

DESAIN DAN REALISASI ANTENA ARRAY 2 x 2 MIKROSTRIP REKTANGULAR DENGAN METODE U SLOT UNTUK RADAR FMCW X-BAND SEBAGAI DETEKSI PARU-PARU

DESIGN AND REALIZATION OF ANTENNA ARRAY 2 x 2 REKTANGULAR MICROSTRIP USING U SLOT METHOD FOR FMCW X-BAND RADAR AS LUNG DETECTION

Mohamad Dzulfiqar Amrullah¹, Levy Olivia Nur², Yussi Perdana Saputera³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

mdzulfiqaramrullah@student.telkomuniversity.ac.id¹, levyolivia@telkomuniversity.ac.id², yussips@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) merupakan salah satu pandemic yang terjadi di Indonesia. Maka dari itu scan menggunakan rentogen maupun *X-rays* dapat memperlihatkan hasil dari kondisi paru yang mengalami Covid-19. Radar berbasis teknologi FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*) bisa jadi salah satu alat yang digunakan sebagai pendeteksi awal dan dapat menjadi alternative karena radar dapat memancarkan gelombang radio elektro magnetik berdaya rendah. Untuk meningkatkan kinerja antena radar pada penelitian ini dirancang dan direalisasikan antena *array* yang disusun sebanyak 2x2 menggunakan *Microstrip Rektangular*. Perancangan antena dilakukan dalam dua tahap yaitu simulasi yang dilakukan perancangan berupa desain antena untuk satu elemen lalu elemen tersebut didesain menjadi antena *array* 2 x 2 dan fabrikasi. Setelah fabrikasi selanjutnya antena yang telah dirancang diuji untuk mengetahui kinerja antena tersebut. Antena *array* 2 x 2 hasil realisasi pada penelitian ini bekerja pada frekuensi 10 GHz (S-Band) dengan pola radiasi *unidirectional*, dengan nilai *return loss* sebesar -21,635 dB, nilai VSWR 1,181, *Gain* 11,2 dBi dan *bandwidth* 88,44 MHz.

Kata kunci : Antena susunan, *mikrostrip rektangular*, *Array*, *radar FMCW*.

Abstract

Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) is one of the pandemics that occurred in Indonesia. Therefore, scans using roentogens or *X-rays* can show the results of lung conditions that have Covid-19. Radar based on FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*) technology can be one of the tools used as early detection and can be an alternative because the radar can emit low-power electromagnetic radio waves. To improve the performance of the radar antenna in this study, an antenna array that was arranged in 2x2 was designed and realized using *Rectangular Microstrip*. The design of the antenna is carried out in two stages, namely simulation which is carried out in the form of antenna design for one element and then the element is designed into a 2x2 antenna array and fabrication. After manufacturing, the antenna that has been designed is tested to determine the performance of the antenna. The realized 2x2 antenna array in this study works at a frequency of 10 GHz (S-Band) with a *unidirectional* radiation pattern, with a return loss value of -21.635 dB, a VSWR value of 1.181, a gain of 11.2 dBi and a bandwidth of 88.44 MHz.

Keywords: Key words : *Array antenna*, *rectangular microstrip*, *Array*, *FMCW radar*.

1. Pendahuluan

World Health Organization (WHO) menetapkan bahwa virus corona sebagai pandemi pada 11 Maret 2020 karena penyebaran yang sangat cepat. Penyakit ini awalnya merupakan virus corona baru (2019nCoV) pada tahun 2019, namun sifatnya sementara. Kemudian, pada 11 Februari 2020, WHO mengumumkan nama baru, *Coronavirus Disease (COVID19)*, yang disebabkan oleh *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARSCoV2)*, yang menyebabkan sindrom pernapasan akut parah [2]. Salah satu gejala yang muncul ketika seseorang terinfeksi virus SARSCoV2 adalah terjadinya kerusakan yang mempengaruhi saluran pernapasan dan menyebabkan peradangan di daerah yang terinfeksi. Dengan infeksi Covid-19, peradangan

