

Penerapan Antena MIMO Pada Sistem Antena SISO

H. Heru Abrianto¹, Irmayani², Aroli Ignatius Zai³

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tama Jagakarsa, Jakarta

^{2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional

E_mail: heruab@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi komunikasi bergerak dimulai dengan teknologi 2G kemudian berkembang ke 2.5G (GPRS), lalu meningkat ke teknologi 3G yang pada akhirnya berkembang lebih jauh lagi ke 3.5G (HSDPA) yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan akan peningkatan layanan data kepada pelanggan. Generasi berikutnya, *Long Term Evolution (LTE)* dirancang untuk menghasilkan luas cakupan yang yang besar dengan menggunakan teknik antena jamak seperti MIMO 2x2. Penerapan Sistem Antena *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* pada Sistem Antena *Single Input Single Output (SISO)* melalui analisa perhitungan *link budget* (antena SISO/MIMO ke *Mobile Station*) dan Analisa luas cakupan (*coverage*) atau biasa dikenal dengan *RSRP (Reference Signal Received Power)* menggunakan peralatan perencanaan (*desain tool*) IBwave. Penerapan Antena MIMO (2x2) pada Sistem Antena SISO, daya yang diterima secara keseluruhan sebesar 99,60% dimana sudah melampaui batas ambang yang ditentukan/*threshold* ($RSRP_{th}$) $\geq 95\%$ di level - 95 dBm. Berdasarkan hasil pengujian luas area *coverage* mengalami peningkatan sebesar 8,6% secara keseluruhan.

Kata kunci: LTE, SISO, MIMO, coverage area, RSRP

ABSTRACT

The development of mobile communication technology starts with 2G technology and then develops to 2.5G (GPRS), then enhances to 3G technology which eventually develops further to 3.5G (HSDPA) which aims to meet the needs of improvement data services to customers. Next Generation, Long Term Evolution (LTE) is designed to produce a large coverage area using multiple antenna techniques such as MIMO 2x2. Planning for the Implementation of MIMO Antenna System at SISO Antenna Systems through analysis of link budget calculations (SISO/MIMO to MS antenna) and wide coverage analysis, commonly known as RSRP (Reference Signal Received Power) by using IB-Wave planning tools (design tool). Planning for the implementation of MIMO Antenna (2x2) at SISO Antenna System, at overall power received is 99.60% which has exceeded the specified minimum threshold ($RSRP_{th}$) $\geq 95\%$ at level -95 dBm. Based on the results of testing coverage area increased by 8.6% overall.

Keywords: LTE, SISO, MIMO, coverage area, RSRP

1. PENDAHULUAN

Dinamika teknologi dewasa ini sudah semakin sampai ke dunia teknologi yang lebih canggih. Diawali dengan teknologi komunikasi telepon *fixed line*, kemudian berkembang dengan teknologi seluler analog 1G (AMPS), sampai akhirnya ber-kembang ke teknologi seluler digital (GSM, CDMA/WCDMA dan LTE).

Berbagai penelitian dilakukan dalam rangka meningkatkan layanan dan performansi yang tinggi, sehingga membuat pengguna saat ini lebih banyak menggunakan jaringan telekomunikasi tanpa kabel karena beberapa kelebihan yang dimiliki seperti dapat digunakan dimana saja (Budiono, 2013).

Teknologi yang sedang dikembangkan dalam dunia jaringan broadband seluler yang secara khusus berfokus pada standar generasi berikutnya, yaitu 5G, menasar spektrum gelombang milimeter 28 GHz dan seterusnya. Beberapa teknologi futuristik yang meletakkan

dasar bagi standar 5G, menyoroti konsep MIMO masif yang menggunakan susunan antena dan teknik beamforming untuk memenuhi tuntutan kecepatan data yang tinggi (Reddy, 2016).

Pada sistem komunikasi radio pada saat ini dibutuhkan kecepatan data yang tinggi, kapasitas yang besar, ukuran yang kecil dan bobot yang ringan (Arius, 2020). Antena adalah bagian penting dari perangkat komunikasi radio, berbagai metode digunakan untuk mengembangkan antena termasuk bahan, bentuk, dan ukuran antena sehingga kinerja antena yang tinggi dapat dicapai (Rahmania, 2019).

Sistem antena Multiple Input Multiple Output (MIMO) merupakan suatu sistem yang digunakan pada antena, baik di sisi pengirim maupun di sisi penerima, antena MIMO dapat meningkatkan kapasitas kanal tanpa membutuhkan peningkatan bandwidth maupun tambahan daya transmisi. Dengan

demikian laju transfer data yang tinggi, sistem yang handal dan area jangkauan yang lebih luas dapat tercapai (Ahmadi, 2015).

Sistem antena MIMO dapat diaplikasikan pada komunikasi radio, untuk WiFi dan WiMax (Abrianto and Irmayani 2023), (Ardianto, 2018). Sejalan dengan perkembangan teknologi perangkat komunikasi, banyak penelitian telah dilakukan pada antena. Antena berkembang cepat dan dapat dilihat dalam berbagai ukuran, bahan dan bentuk (Kustiawan, 2016).

Pengembangan dilakukan sesuai dengan kebutuhan dan aplikasi sistem transmisi gelombang mikro ke satelit. Antena yang diterapkan pada perangkat seluler harus memiliki dimensi kecil dengan daya pancar dan penerima yang baik. Fitur-fitur ini hanya dapat dicapai oleh antena microstrip, di mana antena ini memiliki ukuran kecil, tipis, berbagai pola radiasi dan mudah untuk membuatnya (Hidayat, 2019).

Dalam meningkatkan kinerja antena, antena dibentuk dan diatur dari beberapa antena yang disebut antena array. Susunan antena dapat berupa port tunggal atau banyak port (Syawaludin, 2016).

Perangkat komunikasi saat ini yang terdiri dari beberapa generasi dengan frekuensi kerja yang berbeda juga telah mengarah pada pengembangan teknologi antena yang bekerja pada multi frekuensi (Rahmadyanto, 2009).

Perkembangan teknologi komunikasi bergerak dimulai dengan teknologi 2G kemudian berkembang ke 2.5G (GPRS), lalu meningkat ke teknologi 3G yang pada akhirnya berkembang lebih jauh lagi ke 3.5G (HSDPA) yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan akan peningkatan layanan data kepada pelanggan.

