama, sehingga secara efektif meningkatkan kecepatan transfer data.
- *Beamforming:* merupakan teknik yang memfokuskan sinyal radio ke penerima yang dituju untuk meningkatkan kekuatan sinyal dan mengurangi interferensi, sehingga sangat berguna dalam memberikan cakupan dan kinerja yang lebih baik dalam arah tertentu.
- *Massive MIMO:* mengacu pada konfigurasi dengan sejumlah besar antena, seringkali terdiri dari puluhan atau ratusan antena, untuk meningkatkan kapasitas jaringan dan efisiensi spektral di area padat penduduk
- *Smart Antena Systems:* Antena MIMO dalam implementasinya biasanya terintegrasi dengan smart antena system, menggunakan advanced algorithm untuk mengatur beam antena berdasarkan lokasi pengguna, pergerakan, dan kondisi sinyal, sehingga bisa membantu mengoptimalkan kualitas sinyal dan kapasitas jaringan

Saat ini merupakan waktu yang tepat bagi industri telekomunikasi untuk beralih teknologi ke sistem antena MIMO. Alasan utama untuk pergeseran teknologi ini adalah kinerja sistem antena yang canggih mempunyai nilai *uplink (UL)* dan *downlink (DL)* serta kelayakan membangun antena dengan biaya yang efektif. Konfigurasi yang umum digunakan di Industri adalah Antena 4x4 dan Antena 8x8 (Lee, 2022).

Tabel I membandingkan berbagai konfigurasi yang diukur terhadap 4x4 MIMO Baseline untuk kapasitas DL menggunakan transmisi TDD (UMA).

Tabel 1 Konfigurasi Antena Berdasar Baseline 4x4 MIMO

TDD Site Configuration	Normalized site capacity DL	% increase over baseline
4T4R using 4x4 MIMO	1.0	-
8T8R beamforming (8x8)	1.2	20%
4T4R twin-beam using 4x4 MIMO	1.8	80%
Massive MIMO (16T16R)	2.0	100%
Massive MIMO (32T32R)	2.3	130%
Massive MIMO (64T64R)	3.0	200%

Sumber Tabel Lee,2022

Dalam penelitian ini akan menekankan pada performansi komparasi implementasi antena 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO pada private 5G network. Secara umum perbedaan antara kedua antena tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut (Mandhyani, 2019):

1. Jumlah Antena

4x 4 MIMO : terdapat empat antena di ujung pemancar dan penerima, yang berarti ada empat antena untuk mengirimkan data dan empat antena untuk menerima data

8x8 MIMO : ada delapan antena di ujung pemancar dan penerima, sehingga menghasilkan delapan antena untuk transmisi data dan delapan antena untuk menerima data

2. Throughput Antena

4x 4 MIMO : menyediakan throughput data yang lebih baik dibandingkan dengan sistem antena tunggal tradisional, namun tidak dapat mencapai tingkat kapasitas data yang sama dengan MIMO 8x8.

8x8 MIMO : dengan lebih banyak antena, MIMO 8x8 dapat mendukung throughput data yang lebih tinggi serta mampu menangani lebih banyak *streaming spatial* sehingga memungkinkan lebih banyak data untuk dikirim dan diterima secara bersamaan

3. Spatial Multiplexing

Kedua antena 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO mampu mendukung spatial multiplexing yang memungkinkan transmisi beberapa aliran data melalui pita frekuensi yang sama, namun 8x8 MIMO dapat menangani lebih banyak spatial stream yang mengarah ke peningkatan kecepatan data.

4. Beamforming and Spatial Diversity

Apabila dibandingkan dengan antena 4x4 MIMO, dengan jumlah yang lebih banyak antena 8x8 MIMO dapat menghasilkan beamforming yang lebih presisi dan keragaman spasial, sehingga menghasilkan cakupan dan kualitas sinyal yang lebih baik di berbagai arah.