dapat terjadi di semua saluran udara, mulai dari tenggorokan hingga alveoli [6]. Peradangan juga menyebabkan paru-paru membesar dan terisi cairan, dan perubahan ini terlihat saat seseorang yang terpapar Covid-19 diperiksa dengan rontgen dada. Pada orang dengan infeksi ringan, perubahan yang terlihat pada rontgen tidak jauh berbeda dengan yang terlihat pada paru-paru normal [7]. Di sisi lain, pada pasien dengan infeksi berat, radiografi dada jelas tidak normal. Paru-paru normal berwarna hitam atau gelap pada *X-rays*. Di sisi lain, ketika paru-paru mulai terlihat putih, itu menandakan bahwa paru-paru mulai tertutup cairan dan kerusakan lainnya. Ini juga membuat perbedaan jika pasien dideteksi menggunakan *X-rays*, yang menghasilkan warna radiasi yang berbeda. Oleh karena itu scan menggunakan *X-rays*, dan rontgen dapat mengungkapkan kondisi paru-paru yang dapat dijadikan patokan untuk menemukan gejala Covid19 [3].

Radar berbasis teknologi FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*) bisa jadi salah satu alat yang digunakan sebagai pendeteksi awal dan dapat menjadi alternatif karena radar dapat memancarkan gelombang radio elektro magnetik berdaya rendah, sehingga dapat mengetahui tingkat kebasahan paru-paru dari pasien dan dapat mengetahui bahwa pasien sudah mempunyai gejala penyakit Covid-19. Untuk meningkatkan kinerja antenna radar pada penelitian ini dirancang dan direalisasikan antenna *array* yang disusun sebanyak 2x2 menggunakan *Microstrip Rektanguler*. Antena yang dirancang dengan menggunakan *software* perancang antenna.

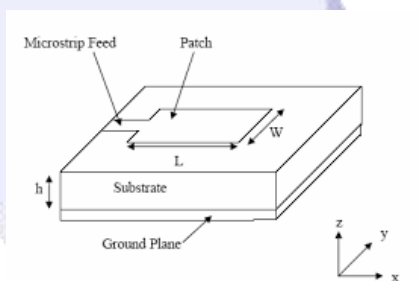
Perancangan antenna dilakukan dalam dua tahap yaitu simulasi yang dilakukan perancangan berupa desain antenna untuk satu elemen lalu elemen tersebut didesain menjadi antenna *array* 2x2 dan fabrikasi. Setelah fabrikasi selanjutnya antenna yang telah dirancang diuji untuk mengetahui kinerja antenna tersebut. Antena *array* 2x2 dirancang dengan $gain \geq 7$ dBi, Jangkauan elevasi 90° , *beamwidth* horizontal 3° , dan *beamwidth* vertikal 25° . Hasil simulasi antenna yang beroperasi pada pita X dengan frekuensi 9,25 sd 10,75 GHz.

2. Dasar Teori

2.1 Antena

Antena merupakan suatu alat yang dapat menguuh besaran listrik dari saluran transmisi menjadi suatu gelombang eletromagnetika untuk diradiasikan ke udara bebas [9]. Sebaliknya antenna juga dapat menangkap gelombang eletromagnetika dari udara bebas untuk kemudian dijadikan besaran listrik kembali melalui saluran transmisi. Atau dengan kata lain, antenna adalah suatu transformator antara gelombang terbimbing dengan gelombang bebas dan sebaliknya. Perkembangan antenna saat ini sangat pesat, ada yang sudah jadi dan ada jenis yang berbeda-beda. Digunakan saat dibutuhkan. Ini termasuk bukaan antenna, antenna kawat, antenna *array*, antenna tanduk, antenna mikrostrip, dan antenna reflektor. Jenis antenna yang disebutkan di atas juga dapat dikembangkan dan dimodifikasi untuk memaksimalkan kinerja antenna[9]. Misalnya, antenna MIMO, antenna yang dapat dikonfigurasi ulang, antenna pintar, dll. Untuk merancang antenna dengan spesifikasi yang diinginkan, Anda harus menggunakan parameternya. Parameter antenna yang diperlukan meliputi orientasi, pola radiasi, *bandwidth*, *gain*, VSWR, polarisasi antenna, kehilangan refleksi dan impedansi.