Hal inilah yang mendorong dunia teknologi selular untuk lebih meningkatkan lagi penemuan barunya, yaitu dengan adanya teknologi baru yaitu 4G, yang lazimnya disebut dengan teknologi LTE. Adapun teknologi 4G ini dikembangkan dari teknologi sebelumnya, yaitu 3G, dimana sangat jauh berbeda dari infrastruktur yang diterapkan. Sebagai salah satu contoh: tidak dipergunakannya lagi *switch relay* (RNC pada 3G) yaitu dari site (*eNode_B*) terhubung langsung ke *core* (*Cloud System*) (Stefania et al., 2011)

Dalam penerapannya, ditemukan adanya perbedaan power yang dihasilkan oleh masing masing perangkat (*Node_B* untuk 3G dan *eNode_B* untuk LTE) yaitu, *EIRP* (*Effective*

Isotropic Radiated Power) pada 4G (LTE) lebih kecil dari pada 3G (WCDMA)

Pada keluaran *eNode_B* menghasilkan power yang lebih kecil dibandingkan dengan *Node_B* 3G (WCDMA) sehingga distribusi antena yang digunakan akan semakin kompleks. Penerapan perancangan teknologi baru (*New Technology Design*) pada LTE akan menghasilkan kecepatan data yang semakin tinggi. Teknologi menggunakan antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan teknologi yang sudah diterapkan oleh operator telekomunikasi di Indonesia.

Dengan penerapan teknologi MIMO 2x2 pada jaringan teknologi LTE, akan menghasilkan luas area cakupan/*coverage* yang lebih besar (Irmayani, I., Anggraini 2023).

Hal inilah yang menjadi latar belakang penulisan penelitian ini untuk menganalisa penerapan Antena MIMO pada Sistem Antena *Single Input Single Output* (SISO) menggunakan teknologi 4G (*Long Term Evolution/LTE*) pada cakupan di dalam gedung (*Indoor Coverage*)

2. DASAR TEORI

2.1 Komunikasi menggunakan Teknologi Antena pada Jaringan LTE

Saat ini, dimana terjadi peningkatan kebutuhan akan kecepatan layanan data pada sistem komunikasi *wireless* (*Wireless Mobile Communication*), dan sangat berkembang pesat di masyarakat, yang merupakan pengguna aktif dengan banyaknya piranti yang dipergunakan oleh pelanggan dalam mengakses layanan internet dan kebutuhan lainnya, seperti: *Smartphone*, *Modem*, *WiFi*, *Tablet Phone*, *Cloud Computing* dan lain sebagainya. Ada tiga hal yang perlu diperhatikan oleh setiap operator penyelenggara Layanan 4G (kemudian disebutkan sebagai LTE) yaitu: Kecepatan Tinggi (*High Speed*), Kualitas Multimedia yang Tinggi (*High Quality Multimedia*) dan Kapasitas Kanal yang besar (*Large Capacity*) (Cox, 2014).

LTE adalah sebuah standarisasi jaringan akses radio evolusi jangka panjang yang dikeluarkan oleh Third Generation Partnership Project (3GPP) dengan tujuan membangun sistem dengan kecepatan data yang sangat tinggi dengan latency yang rendah. Secara umum, LTE didesain untuk mencapai kecepatan data maksimum 100 Mbps untuk arah downlink dan 50 Mbps untuk arah uplink (3GPP, 2011).

Hal inilah yang menuntut para Operator Telekomunikasi yang berlisensi untuk menjawab kebutuhan pengguna atau pelanggan untuk dapat berkomunikasi dan mengirimkan data yang berupa suara (*voice*) atau pun gambar (*streaming*) dan video (*multimedia*) dengan kecepatan yang mumpuni dan kualitas yang terbaik.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengana-lisa penerapan perencanaan teknologi *LTE* pada cakupan dalam gedung (*Indoor coverage*) agar dapat memenuhi kebutuhan pelanggan dari operator telekomunikasi PT. XL Axiata, Tbk, dan untuk memastikan luas cakupan dengan menggunakan Sistem Antena MIMO lebih baik dari Sistem Antena SISO.

Pada teknologi dasar antena indoor banyak dikenal dengan beberapa jenis antena yang biasanya dipertimbangkan untuk dipakai dalam perencanaan penerapan antena. Hal ini tergantung kepada kemampuan dari beberapa antena yang didesain untuk dapat memberikan kontribusi pada saat Pemancaran (*Tx: Transmitter*) dan/atau Penerimaan (*Rx: Receiver*), dimana dalam teknologinya dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis yaitu: SISO (*Single Input Single Output*), SIMO (*Single Input Multiple Output*), MISO (*Multiple Input Single Output*) dan MIMO (*Multiple Input Multiple Output*).

2.2 Teknologi Antena

MIMO adalah teknologi antena untuk komunikasi nirkabel di mana beberapa antena yang digunakan pada kedua sumber: pemancar (*transmitter*) dan tujuan/penerima (*receiver*). Antena pada setiap akhir dari rangkaian komunikasi digabungkan untuk meminimalkan kesalahan dan mengoptimalkan kecepatan data. MIMO adalah salah satu dari beberapa bentuk teknologi antena cerdas. Komunikasi nirkabel menggunakan sistem Antena MIMO memungkinkan peningkatan efisiensi spektrum untuk total daya pancar yang diberikan. Antena MIMO dapat bekerja pada WLAN dan WiMax yang bekerja pada frekuensi 2.4 dan 5 GHz, dan memiliki gain yang tinggi (Abrianto and H.Mukdien 2022).

Peningkatan kapasitas dicapai dengan memperkenalkan saluran spasial tambahan yang dieksploitasi dengan menggunakan ruang-waktu *coding*. Faktor-faktor yang mempengaruhi sistem MIMO termasuk kompleksitas saluran, gangguan eksternal dan kesalahan estimasi kanal. Istilah *multichannel* menunjukkan bahwa penerima menggabung

kan beberapa antena dengan menggunakan adaptasi ruang waktu frekuensi. Sistem pengolahan MIMO adalah pengembangan komunikasi *array* antena (Szini et al., 2014).

Penggunaan *transmit diversity* telah diteliti baru-baru ini dimana keuntungan komunikasi MIMO, yang mengeksplorasi saluran fisik antara jumlah pengiriman (*transmitter*) dan jumlah penerimaan (*receiver*) pada antena mendapatkan hasil yang signifikan. Sementara channel bisa jadi *non-stasioner* yang tidak dapat diperkirakan dalam pengertian yang bermanfaat, sistem MIMO memberikan sejumlah keunggulan dibandingkan komunikasi tunggal-antena ke tunggal-antena. Sensitivitas terhadap fading dapat dikurangi dengan tata ruang keragaman yang disediakan oleh beberapa jalur spasial.