5. Use Case

4x 4 MIMO : sangat cocok untuk berbagai aplikasi, serta implementasi pada perumahan dan perusahaan kecil hingga menengah, dengan menawarkan keseimbangan yang baik antara kinerja dan biaya

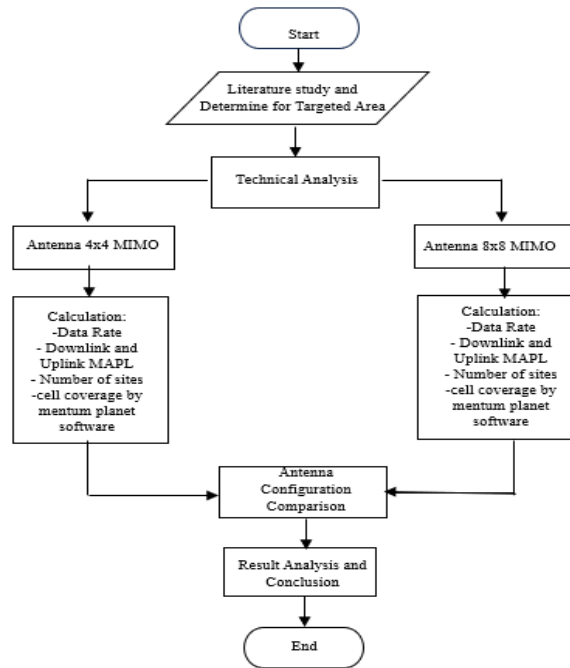
8x8 MIMO : Karena kapasitas dan kinerja datanya yang lebih tinggi, sering digunakan dalam skenario pada daerah dengan jumlah kebutuhan data besar untuk ditransmisikan, seperti di daerah perkotaan yang padat atau wilayah industry.

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir Metode Penelitian

Penelitian tentang analisa performansi implementasi konfigurasi antena pada *Private 5G Network* dilaksanakan pada Kawasan Industrial Jababeka, dengan luas wilayah 35 km² dengan pendekatan analisa teknis pada frekuensi 400 MHz dengan Bandwidth 20 MHz. Penelitian dimulai dengan menghitung data rate atau *throughput* menggunakan pengukuran berdasarkan *throughput* dari layanan (*use case*) yang dibutuhkan oleh industri sebagai pelanggan (*user*) berdasarkan variasi modulasi yang digunakan pada setiap jenis antena. Dari hasil pengukuran nilai performansi tersebut diperoleh nilai *data rate* dari masing-masing jenis antena baik 4x4 MIMO maupun 8x8 MIMO. Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai

downlink dan uplink MAPL dari masing-masing jenis antena, sehingga didapatkan jumlah site yang dibutuhkan dari setiap jenis antena. Perhitungan jumlah site ini juga dilakukan berdasarkan variasi modulasi. Selanjutnya dilakukan simulasi coverage menggunakan Atoll software dan dihitung pada setiap konfigurasi antena. Tahap terakhir adalah menganalisis hasil yang diperoleh dari setiap jenis antena dan dilakukan komparasi untuk menentukan antena terbaik yang akan digunakan sebagai *final recommendation*. Secara lengkap tahapan dari metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir dari Penelitian
Sumber Gambar Hasil Penelitian

B. Kecepatan Data (Data Rate)

Untuk mengetahui kecepatan data yang dicapai oleh jaringan, serta besar kapasitas informasi dari setiap sel dilakukan dengan melalui perhitungan data rate. Kecepatan data downlink dan uplink maksimum dihitung dengan pita atau kombinasi pita yang didukung oleh peralatan pengguna. Dalam 5G, perkiraan kecepatan data untuk sejumlah pembawa agregat tertentu dalam satu pita atau pita kombinasi dihitung berdasarkan 3GPP TS 38.306 sebagai berikut (3GPP, 2019) :

$$Data\ rate\ (Mbps) = 10^{-6} \sum_{j=0}^J [V_{Layers}^{(j)} \cdot Q_m^{(j)} \cdot f^{(j)} \cdot R_{max} \cdot \frac{N_{PRB}^{BW^{(j)}, \mu}}{T_s^\mu} \cdot 12 \cdot (1 - OH^{(j)})] \quad [1]$$

Dimana J merepresentasikan pembawa komponen, $v^{(j)}$ merepresentasikan *number of layer*, $Q^{(j)}$ merepresentasikan *maximum modulation order*, $f^{(j)}$ merepresentasikan faktor penskalaan, N_{PRB} merepresentasikan jumlah RB dan $OH^{(j)}$ merepresentasikan Overhead