2.2 Antena Microstrip



Gambar 3 Struktur antenna mikrostrip

Kata *mikrostrip* berarti dua kata. Micro berarti kecil dan strip berarti chip. Oleh karena itu, antenna *mikrostrip* didefinisikan sebagai antenna kecil berbentuk chip. Antena mikrostrip adalah jenis antenna berbentuk panel tipis yang dapat beroperasi pada frekuensi yang sangat tinggi. Pada antenna *mikrostrip* terdiri dari 3 bagian yaitu *patch*, *ground plane*, dan *substrate*. *Patch* terletak diatas *substrate*, dan *ground plane* terletak dipaling bawah. Di samping ini merupakan ilustrasi struktur antenna *mikrostrip*.

2.3 Pencatuan Feeding

Feeding adalah saluran yang digunakan untuk memasok energi dari sumber ke antenna. Ada beberapa metode atau jenis saluran yang dapat digunakan untuk memberi daya pada antenna

mikrostrip, seperti daya kopling elektromagnetik, daya saluran *mikrostrip*, dan daya probe koaksial.

2.4 Antena Array

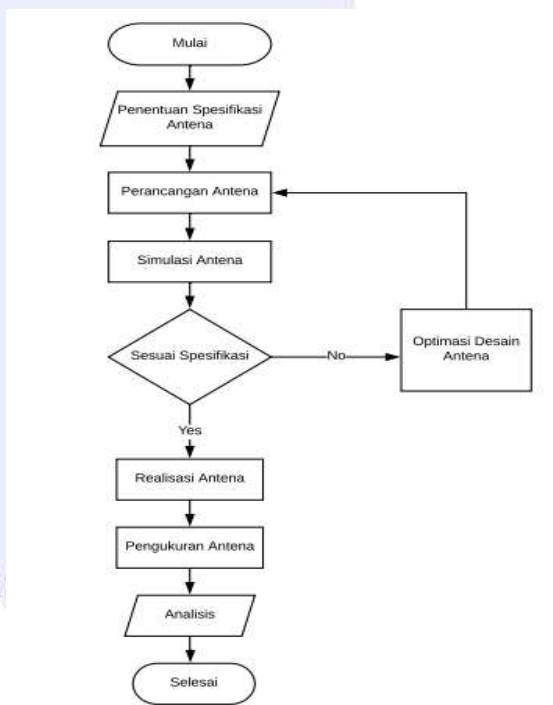
Antena *array* merupakan antena yang terdiri dari sejumlah elemen peradiasi yang digabungkan dengan tujuan untuk mendapatkan *gain* yang lebih tinggi dan pola radiasi atau HPBW yang lebih sempit. Nilai pola medan dari antena *array* adalah perkalian silang dari pola medan elemen dengan *array factor* nya. Antena *array* tersedia dalam beberapa pengaturan, termasuk linier, datar, dan melingkar. *Array* linier adalah jenis antena *array* yang disusun dalam garis lurus, *array* datar adalah *array* antena yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk daerah persegi panjang, dan antena *array* melingkar adalah *array* yang disusun dalam lingkaran. Setiap jenis memiliki kekuatan dan kelemahannya. Misalnya, *array* linier memiliki keunggulan karena desainnya yang sederhana dan mudah, sedangkan *array* datar memiliki keuntungan karena dapat menyesuaikan orientasi antena dan pola radiasi.