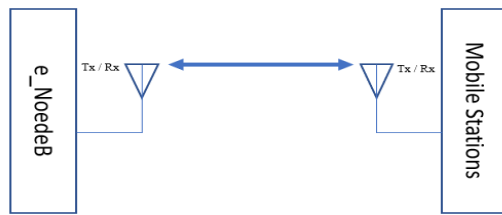
Secara spesifik penerapan perencanaan untuk MIMO berdasarkan beberapa parameter perhitungan dalam simulasi perbandingan antara 2 (dua) jenis antena MIMO yang berbeda, yaitu dalam bahasa sederhananya adalah perhitungan desain penempatan antena MIMO dalam simulasi perhitungan terhadap *MS* (user/pengguna)

Dalam penggunaan antena memang berbeda-beda untuk desain penempatannya, dan pembahasan dalam penelitian ini dirancang untuk perencanaan dalam melayani cakupan dari Antena SISO (*Single Input Single Output*) dan MIMO (*Multiple Input Multiple Output*).

Desain dari perencanaan penerapannya beserta simulasi dari penjelasan diatas untuk antena MIMO yang dibahas dari penelitian ini dibahas dalam detail selanjutnya.

2.3 Teknologi Antena SISO

SISO (input tunggal, output tunggal) mengacu pada sistem komunikasi nirkabel di mana satu antena digunakan di sumber (pemancar) dan satu antena digunakan di tujuan (penerima). Konsep teknologi antena SISO diciptakan dengan tunggal-input dan tunggal-output, ditunjukkan pada gambar 1. SISO juga memiliki kecepatan data yang berkurang dalam kondisi saling berhadapan. SISO adalah teknologi antena paling sederhana, dimana sistem antenna SISO rentan terhadap masalah yang disebabkan oleh efek multipath.



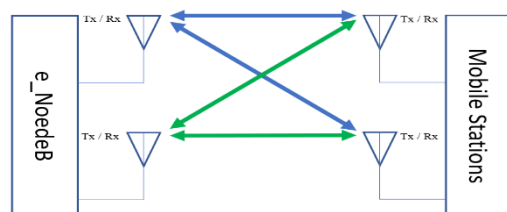
Gambar 1 Sistem antenna SISO

2.4 Teknologi Antena MIMO

Konsep teknologi antena MIMO 2x2 diciptakan berdasarkan kebutuhan untuk menghasilkan luas cakupan yang lebih besar. Suatu desain antena MIMO 2x2 yang baik mengharuskan setiap pasangan antena memiliki *power loss* yang sama untuk mendapatkan *gain* yang sama untuk mengoptimalkan kapasitas MIMO 2x2 (Bhagya et al., 2012)

Sistem MIMO (Multiple Input Multiple Output) merupakan suatu sistem wireless yang dapat meningkatkan kapasitas kanal dengan menggunakan multi antena di sisi pengirim maupun di penerima (Ardianto et al., 2018).

MIMO dikondisikan dengan penggunaan multiantena pada pemancar dan penerima yang bekerja pada frekuensi yang multiple in ini berarti sistem mengirimkan dua atau lebih sinyal radio dengan simultan. Multiple out berarti dua atau lebih sinyal radio didapatkan pada penerima. Secara umum keunggulan dari sistem MIMO adalah dengan multiantena dapat mengirimkan banyak sinyal dan menerima banyak sinyal.



Gambar 2 Sistem antenna MIMO

Dalam sistem MIMO, informasi yang sama dapat dikirim dan diterima dari beberapa antena secara bersamaan. Fading antara antena pemancar dan penerima dapat dianggap independen, sehingga probabilitas terdeteksinya informasi yang akurat akan lebih tinggi. Fading sinyal dapat dikurangi dengan teknik diversity yang berbeda, di mana sinyal ditransmisikan melalui beberapa jalur fading yang independen dalam waktu, frekuensi atau ruang yang dikombinasikan secara konstruktif pada penerima.

Tuntutan peningkatan data rate dan kualitas layanan dari suatu sistem komunikasi wireless memicu lahirnya teknik baru untuk meningkatkan efisiensi spektrum dan perbaikan kualitas saluran. Sistem MIMO (Multiple Input Multiple Output) merupakan suatu sistem wireless yang dapat meningkatkan kapasitas kanal dengan menggunakan multi antena di sisi pengirim maupun di penerima

Pada fungsi diversity-nya data yang dipancarkan pada setiap antena pemancar adalah sama. Kemudian dapat digunakan metode transmitter selection diversity untuk memilih satu pemancar saja dengan kualitas terbaik. Sedangkan pada penerima digunakan metode combining (EGC/MRC) untuk mendapatkan diversitas murni. Model diversity digunakan untuk mengurangi galat akibat fading dan noise dengan diversitas antena pada pemancar dan penerima.

Pada fungsi multiplexingnya data masukan dapat dipecah menjadi beberapa bagian yang independen dan dikirimkan oleh masing-masing antena pemancar yang bekerja pada frekuensi yang sama. Keuntungan utama MIMO multiplexing didapatkan dengan mengirim sinyal yang berbeda pada bandwidth sama dan dapat disandikan dengan tepat pada penerima. Jadi seperti terdapat satu kanal untuk satu pemancar.

2.5 Perangkat pendukung penerapan perencanaan dalam gedung.

Penggunaan perangkat pendukung dalam penerapan perencanaan dalam gedung juga sangat diperlukan untuk menghantarkan sinyal yang dihasilkan dari Radio Unit untuk sampai ke Antena pemancar, baik itu antena SISO maupun antena MIMO. Adapun jenis perangkat yang dipergunakan dalam rancangan untuk pembagian distribusi koneksi ke antena dapat berupa Perangkat Pasif, yaitu: perangkat yang bertujuan untuk membagi distribusi koneksi dari Radio Unit. Sedangkan penggunaan Perangkat Aktif, yaitu: bertujuan untuk memberikan penguatan sinyal yang sudah lemah sebelum menuju antena agar output sinyal power yang dipancarkan antena dapat maksimal.

Penerapan Antena MIMO pada Sistem Antena SISO menggunakan Radio Unit yang menghasilkan daya pancar utama dan menjadi sistem yang mengintegrasikan luas cakupan area indoor dengan suatu jaringan LTE operator, dimana biasa disebut sebagai Pico

Cell, dengan memasang Radio Unit Ericsson yang memiliki daya/power + 13,47 dBm.