C. Propagasi Model

Model propagasi yang digunakan untuk link budget private 5G network adalah sesuai dengan standar 3GPP 38.901, dimana model untuk mid-band di 2,6 GHz menggunakan Urban Macro (UMa), sedangkan untuk high-band di 26 GHz digunakan Urban Micro (UMi) [17]. Wilayah Jababeka termasuk wilayah dengan kondisi UMa (Makro padat perkotaan/pinggiran kota), dimana untuk perhitungan pathloss berdasarkan standarisasi 3GPP 38.901 adalah (3GPP, 2020) :

Pathloss (dBm) = gNodeB transmit power (dBm) - 10 log₁₀ (subcarrier quantity) + gNodeB antena gain (dBi) - gNodeB cable loss (dB) - penetration loss (dB) - foliage loss (dB) - body block loss (dB) - interference margin (dB) - rain/ice margin (dB) - slow fading margin (dB) + UT antena gain (dB) - thermal noise figure (dBm) - UT noise figure (dB) - demodulation threshold SINR (dB) [2]

Berdasarkan 3GPP TR 38.90, maka propagation model for LOS menggunakan persamaan (Wulandari, Asri, 2021, Rahmawati, 2021) :

$$PL_{UMa-LOS} = 28.0 + 30\log(d_{3D}) + 20\log(fc) - 9\log[(d_{BP}^1)^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2] \quad [3]$$

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}^1 adalah breakpoint distance (m)

Persamaan (4) dan (5) digunakan untuk mendapat nilai d_{2D} dan d_{BP}^1 :

$$d_{2D} = \sqrt{(d_{3D})^2 - (h_{BS} - h_{UT})^2} \quad [4]$$

$$d_{BP}^1 = 4 \cdot h_{BS}' \cdot h_{UT}' \cdot \frac{f_c}{c} \quad [5]$$

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, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung jumlah site. Perhitungan coverage area setiap site adalah sebagai berikut:

$$Coverage\ area = 2.6 \cdot (d_{2D})^2 \quad [6]$$

Berdasarkan perhitungan diatas, jumlah site (gNode) dapat dihitung dengan persamaan :

$$Number\ of\ gNodeB = \frac{Large\ of\ area\ (km)}{Coverage\ of\ area\ (km)} \quad [7]$$

D. Link Budget

Setiap skenario memiliki perhitungan link budget yang berbeda. Perhitungan link budget bertujuan memperkirakan Maksimal Allowable Path Loss (MAPL) atau redaman maksimum sebesar sinyal yang diterima antara antenna ponsel dan antenna site pada downlink dan uplink UMa dan UMi model propagasi. Pada penelitian ini parameter yang diukur untuk antenna 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO berdasarkan dari penelitian sebelumnya (Wulandari, Asri, 2022) yang ditunjukkan sebagai berikut :

Tabel 2 Parameter Link Budget

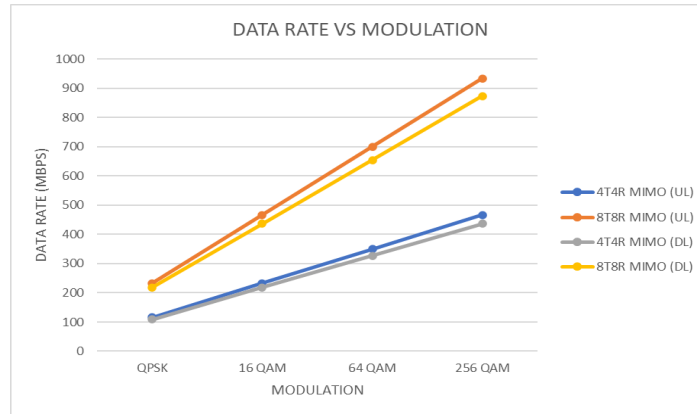
Parameters	Link Budget 700MHz BW 20 MHz			
	Urban (8x8 MIMO)		Urban (4x4 MIMO)	
	Downlink (DL)	Uplink (UL)	Downlink (DL)	Uplink (UL)
gNodeB Transmitter Power (dBm)	49	49	40	40
Resource Block	51	51	51	51
Subcarrier Spacing (kHz)	30	30	30	30
gNodeB Antena Gain (dBi)	2	2	2	2
gNodeB Cable Loss (dBi)	0	0	0	0
Penetration Loss (dB)	19	19	21.2	21.2
Foliage Loss (dB)	19.59	19.59	19.59	19.59
Body Block Loss (dB)	3	3	3	3
Interference Margin (dB)	6	2	6	2
Subcarrier Quantity	612	612	612	612
Rain/Ice Margin (dB)	0	0	0	0
Slow Fading Margin (dB)	7	7	7	7
UT Antena Gain (dB)	0	0	0	0
Thermal Noise Power (dBm)	-157.912	-	-157.912	-157.912
UT Noise Figure (dB)	9	9	9	9
Demodulation Threshold SINR (dB)	19.4	19.4	19.4	19.4