2.5 Radar

Radar (*Radio Detection and Ranging*) adalah alat yang digunakan untuk mengukur objek, mengukur jarak, dan mendeteksi sistem crash. Prinsip pengoperasian radar adalah bekerja pada arah tertentu dan memancarkan gelombang elektromagnetik. Benda-benda di jalur itu kemudian memantulkan gelombang. Dari pantulan, sinyal yang diterima relatif lemah karena redaman, tetapi masih dapat diterima dan diperkuat oleh amplifier radar. *Radar Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW) berbeda dari radar pulsa karena sinyal elektromagnetik dikirim untuk transmisi. Frekuensi sinyal radar FMCW berubah seiring waktu. Biasanya dipindai dengan *bandwidth* tertentu. Frekuensi yang ditransmisikan dan diterima adalah perbedaan antara dua sinyal campuran, yang merupakan sinyal baru yang digunakan untuk mengukur jarak atau kecepatan. Radar FMCW biasanya memancarkan sinyal frekuensi radio dengan frekuensi pemindaian linier.

3. Perancangan dan simulasi

3.1 Diagram Alir



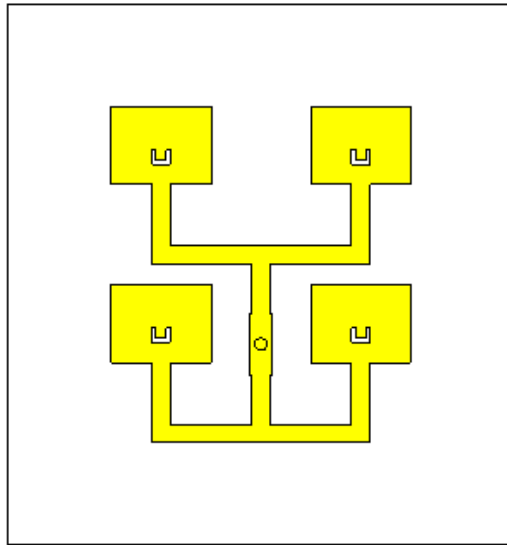
Penelitian tugas akhir ini dimulai diagram alirnya seperti terlihat pada gambar 3.1 dengan penentuan spesifikasi antena array yang digunakan. Setelah itu dilakukan perancangan melalui software. Antena mikrostrip hasil rancangan pertama belum mencapai target parameter-parameter yang diinginkan sesuai spesifikasi, kemudian dilakukan proses optimasi untuk mengoptimalkan nilai parameter yang diinginkan. Setelah target antena heliks tercapai, dilanjutkan dengan merancang jumlah array antena. Setelah didapatkan hasil perhitungan antena heliks dirancang dengan susunan 2x2 dan dilakukan simulasi serta optimasi hasil perancangan. Sampai mendapatkan nilai parameter frekuensi, *return loss*, VSWR, *bandwidth*, dan *gain* sesuai dengan spesifikasi awal. Setelah hasil simulasi sudah mencapai hasil yang diinginkan, antena mikrostrip direalisasikan dan diukur untuk mendapatkan nilai-nilai spesifikasinya. Hasil pengukuran akan dianalisis dan dibandingkan dengan hasil simulasi pada *software* perancang antena.

Gambar 3 Diagram alir

3.2 Perangkat Yang Digunakan

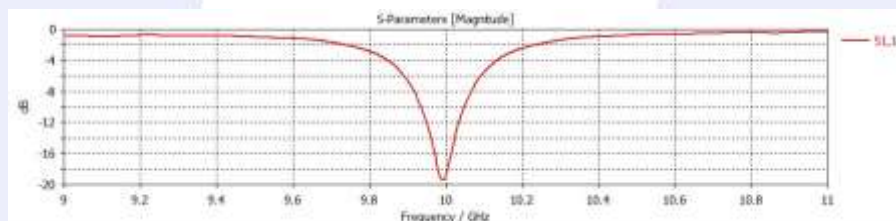
1. Antenna dengan spesifikasi antenna *array* 2x2 dengan U slot, frekuensi 10 GHz, $VSWR \leq 2$, pola radiasi *unidireksional*, polarisasi Linier, $gain \geq 7$ dBi, impedansi 50Ω , $bandwidth \geq 60$ MHz, jangkauan Elevasi 90 degree, $beamwidth$ horisontal 3 degree, $eamwidth$ vertikal 25 degree.
2. Komputer.
3. Perangkat pendukung berupa : Kabel *USB to Serial* RS-232, Paralon sebagai tiang penyangga antenna dan antenna setinggi $0,8$ meter dan $1,2$ meter, Alat ukur seperti penggaris dan meteran.