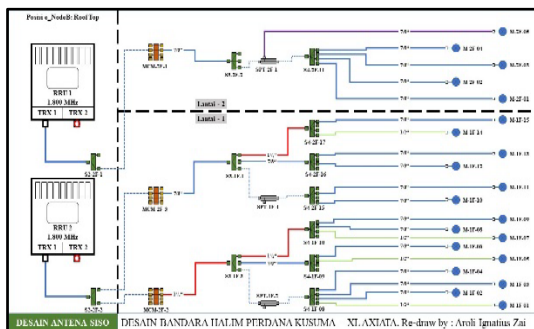
3. PERENCANAAN ANTENA DALAM GEDUNG

3.1 Perencanaan Antena.

Salah satu tempat untuk dilakukan perencanaan jaringan seluler adalah lantai 1 dan lantai 2 dalam gedung. Hal ini untuk melayani pelanggan pada area terminal kedatangan dan keberangkatan di Bandar Udara Halim Perdana Kusumah Jakarta. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan perencanaan jaringan LTE dalam gedung, agar pelanggan yang berada di dalam gedung dapat menikmati layanan komunikasi data yang cepat dan handal, karena pada era digital ini para pelanggan menuntut adanya layanan komunikasi data yang cepat dan handal serta dapat diakses dimanapun dan kapanpun.

Pada perencanaan ini dilakukan perhitungan untuk mendapatkan jumlah antenna yang digunakan menggunakan alat perancangan (*IB-Wave design tools*). Penempatan indoor antenna MIMO pada lantai 1 dan lantai 2 menggunakan teknologi LTE pada frekuensi 1800 MHz. Antena MIMO yang akan digunakan memiliki pola radiasi *omni-directional*.

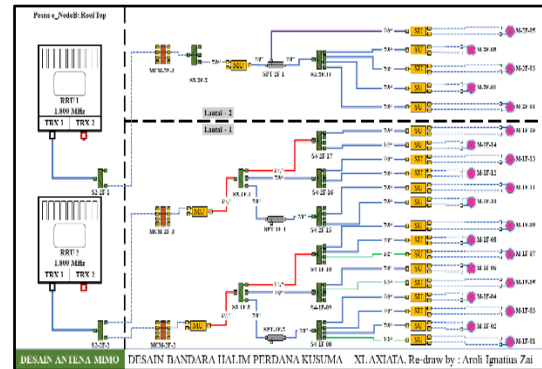
Sebelum melangkah lebih jauh untuk mengetahui bagaimana penerapan antenna MIMO, terlebih dahulu mengetahui kondisi sistem antenna SISO eksisting yang menjadi system dasar dalam penelitian ini.



Gambar 3 sistem antenna SISO eksisting

Selanjutnya penerapan antenna MIMO, dapat ditampilkan pada gambar 4 dimana XL Axiata, Tbk, merencanakan untuk menerapkan perencanaan untuk lantai 1 dengan jumlah 15 (lima belas) antenna MIMO dan untuk lantai 2 dengan jumlah 5 (lima) antenna MIMO dengan posisi Radio Unit ditempatkan pada posisi atas gedung (Roof Top), menjadi totalnya 15 (lima belas) antenna yang direncanakan.

Dengan masing-masing jarak posisi antenna yang bervariasi satu sama lain dengan tujuan untuk meliputi semua area cakupan Gedung seluas 6.047,98 m². Sedangkan jarak posisi antenna terhadap lokasi Radio Unit juga bervariasi yang menyebabkan panjang kabel juga berbeda-beda.



Gambar 4 Penerapan sistem antenna MIMO

3.2 Perhitungan Nilai Parameter.

Untuk merencanakan penerapan distribusi antenna dalam *DAS (Distribution Antena System)* memerlukan perencanaan yang matang dengan memperhatikan aspek perhitungan rugi-rugi (*loss*) dari setiap Perangkat Pasif (perangkat yang tidak memberikan penguatan *signal/Gain*) yang dipergunakan, sehingga mendapat hasil perencanaan yang memiliki daya pancar yang maksimal. Dimana dalam pendistribusian koneksinya dari *Radio Unit (RU)* ke Antena membutuhkan perangkat penghubung (Kabel dan Konektor) dan pendistribusi (*Splitter, Tapper, MCM*) Jumlah rugi-rugi secara keseluruhan yang lebih sering dikenal dengan *Total Loss* adalah jumlah rugi-rugi transmisi di media koneksi dari *Radio Unit* ke Antena.

Perhitungan *Link Budget* untuk *RSRP* dengan menggunakan *Desain Tool* adalah merupakan perhitungan arlgoritmik/prediksi penyebaran sinyal yang memperhitungkan level daya penerimaan (*RSRP*) memperhitungkan luas cakupan area (*coverage plot area*)

XL menerapkan Level daya *threshold (RSRP_{ths})* adalah $\geq -95,00$ dBm dengan luas meliputi cakupan $\geq 95,00\%$. Apabila luas cakupan penerapan perencanaan sudah lebih dari $\geq 95\%$ meliputi semua area gedung (*ondor coverage area*) di level penerimaan $\geq -95,00$ dBm, maka perencanaan dalam gedung (*desain indoor*) tersebut dapat diterima untuk diimplementasikan.

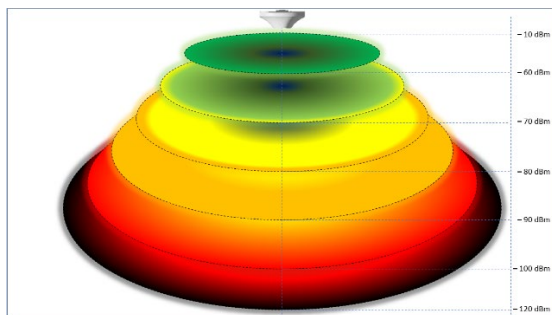
Adapun perhitungan dilakukan secara bertahap sebagai berikut:

- Rugi-rugi dan penguatan perangkat
- Link Budget
- Prediksi RSRP pada *Design Tool*.

Dalam hal ini, tidak diuraikan lebih detail mengenai cara kerja algoritmik desain tools yang dipergunakan *IB-Wave*, akan tetapi lebih kepada analisa penerapan menggunakan Antena SISO (*RSRP coverage plot area DAS SISO*) terhadap Antena MIMO (*RSRP coverage plot DAS MIMO*)

Design Tools *IB-Wave* menggambarkan hasil penerapan antena SISO dan MIMO yang didapatkan pada umumnya sama. Hanya saja yang membedakan pada hasil akhir coverage plot area RSRP (*Reference Signal Received Power*) dikarenakan komponen peralatan yang menjadi dasar perencanaan. Dalam hal ini, Sistem Antena MIMO akan memiliki tambahan perangkat seperti *MU (Main Unit)* dan *SU (Service Unit)* sebagai tambahan jalur input dalam MIMO 2x2.

Adapun pola perhitungan dari RSRP yang dihasilkan mengikuti kaidah-kaidah yang digambarkan pada gambar 5



Gambar 5 RSRP level legend

4. HASIL dan Pembahasan

4.1 Penerapan Sistem Antena SISO

Dalam rancangan penempatan *antena SISO* pada pada lantai 1 dan lantai 2 yang perlu diperhatikan adalah luas cakupan dari antena. Dari luas cakupan ini dapat menentukan jarak yang dibutuhkan antar antena yang akan dipasang dalam gedung selain pendukung parameter lainnya. Pada gambar 3 jumlah antena MIMO yang akan ditempatkan pada lantai 1 adalah 15 (lima belas) antena dan lantai 2 adalah 5 (lima) antena. Dalam perencanaannya memerlukan beberapa perangkat untuk merencanakan *DAS SISO* dengan detail yang ditunjukkan pada table 1.