Sumber Tabel : Wulandari, Asri, 2022

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Data Rate

Analisa *data rate* dilakukan untuk menghitung nilai *data rate* saat diimplementasikan antenna 4x4 MIMO atau 8x8 MIMO pada *private 5G network*. Perhitungan mengacu persamaan (1), dengan melakukan variasi terhadap nilai *maximum modulation layer* sesuai jenis modulasi. Berdasar perhitungan, maka hasil *data rate* untuk antenna 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO untuk kondisi UL/DL adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Perhitungan Data Rate pada 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO
Sumber Gambar (huruf *Cambria 10*)

Dari Gambar 3 diatas nilai yang didapat dari perhitungan *data rate* pada kedua antenna dengan berdasarkan variasi modulasi, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Kecepatan Data *Downlink* dan *Uplink*

Data Rate (<i>Downlink</i>)					Data Rate (<i>Uplink</i>)				
Antena	QPSK	16 QAM	64 QAM	256 QAM	Antena	QPSK	16 QAM	64 QAM	256 QAM
4T4R	109,14	218,29	327,43	436,58	4T4R	116,76	233,52	350,28	467,04
8T8R	218,29	436,58	654,87	873,16	8T8R	233,52	467,04	700,56	934,08

Sumber Tabel Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan diatas terlihat bahwa antenna 8x8 MIMO mempunyai nilai *data rate* yang lebih tinggi dari 4x4 MIMO untuk semua jenis modulasi yang digunakan. Dengan demikian antenna 8x8 MIMO mempunyai kemampuan dan kapasitas untuk pengiriman data lebih baik ($\pm 2x$) bila dibandingkan dengan antenna 4x4 MIMO.

B. Analisis Link Budget untuk Kebutuhan Jumlah Site

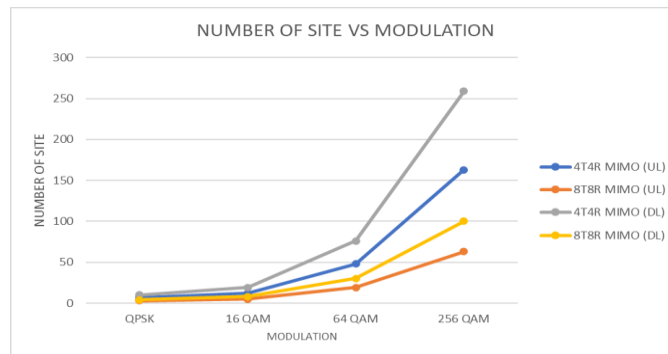
Untuk mengetahui kebutuhan site dari perancangan *Private 5G Network* menggunakan antenna 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO dilakukan perhitungan link budget menggunakan persamaan (2)-(9), dengan menggunakan nilai parameter threshold SINR untuk jenis modulasi yang berbeda seperti tampak pada Tabel 5.