3.3 Simulasi Antena *array* 2x2 dengan U slot



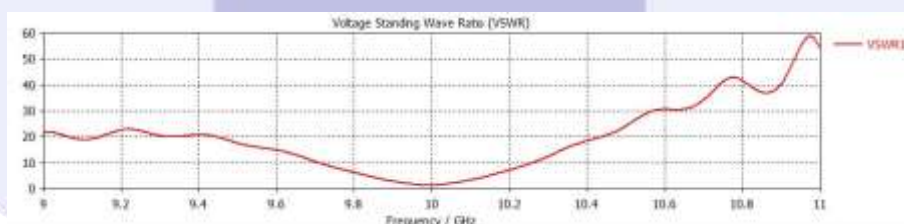
Setelah mendapatkan layout antenna yang maksimal barulah running simulasi untuk mendapatkan nilai parameter untuk setelahnya dilakukan pabrikan jika hasilnya memenuhi spesifikasi. Berikut hasil Simulasi *VSWR*, *Return Loss*, *Bandwidth*, *Gain*, Polaradiasi dan Polarisasi nya.

Gambar 3.2 Desain antenna optimum *array* 2x2 dengan U Slot



Gambar 3.3 Return loss antenna rectangular *array* 2x2 dengan u slot setelah optimasi

Pada gambar 3.3 terdapat hasil *return loss* pada antenna *array* 2x2 tanpa u slot yang paling optimum, dengan nilai $-19,52$ dB telah memenuhi kriteria yaitu ≤ -10 dB. *Bandwidth* yang di dapatkan adalah $10,0485$ GHz - $9,9356$ GHz= $112,9$ MHz, itupun sudah memenuhi kriteria yang diinginkan yaitu ≥ 60 MHz.



Gambar 3.4 VSWR antenna rectangular *array* 2x2 dengan u slot setelah optimasi

Pada gambar 3.4 merupakan hasil simulasi VSWR pada 10GHz mendapatkan nilai 1,24 dimana nilai tersebut telah memenuhi syarat kriteria yang dibutuhkan yaitu ≤ 2 .

Tabel 3.1 Hasil simulasi antenna optimum *array* 2 x 2 dengan U slot

No	Keterangan	Nilai
1	<i>Return Loss</i>	-19,52 dB
2	VSWR	1,24
3	<i>Bandwidth</i>	112,9MHz
4	Pola Radiasi	<i>unidirectional</i>
5	<i>Gain</i>	11,2 dBi

4. Hasil Perancangan dan Analisis

4.1 Realisasi dan Fabrikasi antenna

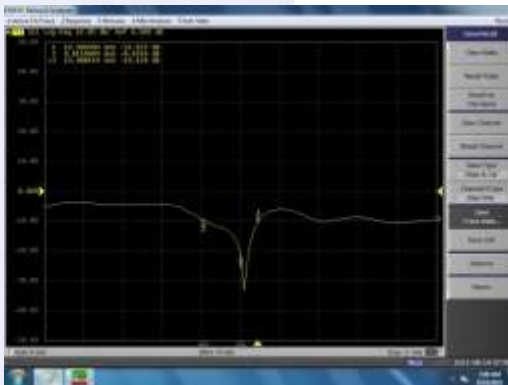
Setelah tahap manufaktur atau fabrikasi selesai dilakukan di Radar Telekomunikasi Indonesia (RTI) Bandung, kita beralih ke tahap pengukuran antenna mikrostrip *array rectangular* 2x2. Tujuannya adalah untuk menentukan nilai parameter internal dan eksternal antenna. Parameter yang diukur adalah :



