

Rancangan Antena *Microstrip Rectangular Patch* Dengan Tambahan Slot Untuk Aplikasi Antena Cuaca

Muhammad Fauzi Manalu¹, Muh. Wildan², M.Faisal Yoga Dewantara³
¹²³Program Studi Teknik Navigasi Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug
Tangerang, Indonesia

corresponding author(s): fauzimanalu@gmail.com, muh.wildan@ppicurug.ac.id, faisalyoga@ppicurug.ac.id

Abstrak — Indonesia mempunyai wilayah yang luas dengan banyak bandara yang tersebar di seluruh pulau. Untuk mendapatkan informasi kondisi cuaca di sekitar bandara maka pelayanan informasi cuaca yang akurat merupakan hal yang penting untuk berbagai keperluan khususnya dalam bidang penerbangan yang bertujuan untuk memberikan pelayanan keselamatan dan keamanan navigasi penerbangan. Alat pemantauan yang baik dan efektif serta efisien adalah dengan menggunakan radar cuaca. Alat tersebut dapat memantau jenis awan, CH, arah dan kecepatan angin. Jangkauan pemantauan alat ini bisa mencapai 10-150 km dari pusat pengamatan. Antena radar cuaca untuk penerbangan di bandara memiliki dimensi yang bervariasi tergantung pada jenis dan modelnya. Namun, umumnya, antena radar cuaca yang digunakan untuk penerbangan di bandara memiliki diameter yang relatif besar, berkisar dari beberapa meter hingga sekitar puluhan meter. Sebagai opsi alternatif, antena mikrostrip dipilih untuk mengurangi ukuran dan bobot yang besar dari antena konvensional radar cuaca yang saat ini digunakan. Penelitian ini menggunakan metode RnD (*Research and Development*) akan tetapi antena ini dibuat hanya sampai tahap simulasi saja sehingga antena yang dirancang belum sampai tahap fabrikasi dan uji coba. Dalam penelitian ini telah dirancang antena mikrostrip *rectangular patch* dengan penambahan *slot* yang bekerja pada frekuensi 4.2 GHz. Antena ini dirancang menggunakan *Software CST Studio Suite 2021* dengan jenis bahan substrat FR-4. Nilai parameter hasil simulasi yang didapatkan pada frekuensi 4.2 GHz dengan nilai *Return loss* -22,06 dB, *VSWR* 1.17, *Bandwidth* 132.6 MHz, Impedansi 50 Ω serta Gain 4.17 dB. Walaupun hanya sampai tahap simulasi tetapi parameter antena ini sudah sesuai dengan spesifikasi antena radar cuaca

Kata Kunci — radar, cuaca, mikrostrip, rectangular, slot

Abstract — Indonesia has a vast territory with numerous airports scattered across the islands. To obtain weather condition information around the airports, accurate weather information services are crucial for various purposes, especially in aviation, aiming to provide safety and security in flight navigation. A good, effective, and efficient monitoring tool is by using weather radar. This tool can monitor cloud types, cloud height (CH), wind direction, and speed. The monitoring range of this tool can reach from 10 to 150 km from the observation center. Weather radar antennas for airport aviation have varying dimensions depending on their type and model. However, generally, weather radar antennas used for airport aviation have relatively large diameters, ranging from a few meters to around tens of meters. As an alternative option, microstrip antennas are chosen to reduce the large size and weight of conventional weather radar antennas currently in use. By using the Research and Development (R&D) method but only up to the simulation stage, so the designed antenna has not reached the fabrication and testing stage yet. In this study, a rectangular patch microstrip antenna with added slots working at a frequency of 4.2 GHz has been designed. This antenna was designed using CST Studio Suite 2021 software with FR-4 substrate material. The simulation results obtained at a frequency of 4.2 GHz with a Return loss value of -22.06 dB, VSWR of 1.17, Bandwidth of 132.6 MHz, Impedance of 50 Ω , and Gain of 4.17 dB. Although only at the simulation stage, the parameters of this antenna already comply with the specifications of weather radar antennas.