Tabel 5 Demodulation Threshold SINR

Type of Modulation	Demodulation Threshold SINR
QPSK	1,564
16 QAM	7,4
64 QAM	19,4
256 QAM	30

Sumber Tabel (Ganesh, Sri, 2022)

Berdasarkan hasil perhitungan link budget menggunakan persamaan (2)-(9), dan dengan nilai parameter pada Tabel 6, didapatkan kebutuhan jumlah site dari kedua jenis antenna 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO seperti pada Gambar 4. sebagai berikut :



Gambar 4. Perhitungan Jumlah Site pada 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO
Sumber Gambar Hasil Perhitungan

Dari Gambar 4, jumlah kebutuhan site untuk antenna 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO untuk kondisi *Uplink* dan *Downlink* adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil Perhitungan Jumlah Site *Downlink* dan *Uplink*

Jumlah Site <i>Uplink</i>					Jumlah Site <i>Downlink</i>				
Antena	QPSK	16 QAM	64 QAM	256 QAM	Antena	QPSK	16 QAM	64 QAM	256 QAM
4T4R	7	12	48	163	4T4R	10	19	76	259
8T8R	3	5	19	63	8T8R	4	8	30	100

Sumber Gambar Hasil Perhitungan

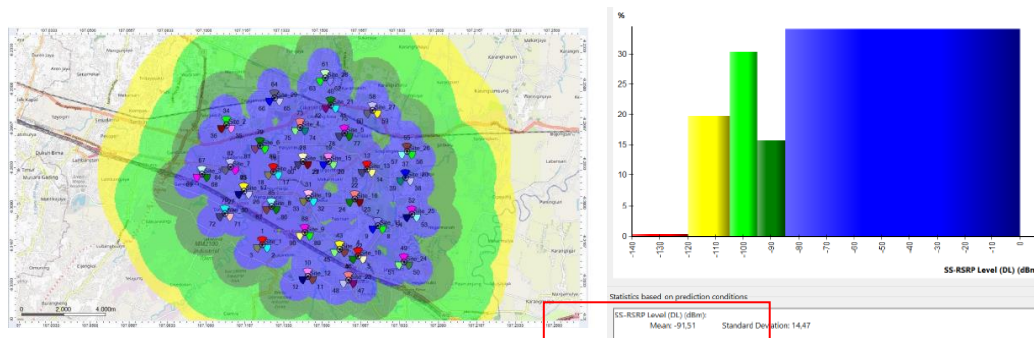
Dari hasil perhitungan Link Budget terlihat bahwa jumlah kebutuhan site untuk antenna 8x8 MIMO lebih sedikit yaitu $\pm 0,25x$ bila dibandingkan dengan Antena 4x4 MIMO. Hal ini menunjukkan pemakaian antenna 8x8 MIMO lebih efektif karena bisa mengurangi investasi yang harus dikeluarkan dengan jumlah site yang lebih kecil.

C. Hasil Simulasi

Untuk mengukur perbandingan performansi Antena 4x4 MIMO dan 8x8 MIMO, pada penelitian ini dilakukan simulasi coverage planning menggunakan Atoll software, dengan mengukur nilai SS-RSRP dan nilai SS-SINR yang didapatkan dengan mengimplementasikan kedua jenis antenna tersebut. Hasil yang didapatkan pada masing-masing parameter adalah sebagai berikut :

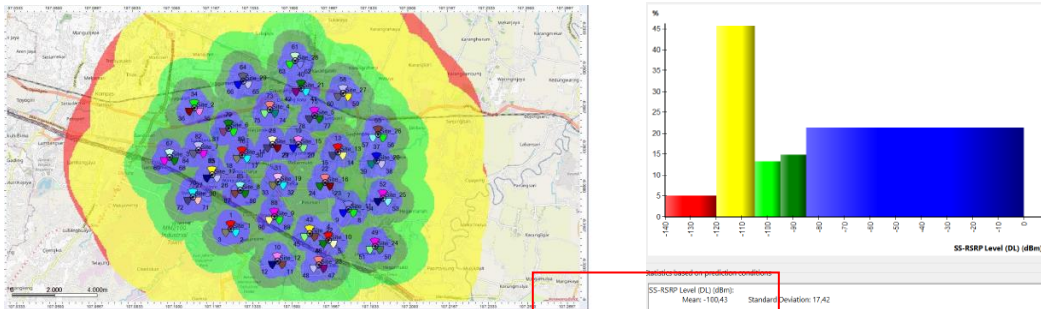
- **SS-RSRP**

Pengukuran nilai RSRP dilakukan pada frekuensi 700 MHz dengan bandwidth 20MHz menggunakan Atoll software. Hasil simulasi coverage SS-RSRP untuk Antena 8x8 MIMO ditunjukkan pada Gambar 5 dan nilai SS-RSRP untuk Antena 4x4 MIMO yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 5. Simulasi Nilai SS-RSRP pada 8x8 MIMO
Sumber Gambar Hasil Penelitian