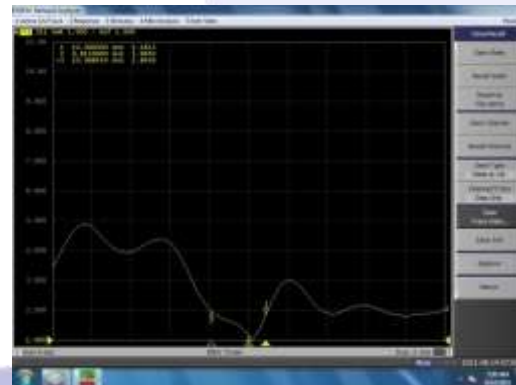
Gambar 4. 1 Realisasi Antena

4.2 Hasil Pengukuran Antena

Dalam proses pengukuran dengan menggunakan Network Analyzer, yang didapat datanya yaitu, *Return Loss*, VSWR, *Bandwidth* dan impedansi masukan. Dengan batas pengamatan frekuensi start 9,25 GHz dan frekuensi stop 10,75 GHz.

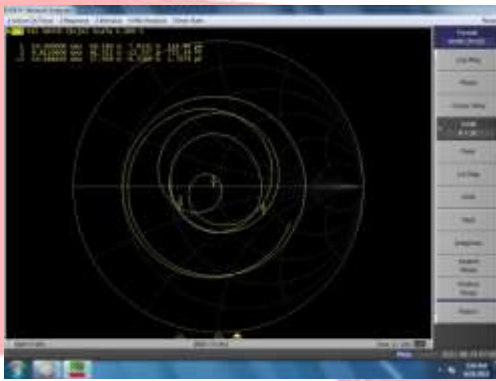


Gambar 4. 2 Hasil pengukuran return loss

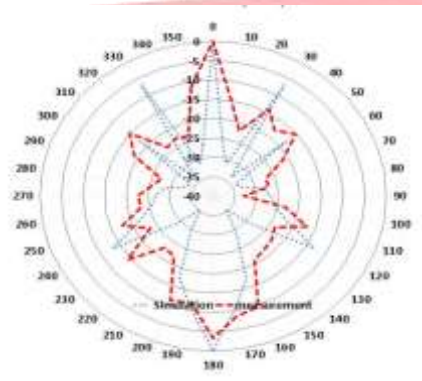


Gambar 4. 3 Hasil pengukuran vswr

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa nilai *return loss* pada frekuensi 10 GHz adalah sebesar -21,635 dB. Nilai ini sudah memenuhi spesifikasi antenna awal, yaitu ≤ -12 dB, nilai ini tidak jauh berbeda dengan yang diperkirakan dalam simulasi yaitu -19,52 dB. Dari gambar 4.3 terlihat bahwa nilai VSWR pada frekuensi 10 GHz adalah sebesar 1,181. Nilai ini sudah memenuhi spesifikasi antenna awal, yaitu ≤ 2 , nilai ini tidak jauh berbeda dengan yang diperkirakan dalam simulasi yaitu 1,24.

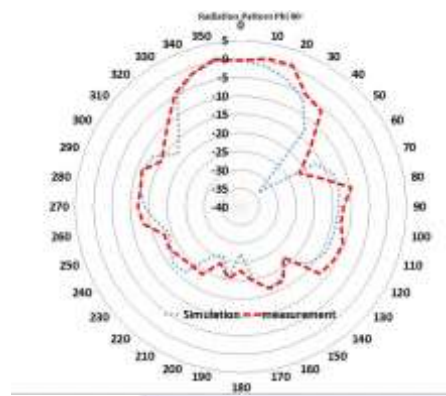
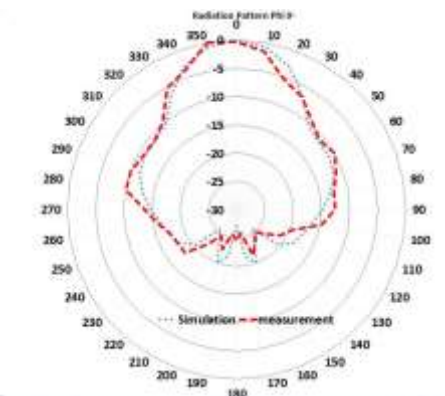