Keywords — radar, weather, microstrip, rectangular, slot

I. PENDAHULUAN

Radar cuaca, sesuai dengan namanya, merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mendeteksi cuaca. Perangkat ini dapat memprediksi curah hujan dan memprediksi jenisnya, seperti salju atau hujan es[1]. Radar cuaca bersentuhan langsung dengan material air sehingga sangat rentan terhadap gangguan atau redaman sinyal. Dari permasalahan tersebut radar cuaca mulai berkembang dari tahun ke tahun untuk meningkatkan kinerjanya. Awalnya radar cuaca dilengkapi dengan antena polarisasi tunggal, namun mode polarisasi ini tidak mampu mengatasi redaman sinyal akibat air hujan. Radar cuaca akhirnya mulai dikembangkan dengan mode polarisasi ganda. Dual polarisasi ini cocok digunakan untuk radar cuaca karena mampu berfungsi menjadi *transmitter receiver* secara bersamaan[2]. Polarisasi ganda artinya dalam satu antena terdapat dua jenis polarisasi, umumnya polarisasi vertikal dan polarisasi horizontal[3].

Polarisasi ganda dapat mengatasi masalah redaman sinyal pada radar cuaca karena sinyal tambahan tersebut dapat menjadi acuan terhadap sinyal yang dilemahkan sehingga kedua sinyal tersebut dapat dibandingkan untuk menghasilkan sinyal yang sesuai dengan keadaan sebenarnya[4].

Sekarang, radar cuaca beralih dari menggunakan frekuensi kerja di rentang *S-band* ke rentang *X-band* karena memiliki keunggulan dimensi yang lebih kecil dan lebih praktis untuk diimplementasikan[1] Penerapan penelitian ini difokuskan pada penerbangan terkhusus untuk bandara perintis dan peringatan dini kondisi cuaca buruk. Perlu untuk mengamati dan melaporkan kondisi cuaca saat ini di *Aerodrome*. Fenomena cuaca yang harus diamati minimal melibatkan hujan, gerimis, salju, dan presipitasi membeku (termasuk petir di sekitar *Aerodrome*)[3] Pada penelitian ini, pengembangan antena mikrostrip dilakukan untuk memenuhi karakteristik antena sebagai radar cuaca sesuai dengan perkembangan yang dialami oleh radar cuaca itu sendiri. Antena mikrostrip yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki polarisasi ganda dan ditargetkan bekerja pada frekuensi *c-band*, tepatnya pada frekuensi 4,2 GHz. Dalam hal ini penulis ingin membuat alat antena untuk aplikasi radar cuaca sebagai alternatif dan inovasi untuk pemberi informasi cuaca. Sistem radar cuaca dapat memanfaatkan frekuensi *C band*, yang sering digunakan dalam komunikasi satelit, sistem radar cuaca, dan sejumlah perangkat *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), dan bahkan dalam sistem pengawasan[5] Sesuai dengan *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), frekuensi *C band* berkisar antara 4 hingga 8 GHz[6]

Antena mikrostrip juga dikembangkan dalam konfigurasi susun sehingga nilai gain antena dapat ditingkatkan. Antena mikrostrip dipilih sebagai variabel utama dalam penelitian ini karena antena mikrostrip cenderung terjangkau, mudah dalam pembuatannya, dan memiliki banyak keunggulan lainnya[7] Antena mikrostrip terdiri dari pelat logam (*patch*) yang sangat tipis yang ditempatkan pada substrat dielektrik dengan dasar logam tertentu (*groundplane*). Permittivitas relatif (ϵ_r) dari bahan substrat dielektrik berbanding terbalik dengan dimensi antena. Dalam penelitian ini, substrat dielektrik yang digunakan adalah FR-4 dengan nilai $\epsilon_r = 4,6$, sehingga antena tidak dimensi yang terlalu kecil untuk diwujudkan karena frekuensi kerjanya yang sangat tinggi.