Pada Gambar 5 terlihat coverage area saat diimplementasikan antenna 8x8 MIMO prosentase area dominan dengan warna biru dan hijau, menandakan bahwa prosentase nilai RSSP lebih dari 90% adalah bagus, dengan nilai mean adalah -91,51 dBm.



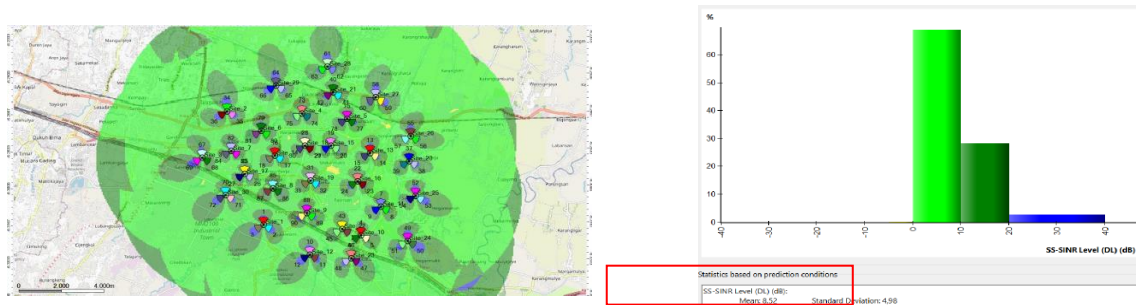
Gambar 6. Simulasi Nilai SS-RSRP pada 4x4 MIMO
Sumber Gambar Hasil Penelitian

Dengan memperhatikan Gambar 6, terlihat bahwa prosentase wilayah dengan warna hijau dan biru adalah 50% yang berarti seimbang dengan area kuning dan merah yang mempunyai nilai RSRP buruk, sehingga nilai mean RSRP adalah -100,41 dBm.

Berdasarkan hasil yang didapatkan di atas, terlihat bahwa Antena 8x8 MIMO mempunyai Nilai SS-RSRP lebih baik yaitu -91,51 dBm bila dibandingkan Antena 4x4 MIMO, sehingga performansi antena 8x8 MIMO lebih baik diimplementasikan dibandingkan antena 4x4 MIMO.

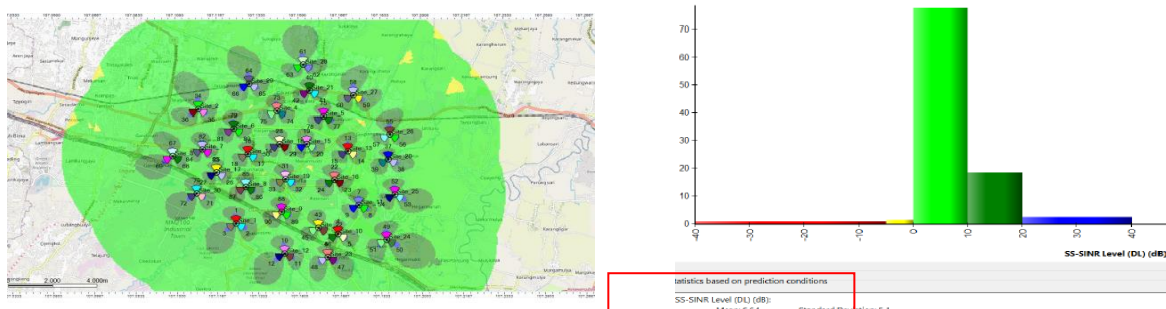
- **SS SINR**

Pengukuran nilai SS-SINR yang menunjukkan kekuatan sinyal dibagi noise dan interferensi yang diterima pengguna dihitung untuk membandingkan performansi antara antena 4x4 MIMO dan antena 8x8 MIMO. Simulasi menggunakan Atoll software, seperti pada perhitungan RSRP, dengan hasil simulasi coverage SS-SINR untuk Antena 8x8 MIMO dan Antena 4x4 MIMO ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8 berikut ini



Gambar 7. Simulasi Nilai SS-SINR pada 8x8 MIMO
Sumber Gambar Hasil Penelitian

Pada Gambar 7 di atas, terlihat bahwa coverage area SINR adalah 100% berwarna hijau dan biru, yang berarti bahwa nilai SINR nya sangat bagus dengan mean sebesar 8,52 dB.