Tabel 1 Perangkat eksisting *DAS SISO*

No.	Perangkat	Jumlah	No.	Perangkat	Jumlah
1.	Radio Unit	2 Unit	7.	MCM 4 W	3 Unit
2.	Antena SISO	20 Unit	8.	Kabel Jumper (3 meter)	2 buah (dan konektor)
3.	Spliter 2 W	2 Unit	9.	Kabel 1 1/4 "	1.717,38 meter
4.	Spliter 3 W	3 Unit	10.	Kabel 7/8 "	739,73 meter
5.	Spliter 4 W	7 Unit	11.	Kabel 1/2 "	55,31 meter
6.	Tapper 2 W	3 Unit	12.	Konektor	72 buah

Untuk perhitungan selengkapnya pada keseluruhan perhitungan Link Budget untuk penerapan Sistem Antena SISO dapat dilihat pada table 2.

Tabel 2 Perhitungan *Link Budget* eksisting sistem antena SISO

Position	Antena	Frequency	Power e_NodB	Loss Initiation	Input Antena SISO	Antena SISO Gain	Antena SISO EIRP	Propagation Loss (PL)	IBLM		Total Air Loss	Predicted MS Received Level (RSRP)
									Type	Loss		
		MHz	dBm	dB	dB	dBi	dBm	dB	Environment	dB	dB	dBm
Lantai - 1	M-1F-1	1.800	13,47	-28,67	-15,20	5,00	-10,20	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-75,84
	M-1F-2	1.800	13,47	-29,03	-15,56	5,00	-10,56	-37,54	Moderately Open	-30,00	-67,54	-78,10
	M-1F-3	1.800	13,47	-28,40	-14,93	5,00	-9,93	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-75,57
	M-1F-4	1.800	13,47	-29,12	-15,65	5,00	-10,65	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-76,29
	M-1F-5	1.800	13,47	-28,82	-15,35	5,00	-10,35	-37,54	Low	-33,10	-70,64	-80,99
	M-1F-6	1.800	13,47	-28,59	-15,12	5,00	-10,12	-37,54	Moderately Open	-30,00	-67,54	-77,66
	M-1F-7	1.800	13,47	-28,89	-15,42	5,00	-10,42	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-76,06
	M-1F-8	1.800	13,47	-28,66	-15,19	5,00	-10,19	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-75,83
	M-1F-9	1.800	13,47	-29,24	-15,77	5,00	-10,77	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-76,41
	M-1F-10	1.800	13,47	-28,52	-15,05	5,00	-10,05	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-75,69
	M-1F-11	1.800	13,47	-29,01	-15,54	5,00	-10,54	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-76,18
	M-1F-12	1.800	13,47	-27,87	-14,40	5,00	-9,40	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-75,05
	M-1F-13	1.800	13,47	-28,42	-14,95	5,00	-9,95	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-75,59
	M-1F-14	1.800	13,47	-28,71	-15,24	5,00	-10,24	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-75,88
	M-1F-15	1.800	13,47	-29,06	-15,59	5,00	-10,59	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-76,23
Lantai - 2	M-2F-1	1.800	13,47	-27,68	-14,21	5,00	-9,21	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-74,85
	M-2F-2	1.800	13,47	-28,15	-14,68	5,00	-9,68	-37,54	Moderately Open	-30,00	-67,54	-77,22
	M-2F-3	1.800	13,47	-27,54	-14,07	5,00	-9,07	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-74,71
	M-2F-4	1.800	13,47	-28,17	-14,70	5,00	-9,70	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-75,34
	M-2F-5	1.800	13,47	-24,93	-11,46	5,00	-6,46	-37,54	Low	-33,10	-70,64	-77,10

4.2 Penerapan Antena MIMO

Dalam rancangan penempatan *antena MIMO (Multi Input Multi Output)* pada posisi yang sama dengan Sistem Antena SISO dan dengan jumlah antena MIMO yang akan ditempatkan sama dengan eksisting lantai 1 adalah 15 (lima belas) antena dan lantai 2 adalah 5 (lima) antena. Dalam perencanaannya memerlukan beberapa perangkat untuk merencanakan *DAS MIMO* dengan tetap menggunakan *DAS SISO* dimana perbedaan penerapan menambahkan *MU (Main Unit)* dan *SU (Service Unit)* dengan detail yang ditunjukkan pada table 3.

Tabel 3 Perangkat *DAS MIMO*

No.	Perangkat	Jumlah	No.	Perangkat	Jumlah
1.	Radio Unit	2 Unit	8.	Main Unit	3 Unit
2.	Antena MIMO	20 Unit	9.	Service Unit	3 Unit
3.	Spliter 2 W	2 Unit	10.	Kabel Jumper (3 meter)	2 buah (dan konektor)
4.	Spliter 3 W	3 Unit	11.	Kabel 1 ¹ / ₄ "	1.717,38 meter
5.	Spliter 4 W	7 Unit	12.	Kabel 7 ⁷ / ₈ "	739,73 meter
6.	Tapper 2 W	3 Unit	13.	Kabel 1/2 "	55,31 meter
7.	MCM 4 W	3 Unit	14.	Konektor	72 buah

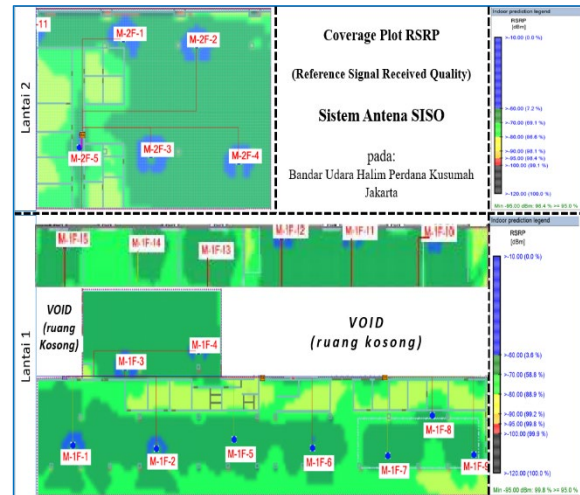
Untuk perhitungan selengkapnya pada keseluruhan Link Budget pada penerapan Sistem Antena MIMO dapat dilihat pada table 4.