II. STUDI PUSTAKA

A. Radar Cuaca

Radar adalah kata serapan yang merupakan kependekan dari *radio detection and range*. Secara umum, sistem radar menggunakan bentuk gelombang termodulasi dan antena directional untuk mengirimkan energi gelombang elektromagnetik ke volume tertentu dalam suatu area untuk menemukan target[8] Ada beberapa jenis radar, antara lain *Doppler Radar* yang memanfaatkan efek *Doppler* untuk mengukur laju benda yang memasuki area deteksi radar. Contoh radar *Doppler* adalah radar cuaca yang digunakan untuk mendeteksi kondisi cuaca[9] Salah satu jenis radar yang sering digunakan adalah radar cuaca. Radar cuaca berfungsi untuk mengidentifikasi keberadaan awan atau uap air, serta mendeteksi kondisi cuaca seperti hujan atau salju[10] Untuk aplikasi meteorologi, peralatan radar cuaca biasanya beroperasi pada panjang gelombang 3cm, 5cm, atau 10 cm yang masing-masing berada di *X-band*, *C-band*, dan *S-band*[1] Redaman sinyal meningkat lebih signifikan pada gelombang yang lebih pendek, sehingga cakupan area akan lebih terbatas. Sistem radar cuaca umumnya perangkat *C-band* atau *S-band*, meskipun penggunaan radar *X-band* saat ini semakin meningkat untuk digunakan pada jaringan yang terletak di lokasi berisiko tinggi seperti pegunungan[1] Dengan pemberitahuan awal tentang kondisi cuaca ini, dampak negatif dari situasi cuaca yang tidak menguntungkan dapat dihindari. Pada sistem radar ini, fungsi antena adalah menerima sinyal elektromagnetik yang dipantulkan ketika bersentuhan dengan suatu objek[11] Mayoritas radar cuaca yang terintegrasi di Indonesia menggunakan jalur C (*C-band*) karena pertimbangan terkait perbedaan kebutuhan karakteristik meteorologi dan klimatologi yang cukup signifikan. Misalnya, jalur *C-band* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mendeteksi cuaca, terutama partikel air di dalam awan[12]

B. Antenna

Antena merupakan bagian yang memiliki tugas amat penting didalam sistem transmisi. Perangkat ini adalah bagian dari sistem komunikasi nirkabel yang berfungsi untuk mengirim atau menerima gelombang radio, tergantung pada definisinya. Dengan konsep ini, antena dapat berfungsi sebagai penerima atau pengirim dan berperan sebagai jembatan antara gelombang yang terarah dan gelombang bebas[13] Sebagai perangkat perantara antara saluran transmisi dan udara, antena harus memiliki karakteristik yang sesuai untuk pencatuan *channel*[14] Dengan kata lain tanpa adanya antena, maka tidak ada media nirkabel. Antena memiliki peran dalam mengirimkan atau menerima gelombang elektromagnetik antara media kabel dan udara, baik dalam arah transmisi dari kabel ke udara maupun sebaliknya dari udara ke kabel[15] Secara keseluruhan, antena adalah suatu perangkat yang memiliki kemampuan untuk mengirimkan dan menerima gelombang elektromagnetik. Dapat dijelaskan sebagai transduser karena fungsinya mengubah arus listrik bolak-balik menjadi gelombang elektromagnetik. Selama perjalanannya dari pemancar ke penerima yang jauh, gelombang elektromagnetik mengalami penurunan energi, sehingga ketika diterima oleh penerima, kekuatan sinyalnya menurun. Untuk memastikan penerimaan yang optimal oleh penerima, perlu mempertimbangkan parameter-parameter dasar antena seperti *gain*, pola radiasi, polarisasi, dan *directivity*[7]