Gambar 4. 4 Hasil pengukuran port 1 nilai impedansi masukan



Gambar 4. 5 Hasil polarisasi simulasi dan pengukuran port 1 vertikal

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai impedansi masukan antenna adalah 91,311 Ω , Nilai yang didapatkan ini jauh dari spesifikasi yaitu impedansi masukan bernilai 50 Ω . Pada gambar 4.5 polarisasi linier axial rasio-nya adalah $1 < AR < \infty$, sedangkan axial rasio untuk polarisasi sirkular sama dengan 1 dan axial rasio untuk polarisasi linier sama dengan ∞ . Antena yang telah direalisasikan memiliki axial ratio di port 1 = 44,06526492 dimana port menghasilkan polarisasi vertical.



Gambar 4. 6 Pola radiasi patch microstrip rectangular (a) azimuth (b) elevasi

Gambar 4.12 menunjukkan pola radiasi secara elevasi dan azimuth pada *array 2 x 2 microstrip rectangular* berdasarkan hasil simulasi. Gambar tersebut menunjukkan bahwa ketika antenna digandakan menjadi *array 2 x 2 microstrip rectangular* tidak menyebabkan perubahan pada pola radiasi jika dilihat baik secara elevasi maupun azimuth. Antena *array 2 x 2 microstrip rectangular* pada arah elevasi arah maksimum pancaran mengarah pada sudut 350° sampai 20°, sedangkan pada arah azimuth pancaran maksimumnya mengarah pada sudut 350° atau 0°. Berdasarkan data-data tersebut pola radiasi antenna *array 2 x 2 microstrip rectangular* baik secara elevasi maupun azimuth untuk *patch* segitiga memiliki arah radiasi unidireksional, hal ini dikarenakan arah radiasi antenna dominan mengarah ke sisi atas.

Dalam perhitungan kali ini saya menggunakan perhitungan perbandingan, dengan antenna referensi *microstrip* dan di lakukan prosedur pengukuran. Pada proses pengukuran data yang di ambil pada frekuensi 10 GHz. Perubahan nilai *gain* rata-rata dari *microstrip rectangular 2x2* dapat dilihat pada tabel 4.6. dan mendapatkan hasil *gain* bernilai 11.2 dBi

Tabel 4.1 Hasil pengukuran gain

Pengukuran	Antena			
	AUT		Referensi	
	(-dBm)	(dBm)	(-dBm)	(dBm)
1	32,77	-32,77	35,03	-33,78
2	32,75	-32,75	35,05	-33,88
3	32,55	-32,55	34,76	-33,63
4	32,69	-32,69	34,9	-33,75
5	33,84	-33,84	35,03	-33,83
6	33,66	-33,66	35,82	-33,67
7	32,75	-32,75	35,04	-33,86
8	32,61	-32,61	35,2	-33,97
9	32,58	-32,58	35	-33,82
10	32,71	-32,71	35,12	-33,94
Rata-rata	32,891	-32,891	35,095	-35,095

Kali ini merupakan perbandingan hasil dari spesifikasi awal, simulasi dan pengukuran secara langsung menggunakan antenna terdapat pada table 4.2.

No	Keterangan	Spesifikasi awal	Simulasi	Pengukuran menggunakan antenna
1	<i>Return Loss</i>	-12 dB	-19,52 dB	-21,635 dB
2	VSWR	≤ 2	1,24	1,181
3	<i>Bandwidth</i>	≥ 60 MHz	112,9 MHz	88,44 MHz
4	Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>	<i>Unidirectional</i>	<i>Unidirectional</i>
5	<i>Gain</i>	≥ 7 dBi	11 dBi	11,2 dBi