Tabel 4 Perhitungan *Link Budget* perencanaan sistem antena MIMO

Portion	Antena	Frequency	Power e _{NodeB}	Loss Installation Network	Input Antena SISO	Antena MIMO Gain	Antena SISO	EIRP	Propagation Loss (PL)	IBLM					Total Air Loss	Predicted MS Received Level (RSRP)	
										Loss	Type Environment	Loss		Loss			dBm
												dB	dB				
Lantai - 1	M-1F-1	1.800	13,47	-31,57	-18,10	5,00	-13,10	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-78,74					
	M-1F-2	1.800	13,47	-31,93	-18,46	5,00	-13,46	-37,54	Moderately Open	-30,00	-67,54	-81,01					
	M-1F-3	1.800	13,47	-31,30	-17,83	5,00	-12,83	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-78,47					
	M-1F-4	1.800	13,47	-32,02	-18,55	5,00	-13,55	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-79,19					
	M-1F-5	1.800	13,47	-31,72	-18,25	5,00	-13,25	-37,54	Low	-33,10	-70,64	-83,90					
	M-1F-6	1.800	13,47	-31,49	-18,02	5,00	-13,02	-37,54	Moderately Open	-30,00	-67,54	-80,56					
	M-1F-7	1.800	13,47	-31,79	-18,32	5,00	-13,32	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-78,96					
	M-1F-8	1.800	13,47	-31,56	-18,09	5,00	-13,09	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-78,73					
	M-1F-9	1.800	13,47	-32,14	-18,67	5,00	-13,67	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-79,32					
	M-1F-10	1.800	13,47	-31,42	-17,95	5,00	-12,95	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-78,59					
	M-1F-11	1.800	13,47	-32,54	-19,07	5,00	-14,07	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-79,71					
	M-1F-12	1.800	13,47	-31,45	-17,98	5,00	-12,98	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-78,62					
	M-1F-13	1.800	13,47	-31,72	-18,25	5,00	-13,25	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-78,89					
	M-1F-14	1.800	13,47	-32,02	-18,55	5,00	-13,55	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-79,19					
	M-1F-15	1.800	13,47	-32,36	-18,89	5,00	-13,89	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-79,54					
Lantai - 2	M-1F-1	1.800	13,47	-31,57	-18,10	5,00	-13,10	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-78,74					
	M-1F-2	1.800	13,47	-31,93	-18,46	5,00	-13,46	-37,54	Moderately Open	-30,00	-67,54	-81,01					
	M-1F-3	1.800	13,47	-31,30	-17,83	5,00	-12,83	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-78,47					
	M-1F-4	1.800	13,47	-32,02	-18,55	5,00	-13,55	-37,54	Open	-28,10	-65,64	-79,19					
	M-1F-5	1.800	13,47	-31,72	-18,25	5,00	-13,25	-37,54	Low	-33,10	-70,64	-83,90					

4.3 Prediksi RSRP *IB-Wave* Desain Tools

Perhitungan *Link Budget* untuk *RSRP* dengan menggunakan *IB-Wave Desain Tools* adalah merupakan perhitungan arlgoritmik/prediksi penyebaran sinyal yang memperhitungkan level daya penerimaan (*RSRP*) dengan memperhitungkan luas cakupan area (*coverage plot*). Berikut ini adalah hasil distribusi kekuatan sinyal (*RSRP*) yang dihitung berdasarkan penetrasi setiap meter persegi mulai dari 0 dBm pada Sistem Antena SISO.

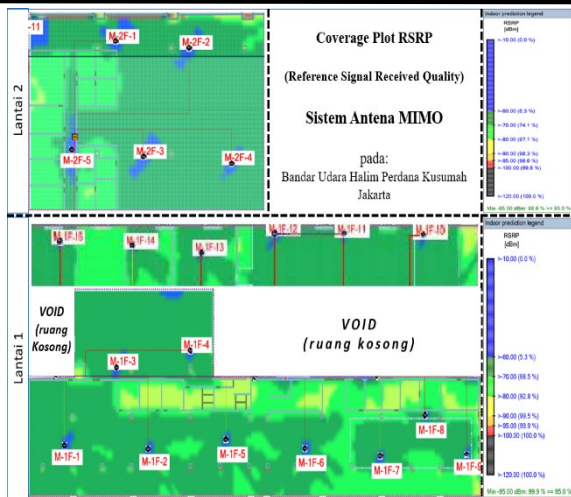


Gambar 6 *Coverage Plot RSRP* sistem antena SISO

Dari hasil perhitungan, tampak terjadi penurunan nilai terhadap desain *DAS MIMO* saat direncanakan pada Sistem Antena SISO. Hal ini disebabkan adanya penambahan Perangkat Aktif *MU* (*Main Unit*) dan *SU* (*Service Unit*) pada perencanaan *DAS* (*Distribution Antena System*) MIMO karena tidak dilakukan penambahan jalur pembagian kanal tambahan langsung dari *Radio Unit* untuk *input* kedua dari Sistem Antena SISO eksisting. Hal ini lebih kepada pertimbangan praktis dan ekonomis terhadap pemasangan jalur baru, walaupun akan ada penambahan perangkat baru yang sewaktu-waktu dapat dipergunakan penguatan/*gain*nya. Sehingga perhitungan pada saat merencanakan penerapan Sistem Antena MIMO 2x2 ini menambahkan rugi-rugi/*loss* di dalam perhitungan, nilai rata-rata adalah 2,95 dBm.

4.4 Hasil Simulasi Antena MIMO Pada Sistem Antena SISO

Setelah menganalisa lebih dalam, didapatkan hasil bahwa penerapan Antena MIMO pada Sistem Antena SISO meningkatkan cakupan sinyal (*RSRP*). Hasil dari *coverage plot RSRP* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7 dari desain tools *IB-Wave* pada Sistem Antena MIMO (*Multi Input Multi Output*), dimana dalam hal ini diambil hanya untuk 15 Antena pada posisi lantai 1 yaitu: Antena 1 (M-1F-01) sampai dengan Antena 15 (M-1F-15) dan 5 Antena pada posisi lantai 2 yaitu: Antena 1 (M-2F-01) sampai dengan Antena 5 (M-2F-05) saja.



Gambar 7 Coverage Plot RSRP sistem antenna MIMO

Selanjutnya dilakukan perhitungan pada penerimaan level sinyal untuk setiap range level penerimaan sinyal (*RSRP*) pada Sistem Antena SISO ditunjukkan pada table 5.