C. Microstrip Antenna

Antena mikrostrip, atau yang umumnya dikenal sebagai antena *patch*, adalah salah satu jenis antena yang efektif dalam beroperasi pada rentang frekuensi gelombang mikro, khususnya pada frekuensi >1 GHz[7] Antena mikrostrip dipopulerkan oleh Munson dan Howell et al pada dekade 1970-an[16] Antena mikrostrip tersebut merupakan antena gelombang mikro yang efektif dan umum digunakan sebagai pengirim sinyal dalam berbagai sistem telekomunikasi modern saat ini, termasuk radar, *Global Positioning System (GPS)*, *Personal Communication System (PCS)*, dan *Direct Broadcast Television (DBS)*[17] Desain logam (*patch*) dapat dihasilkan dengan berbagai konfigurasi, contoh desain berbentuk persegi panjang (*rectangular*) lebih umum digunakan karena lebih mudah diproduksi dan dianalisis. Dengan gambaran umum, antena mikrostrip memiliki tiga elemen struktural, meliputi *patch* antena, saluran transmisi, dan *ground plane* yang dapat dibuat dengan satu atau lebih substrat dielektrik. Antena ini relatif berukuran ringkas, sederhana, serta efisien dalam pembuatannya[18] Dengan karakteristik yang dimilikinya, antena mikrostrip sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan alat transmisi saat ini, Sehingga dapat disatukan dengan perangkat telekomunikasi modern. Meski demikian, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kelemahan, seperti batasan *bandwidth*, *gain* dan *directivity* yang rendah, serta efisiensi yang kurang optimal[19]

D. Studi Literatur

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Hanny Madiawati pada tahun 2022, beliau memberikan saran ketika ingin memperlebar *bandwidth* maka lakukan penambahan *slot*. Selanjutnya pada penelitian ini perancangannya menggunakan kombinasi berdasarkan metode perancangan antena yang telah dipelajari oleh peneliti sebelumnya. Pada perancangan ini spesifikasinya akan disesuaikan dengan kebutuhan antena cuaca. Pada Tabel 1 memperlihatkan posisi penelitian dibandingkan dengan penelitian yang sejenis.

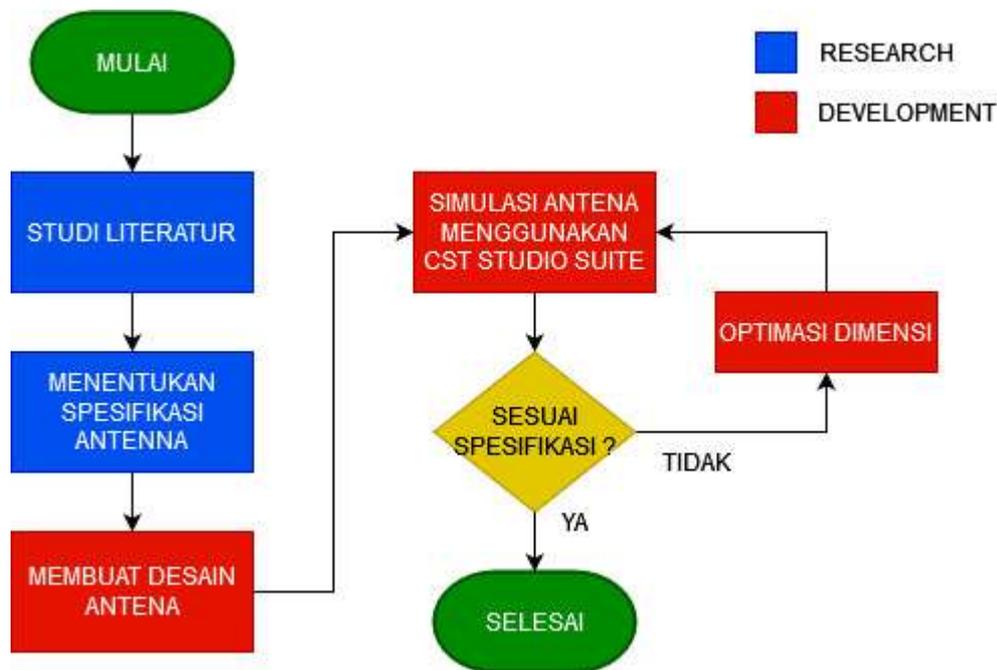
TABLE 1. Posisi penelitian dibandingkan dengan penelitian yang sejenis