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah penulis lakukan dengan perangkat lunak simulasi antenna mengenai antenna *microstrip* rectangular *array* 2x2 pada frekuensi 10 GHz, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tercapainya semua parameter spesifikasi antenna awal pada saat realisasi, seperti *Return Loss* = -21,635 dB, VSWR = 1,181, *Bandwidth* = 88,44 MHz, *Gain* = 11,2 dBi sehingga berhasil menghasilkan dual polarisasi pada antenna *microstrip rectangular array* 2 x 2 dengan U slot, dan berhasil memenuhi spesifikasi antenna untuk radar FMCW X-BAND.
2. Berhasil mendapatkan hasil parameter antenna yang optimum untuk frekuensi kerja X-BAND pada 10 GHz sehingga memenuhi spesifikasi penggunaan antenna radar FMCW pada frekuensi X-BAND.
3. Dimensi antenna sangat mempengaruhi hasil pada parameter antenna, jika terjadi pergeseran pada fabrikasi dapat berakibat pada pergeseran frekuensi dan juga parameter lainnya.
4. Antenna *array* 2x2 *microstrip rectangular* yang dirancang mampu bekerja pada range frekuensi 9,25 GHz -10,75 GHz dengan *return loss* -21,535 dB pada 10 GHz, *bandwidth* 88,44 MHz dan *gain* 11,2 dBi. Dengan demikian, rancangan antenna ini telah memenuhi kebutuhan akan range frekuensi kerja yang diinginkan yaitu pada 10 GHz dengan *return loss* ≤ -10 dB, *bandwidth* ≥ 60 MHz dan *gain* ≥ 7 dBi.
5. Digunakan U slot pada perancangan antenna kali ini bertujuan untuk memperlebar *bandwidth* dan menjadikan antenna menjadi bentuk *array* agar meningkatkan *gain* yang dihasilkan sehingga hasil perhitungan yang didapatkan menjadi lebih optimal..

REFERENSI

- [1] N. Mona, "Konsep Isolasi Dalam Jaringan Sosial Untuk Meminimalisasi Efek Contagious (Kasus Penyebaran Virus Corona Di Indonesia)," *J. Sos. Hum. Terap.*, vol. 2, no. 2, 2020.
- [2] World Health Organization, "Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it," 2020. [Online]. Available: [https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it). [Accessed: 02-Oct-2020].
- [3] A. Praghlapati, "New Normal 'Indonesia' After Covid-19 Pandemic," vol. 2019, pp. 1–6, 2020, doi: 10.31234/osf.io/7snqb.
- [4] World Health Organization, "Pertanyaan jawaban terkait COVID-19 untuk publik," 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/indonesia/news/novel-coronavirus/qa-for-public>. [Accessed: 05-Oct-2020].
- [5] Satuan Tugas Penanganan COVID-19, "Gugus Tugas Percepatan Penanganan COVID-19", 2020. [Online]. Available: <https://covid19.go.id/petasebaran>. [Accessed: 07-Sep-2020].
- [6] World Health Organization, "Coronavirus Disease (COVID-19) Situation Reports," 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>. [Accessed: 06-Oct-2020].
- [7] Perhimpunan Dokter Paru Indonesia and (PDPI), "PNEUMONIA COVID-19 DIAGNOSIS & PENATALAKSANAAN DI INDONESIA", 2020. [Online]. Available: <https://covid19.idionline.org/wp-content/uploads/2020/04/5.-Buku-PDPI-.pdf>. [Accessed: 07-Oct-2020].
- [8] Stutzman, W.L., Thiele, G.A., "Antenna Theory and Design" John Wiley&Sons, Inc., Massachusetts, Ch. 1, 2012.
- [9] Bretchko, P., Ludwig, R., "RF Circuit Design Theory and Applications", Prentice Hall, New Jersey, Ch. 2, 2000.
- [10] Wibowo, S.H., "Desain Antena *Microstrip Patch* Segitiga Fractal Planar pada Frekuensi Pita L untuk Sistem Komunikasi Satelit", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Ch. 2, 2015.
- [11] Garg, R., Bhartia, P., Bahl I., Ittipiboon, A., "*Microstrip* Antenna Design Handbook", Artech House, Inc., Massachusetts, Ch. 1, 2001.