Gambar 8. Simulasi Nilai SS-SINR pada 4x4 MIMO
Sumber Gambar Hasil Penelitian

Dari Gambar 8 diatas terlihat bahwa pada grafik masih terdapat area berwarna kuning dan merah sebesar 5%, sehingga nilai mean lebih rendah dibandingkan Antena 8x8 MIMO, yaitu sebesar 6,64 dB, meskipun demikian ini masih tergolong bagus.

Dengan demikian dari hasil simulasi diatas terlihat bahwa nilai SS-SINR pada Antena 8x8 MIMO sebesar 8,52 dB hasilnya jauh lebih baik dibandingkan Antena 4x4 MIMO yang didapatkan sebesar 6,64 dB.

D. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini dilakukan Analisa komparasi antara Antena 4x4 MIMO dengan Antena 8x8 MIMO, sehingga didapatkan hasil pengembangan dari luaran penelitian yang dilakukan sebelumnya (Wulandari, Asri, 2022).

V. SIMPULAN

Pada penelitian sebelumnya belum memperhitungkan implementasi jumlah antena MIMO pada perancangan Private 5G Network di Wilayah Jababeka. Pada penelitian ini dilakukan Analisa implementasi antena MIMO terhadap penelitian yang dilakukan sebelumnya. Berdasarkan analisa data rate dan analisa link budget didapatkan bahwa implementasi Antena 8x8 MIMO pada Private 5G Network akan memberikan hasil data rate yang lebih baik ($\pm 2x$) dan kebutuhan jumlah site yang lebih sedikit ($\pm 0,25x$) dibandingkan Antena 4x4 MIMO. Dari hasil simulasi coverage juga diperoleh hasil bahwa Antena 8x8 MIMO memberikan nilai SS-RSRP dan SS-SINR yang lebih baik dibandingkan Antena 4x4 MIMO yaitu sebesar -91,51 dBm dan 8,52 dB

DAFTAR PUSTAKA

- Wen, M., Li, Q., Kim, K. J., López-Pérez, D., Dobre, O. A., Poor, H. V., ... & Tsiftsis, T. A. (2021). Private 5G networks: Concepts, architectures, and research landscape. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 16(1), 7-25.
- Felip, Kalpita. Vardhan. P. (2023). Design Analysis of 4x4 MIMO Antena for 5G Application. *International Journal of Engineering Research in Electronics and Communication Engineering (IJERECE)*. Vol 10: Issue 2.
- Ganesh, Sri. & Satya, Siva. (2022). Link Adaptation in 5G Networks Reinforcement Learning Framework based Approach. Degree Project in Electrical Engineering, specializing in Communication Systems. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Varga, P., Peto, J., Franko, A., Balla, D., Haja, D., Janky, F., ... & Toka, L. (2020). 5G support for industrial iot applications—challenges, solutions, and research gaps. *Sensors*, 20(3), 828.
- Hikmaturokhman, A. K, Ramli. M, Suryanegara. A.A.P, Ratna. I, Rohman. & M, Zaber. (2022). A Proposal for Formulating a Spektrum Usage Fee for 5G Private Networks in Indonesia Industrial Area. In *Informatics*, Vol 9, No 2, p 44, Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Maman, Michael, Strinati, Emilio Calvanese, Dinh & Lam Ngoc. (2021). Beyond Private 5G Networks : Applications, Architecture, Operator Models and Technological Enablers. *EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking*, <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-021-02067-2>.
- Mandhyani, A. (2019). 4G dan 5G Capacity Solutions- Comparative Study. *Commscope Version 1.1*,
- Lee, C. S., You, C. W., & Park, S. I. (2022). A Study on 5G Base Station Inspection using 8T8R Combiner. *The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*, 17(2), 229-236.
- Matthew, Bridges. & Khalily, M. (2020). High Isolation 8x8 MIMO Antena Design for 5G Sub-6 GHz Smartphone Applications. 2020 IEEE International Conference on UK-China Emerging Technologies (UCET). DOI: 10.1109/UCET51115.2020,
- Ordóñez, Jose. F, Jestis. M, Luis & Pastor, Antonio. (2019). The Use of 5G Non-Public Network to Support Industry 4.0 Scenario. *IEEE Conference on Standards for Communications and Networking*.
- Pant, M. & Malviya L. (2022). Design, Development, and Applications of 5G Antenas : A Review. *International Journal Of Microwave and Wireless Technologies*. Pp 1-27. <https://doi.org/10.1017/51759078722000095>,