| Referensi | Parameter | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------|-----------------|------------------------|-----------|--|
| | Frequency (GHz) | VSWR | Returnloss (dB) | Pola radiasi | Gain (dB) | Design antenna |
| [6] | 9,4 | 1,28 | -17,99 | <i>Directional</i> | 7,9 | <i>Array 2x2 Dual Polarization</i> |
| [20] | 5,2 – 5,6 | 1,19 | -19,74 | <i>Unidirectional</i> | 9 | <i>Array 2x4 with Defected Ground Structure</i> |
| (Madiawati et al., 2023) | 5,25 – 5,72 | 1,22 | -24,15 | <i>Unidirectional</i> | 6,9 | <i>Microstrip with Multiayer Parasitic</i> |
| [21] | 3,5 | - | -18,07 | <i>Unidirectional</i> | 14,42 | <i>Triangular Microstrip Patch by Adding Slot</i> |
| [22] | 2,4 | < 1,8 | -34,65 | <i>Omnidirectional</i> | 5,32 | <i>Triangular Microstrip Patch Dual Band</i> |
| [23] | 3,3 | < 2 | < -10 | <i>Omnidirectional</i> | - | <i>Rectangular Mutiband with Adding Slot and Array</i> |
| Penelitian ini | 4,2 | < 1,5 | <-22 | <i>Omnidirectional</i> | > 4 | <i>Recatangular Microstrip Patch by Adding Slot</i> |

III. PERANCANGAN

A. Metodologi Penelitian

Perancangan alat untuk antenna mikrostrip dilakukan hanya sampai tahap simulasi saja, dan melibatkan beberapa tahap untuk mencapai parameter antenna yang diinginkan. Untuk menguji keefektifan perancangan, langkah-langkah uji coba di representasikan dalam bentuk *flowchart*, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Diagram alir ini membantu dalam proses perancangan dan memungkinkan pengukuran kinerja antenna mikrostrip yang telah dirancang. Dalam merancang desain antenna, penting untuk melakukannya secara terstruktur dan sesuai dengan tahapannya agar penelitian menjadi lebih efisien dalam hal biaya produksi dan waktu.



Gambar 1. Flowchart penelitian

B. Spesifikasi dan Bahan

Bab ini membahas tentang perancangan antenna mikrostrip menggunakan konfigurasi polarisasi ganda dengan ransum saluran umpan transmisi yang digunakan untuk aplikasi satelit. Perancangan dalam pembuatan antenna mikrostrip *rectangular patch transmission feed line ration* menggunakan software *CST Studio Suite 2021* yang bertujuan agar antenna ini dapat beroperasi sesuai dengan persyaratan atau spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Pada rancangan antenna mikrostrip *rectangular patch* dengan penambahan slot ini melalui 3 proses utama. Proses desain dan pembuatan antenna adalah sebagai berikut:

TABLE 2. SPESIFIKASI AWAL ANTENNA

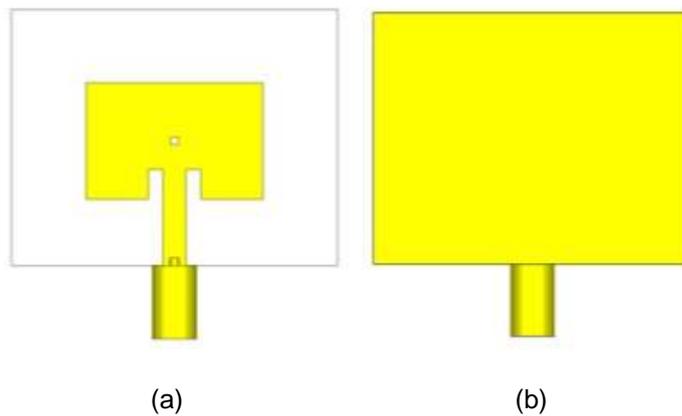
| Spesifikasi | Keterangan |
|--------------|-----------------|
| Frekuensi | 4,2 GHz |
| VSWR | < 1,5 |
| Gain | > 3 dBi |
| Bandwith | 132,6 MHz. |
| Return loss | < -22 |
| Pola Radiasi | Omnidirectional |

TABLE 3. BAHAN ANTENA

| Karakteristik Bahan | Jenis Material | Permitivitas | Ketebalan |
|----------------------|---------------------------|--------------|-----------|
| Patch & Ground Plane | Tembaga (<i>cooper</i>) | 2,2 | 0.035 mm |
| Substrate | FR-4 Epoxy | 4,6 | 1,6 mm |