Tabel 5 Simulasi *coverage (RSRP)* desain SISO

Posisi	RSRP (range)	RSRP Sistem Antena SISO (%)	Luas Coverage (m ²)	RSRP _{th} ≥ 95,00 dBm (%)
Lantai 1	0 dBm s.d -60,00 dBm	3,60%	169,19	99,80%
	-60,00 dBm s.d -70,00 dBm	55,20%	2594,30	
	-70,00 dBm s.d -80,00 dBm	30,10%	1414,64	
	-80,00 dBm s.d -90,00 dBm	10,30%	484,08	
	-90,00 dBm s.d -95,00 dBm	0,60%	28,20	
	-95,00 dBm s.d -100,00 dBm	0,10%	4,70	
	-100,00 dBm s.d -120,00 dBm	0,10%	4,70	
Lantai 2	0 dBm s.d -60,00 dBm	7,20%	97,07	98,40%
	-60,00 dBm s.d -70,00 dBm	61,90%	834,52	
	-70,00 dBm s.d -80,00 dBm	17,50%	235,93	
	-80,00 dBm s.d -90,00 dBm	11,50%	155,04	
	-90,00 dBm s.d -95,00 dBm	0,30%	4,04	
	-95,00 dBm s.d -100,00 dBm	0,70%	9,44	
	-100,00 dBm s.d -120,00 dBm	0,90%	12,13	
Total Lantai	0 dBm s.d -60,00 dBm	4,40%	266,11	99,50%
	-60,00 dBm s.d -70,00 dBm	56,70%	3429,20	
	-70,00 dBm s.d -80,00 dBm	27,30%	1651,10	
	-80,00 dBm s.d -90,00 dBm	10,50%	635,04	
	-90,00 dBm s.d -95,00 dBm	0,60%	36,29	
	-95,00 dBm s.d -100,00 dBm	0,20%	12,10	
	-100,00 dBm s.d -120,00 dBm	0,30%	18,14	

Hasil dari *coverage plot RSRP* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7 dari desain tools *IB-Wave* pada Sistem Antena SISO (*Single Input Single Output*), dimana dalam hal ini diambil hanya untuk 15 Antena pada posisi lantai 1 yaitu: Antena 1 (M-1F-01) sampai dengan Antena 15 (M-1F-15) dan 5 Antena pada posisi lantai 2 yaitu: Antena 1 (M-2F-01) sampai dengan Antena 5 (M-2F-05) saja.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap pembagian penerimaan level sinyal untuk setiap range level penerimaan sinyal (*RSRP*) pada Sistem Antena SISO yang ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6 Simulasi *coverage (RSRP)* desain MIMO

Posisi	RSRP (range)	RSRP Sistem Antena SISO (%)	Luas Coverage (m ²)	RSRP _{th} Sistem Antena SISO
Lantai 1	0 dBm s.d -60,00 dBm	5,30%	249,09	99,90%
	-60,00 dBm s.d -70,00 dBm	63,20%	2.970,28	
	-70,00 dBm s.d -80,00 dBm	24,30%	1.142,05	
	-80,00 dBm s.d -90,00 dBm	6,70%	314,89	
	-90,00 dBm s.d -95,00 dBm	0,40%	18,80	
	-95,00 dBm s.d -100,00 dBm	0,10%	4,70	
	-100,00 dBm s.d -120,00 dBm	0,00%	0,00	
Lantai 2	0 dBm s.d -60,00 dBm	6,30%	84,93	98,60%
	-60,00 dBm s.d -70,00 dBm	67,80%	914,06	
	-70,00 dBm s.d -80,00 dBm	23,00%	310,08	
	-80,00 dBm s.d -90,00 dBm	1,20%	16,18	
	-90,00 dBm s.d -95,00 dBm	0,30%	4,04	
	-95,00 dBm s.d -100,00 dBm	1,20%	16,18	
	-100,00 dBm s.d -120,00 dBm	0,20%	2,70	
Total Lantai	0 dBm s.d -60,00 dBm	5,30%	332,64	99,60%
	-60,00 dBm s.d -70,00 dBm	64,20%	3.882,80	
	-70,00 dBm s.d -80,00 dBm	24,00%	1.451,52	
	-80,00 dBm s.d -90,00 dBm	5,60%	338,69	
	-90,00 dBm s.d -95,00 dBm	0,30%	18,14	
	-95,00 dBm s.d -100,00 dBm	0,30%	18,14	
	-100,00 dBm s.d -120,00 dBm	0,10%	6,05	

4.5 Hasil Pengukuran RSRP

Setelah penerapan Antena MIMO pada Sistem Antena SISO, nilai RSRP sudah melampaui batas ambang yang ditentukan / *threshold* adalah ($RSRP_{th}$) $\geq 95\%$ di level - 95 dBm pada lantai 1 sebesar **99,90%**, sedangkan pada lantai 2 sebesar **98,60%** dan pada total keseluruhan lantai dihasilkan sebesar **99,60%**.

Dari hasil tersebut maka perencanaan tersebut **dapat diterima** karena sudah memenuhi standarisasi batas ambang yang ditentukan/ *threshold* ($RSRP_{th}$) yang dimiliki oleh operator.

Dari hasil pengujian terjadi peningkatan RSRP sebesar 8,6% pada keseluruhan lantai yaitu dari level 0.00 dBm s.d -70.00 dBm. Untuk lebih detailnya ditunjukkan pada detail tabel 7.