- Guo, S., Lu, B., Wen, M., Dang, S., & Saeed, N. (2022). Customized 5G and beyond private networks with integrated URLLC, eMBB, mMTC, and positioning for industrial verticals. *IEEE Communications Standards Magazine*, 6(1), 52-57.
- Rahmawati, Putri. Nashirudin, Imam. & Nugraha, M Adam. (2021), Capacity and Coverage Analysis of NR Mobile Network Deployment for Indonesia's Urban Market. 2nd International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRudev), <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9656491/proceeding>
- Rostami, Ahmad. (2019). Private 5G Networks for Vertical Industries: Deployment and Operation Models. *IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*. <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8894900/proceeding>.
- Son, J. & Harrison. (2019). 7 Deployment Scenarios of Private Networks. *Netmanias, Tech-Blog*.
- Wulandari, Asri. Hasan, Marfani. & Hikmaturokhman, Alfin. (2021). 5G Stand Alone Inter-band Aggregation Planning in Kelapa Gading Jakarta Utara. 2nd International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRudev). <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9656491/proceeding>,
- Wulandari, Asri. Hasan, Marfani. & Hikmaturokhman, Alfin. (2022). Private 5G Network Capacity and Coverage Deployment for Vertical Industries: Case Study in Indonesia. *IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)*. Pp 317-322. doi: 10.1109/COMNETSAT56033.2022.9994332, 2022.
- Wen. Miaowen. Li, Qiang, Li. & Jin, Kyeong Jin. (2022). Private 5G Networks : Concepts, Architectures and Research Landscape. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*
- 3GPP (2018). Study on Positioning Use cases Stage 1 (Release 16). 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TR 22.872, v16.1.0. [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22series/22.872/>,
- 3GPP (2019). User Equipment (UE) Radio Access Capabilities (Release 15). 3GPP TS38.306 Version 15.8.0,
- Pramono, Subuh, et al. (2019). "Performance Analysis of SM-MISO with Q-CSIT in Wireless Sensor Network." 6th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI). IEEE, 2019. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8976976>
- Hikmaturokhman, A., Wahyudin, A., Yuchintya, A. S., & Nugraha, T. A. (2017, November). Comparison analysis of passive repeater links prediction using methods: Barnett Vigants & ITU models. In 2017 4th International Conference on New Media Studies (CONMEDIA) (pp. 142-147). IEEE.
- de Souza Lopes, C. H., Lima, E. S., Pereira, L. A. M., Borges, R. M., Ferreira, A. C., Abreu, M., ... & Junior, A. C. S. (2021). Non-standalone 5G NR fiber-wireless system using FSO and fiber-optics fronthauls. *Journal of Lightwave Technology*, 39(2), 406-417.
- Leyva-Mayorga, I., Soret, B., Röper, M., Wübber, D., Matthiesen, B., Dekorsy, A., & Popovski, P. (2020). LEO small-satellite constellations for 5G and beyond-5G communications. *Ieee Access*, 8, 184955-184964.
- Alsharari, M., Aliqab, K., Ali, F., & Armghan, A. (2023). Integrated Free-Space Optics and Fiber Optic Network Performance Enhancement for Sustaining 5G High Capacity Communications. *International Journal of Optics*, 2023.