Tabel 7 Hasil pengujian nilai RSRP

Posisi	RSRP (range)	RSRP Sistem SISO (%)	Luas pada Sistem SISO (m ²)	RSRP Sistem MIMO (%)	Luas pada Sistem MIMO (m ²)	Selisih Margo (%)	RSRP _{th} Sistem SISO	RSRP _{th} SISTEM MIMO
Lantai 1	0 dBm s.d -60,00 dBm	3,60%	169,19	5,30%	249,09	1,70%	99,90%	99,90%
	-60,00 dBm s.d -70,00 dBm	55,20%	2594,30	63,20%	2970,28	8,00%		
	-70,00 dBm s.d -80,00 dBm	30,10%	1414,64	24,30%	1142,05	-5,80%		
	-80,00 dBm s.d -90,00 dBm	10,30%	484,08	6,70%	314,89	-3,60%		
	-90,00 dBm s.d -95,00 dBm	0,60%	28,20	0,40%	18,80	-0,20%		
	-95,00 dBm s.d -100,00 dBm	0,10%	4,70	0,10%	4,70	0,00%		
	-100,00 dBm s.d -120,00 dBm	0,10%	4,70	0,00%	0,00	-0,10%		
Lantai 2	TOTAL (SUM)	100%	4.693,81	100,00%	4.693,81	0,00%	RSRP _{th} ≥ 95,00 dBm sebesar ≥ 95%	
	0 dBm s.d -60,00 dBm	7,20%	97,07	6,30%	84,93	-0,90%		
	-60,00 dBm s.d -70,00 dBm	61,90%	834,52	67,80%	914,06	7,90%		
	-70,00 dBm s.d -80,00 dBm	17,50%	235,93	23,00%	310,08	5,50%		
	-80,00 dBm s.d -90,00 dBm	11,50%	155,04	1,20%	16,18	-10,30%		
	-90,00 dBm s.d -95,00 dBm	0,30%	4,04	0,30%	4,04	0,00%		
	-95,00 dBm s.d -100,00 dBm	0,70%	9,44	1,20%	16,18	0,50%		
Total Lantai	-100,00 dBm s.d -120,00 dBm	0,90%	12,13	0,20%	2,70	-0,70%	RSRP _{th} ≥ 95,00 dBm sebesar ≥ 95%	
	TOTAL (SUM)	100%	1.248,17	100,00%	1.248,17	0,00%		
	0 dBm s.d -60,00 dBm	4,40%	266,11	5,30%	332,64	1,10%		
	-60,00 dBm s.d -70,00 dBm	56,70%	3.429,20	64,20%	3.882,80	7,50%		
	-70,00 dBm s.d -80,00 dBm	27,30%	1.651,10	24,00%	1.451,52	-3,30%		
	-80,00 dBm s.d -90,00 dBm	10,50%	635,04	5,60%	338,69	-4,90%		
	-90,00 dBm s.d -95,00 dBm	0,60%	36,29	0,30%	18,14	-3,30%		
Total Lantai	-95,00 dBm s.d -100,00 dBm	0,20%	12,10	0,30%	18,14	0,10%	RSRP _{th} ≥ 95,00 dBm sebesar ≥ 95%	
	-100,00 dBm s.d -120,00 dBm	0,30%	18,14	0,10%	6,05	-0,20%		
	TOTAL (SUM)	100%	6.047,98	100,00%	6.047,98	0,00%		

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik suatu simpulan sebagai berikut:

1. Perencanaan Penerapan Antena MIMO (2x2) pada Sistem Antena SISO, daya yang diterima secara keseluruhan sebesar 99,60% yang mana sudah melampaui batas ambang yang ditentukan / threshold ($RSRP_{th}$) $\geq 95\%$ di level - 95 dBm
2. Berdasarkan hasil pengujian luas area cakupan/coverage mengalami peningkatan sebesar 8,6% secara keseluruhan

DAFTAR REFERENSI

- Abrianto, H. Heru, and Irmayani H. Mukdien. 2022. "Disain Antena Mikrostrip Array Tiga Band Untuk Aplikasi WiFi Dan WiMax." *Teknik: Jurnal Ilmu Teknik Dan Informatika* 2 (1): 23–30. <https://doi.org/10.51903/teknik.v2i1.105>.
- Abrianto, H. Heru, and I. Irmayani. 2023. "Disain Antena Mikrostrip Antena Segiempat MIMO 4X4 Untuk Aplikasi WIFI Dan WIMAX." *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia* 8 (1): 651–64. <http://dx.doi.org/10.36418/syntax-literate.v8i1.11262>.
- Irmayani, I., Anggraini, A. 2023. "Peningkatan QoS Layanan Video Call Dengan Metode DASTFBC Sistem MIMO2x2 Pada Jaringan LTE." *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi* 33 (4): 1–15. <https://doi.org/10.37277/stch.v33i4.1802>.
- Budiono, Fahrizal Lukman. (2013). Persepsi dan Harapan Pengguna terhadap Kualitas Layanan Data pada Smartphone di Jakarta. *Buletin Pos Dan Telekomunikasi*, 11(2), 93–108.
- Arius, Dony, 2020, Komunikasi data, Penerbit Andi.
- Rahmania, Luthfia, 2019, Modul Praktikum Antena Mikrostrip Circular Patch Pada Frekuensi 3GHz. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Ahmadi, Candra. (2015). Analisis Kapasitas Kanal terhadap Jumlah Antena Pada Sistem MIMO (Multiple Input Multiple Output). *Sisfotenika*, 5(1), 37–48.
- Kustiawan, Usep. (2016). Pengembangan media pembelajaran anak usia dini. Penerbit Gunung Samudera [Grup Penerbit PT Book Mart Indonesia].
- Hidayat, Arif. (2019). Misteri Satelit di Luar Angkasa.
- Syawaludin, Abdul. (2016). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Linier Array 4 Element Dengan Pencatutan Proximity Coupling Frekuensi 1, 5GHz–1, 6GHz Pada Aplikasi Mobile Satellite. Universitas Negeri Jakarta.
- Rahmadyanto, Heri. (2009). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Slot Triangular Array 8 Elemen dengan Pencatutan Microstrip Feed Line Secara Tidak Langsung untuk Aplikasi CPE Wimax. Skripsi Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik. Jakarta: Universitas Indonesia (UI).
- Stefania Sesia (ST-Ericsson France), Issam Toufik (ETSI, France) and Matthew Baker (Alcatel-Lucent, UK) (2011). LTE –The UMTS Long Term Evolution, from theory to practice, Second Edition, included Release 10 for LTE Advanced, by A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- 3GPP, <https://www.3gpp.org/specifications-technologies>
- Cox, Christopher, 2014. "Introduction of LTE 2nd Edition", UK
- I. Szini, A. (Department of Electronic Systems, Faculty of Engineering and Science, Aalborg University, Denmark), Scannavini (Motorola Mobility Inc. Libertyville USA), and L.J. Foged (SATIMO, Pomezia, Italy), 2014, MIMO 2X2 Reference Antennas Concept (Antennas, Propagation and Radio Networking).
- Ardianto, Fajar Wahyu, Mufti, Nachwan, & Syihabuddin, Budi. (2018). Analisis Simulasi Antena MIMO 4x4 Susunan Persegi dan Sirkular pada Frekuensi 15 GHz. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 7(2), 174–182.
- C.J. Reddy and Gopinath Gampala, 2016, Design of millimeter wave antenna arrays for 5G cellular applications using FEKO Conference: 2016 IEEE/ACES International Conference on Wireless Information Technology and Systems (ICWITS) and Applied Computational Electromagnetics(ACES). DOI:[10.1109/ROPACES.2016.7465426](https://doi.org/10.1109/ROPACES.2016.7465426)

Bhagya R dan A. G. Ananth, (ISSN: 2231-2307, Volume-2, Issue-3, July 2012)
Study Of Transmission Characteristics Of
2x2 Mimo System for OFDM
Multiplexing and BPSK Modulation With
ZF Equalizer And MMSE Receivers, in
International Journal of Soft Computing
and Engineering (IJSCE).
Schematic Diagram LTE Design Menara
Prima Building, XL – QDC Technologies,
Horizontal Design.
Schematic Diagram LTE Design Menara
Prima Building, XL – QDC Technologies,
Diagram Terintegrasi.