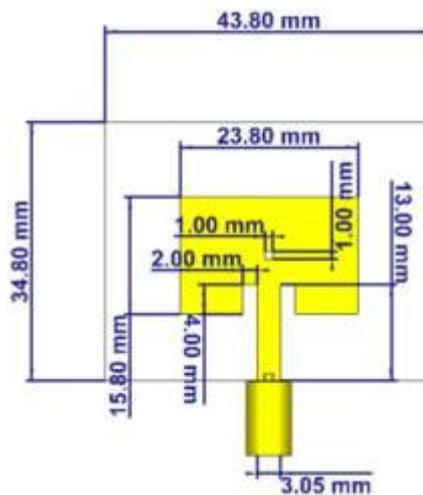
C. Desain Antena

Penelitian ini dimulai dengan merancang desain antena mikrostrip rectangular satu elemen peradiasi (*patch*). Kemudian, dilakukan penggunaan teknik penambahan *slot*. Perancangan antena mikrostrip dengan teknik slot ini bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* sekaligus memberikan efek pola radiasi *omnidirectional*. Berikut merupakan bentuk desain awal antena:



Gambar 2. Desain Antena (a) depan, (b) belakang

Untuk proses pencocokan impedansi menggunakan kaki insert, karena secara teoritis semakin mendekati titik tengah patch maka nilai impedansi akan semakin mendekati 0 Ω. Sedangkan bagian terluar sangat bernilai impedansi. Gambar a merupakan tampak depan dari rancangan antena yang dibuat, gambar b merupakan tampak belakang antena yang dibuat dengan bagian belakang merupakan bagian *ground* yang menjadi reflektor, sehingga medan radiasi yang dihasilkan mempunyai arah rambat ke titik depan penampang radiasi antena.

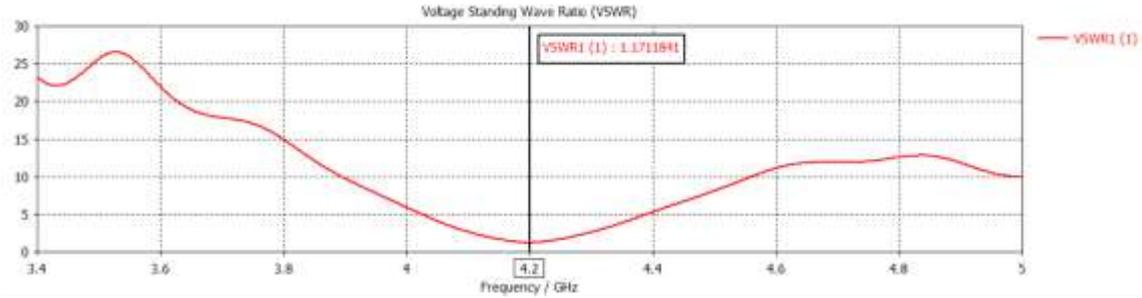


Gambar 3. Ukuran antena optimal

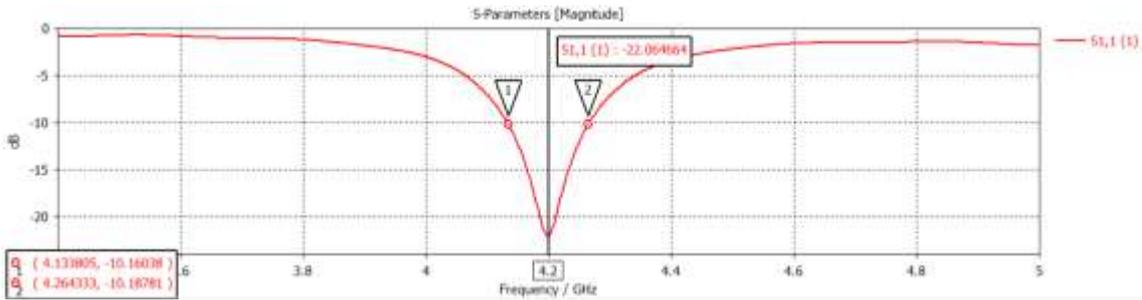
IV. PEMBAHASAN

Hasil simulasi dari *software CST Studio Suite* menghasilkan grafik *return loss* dari optimasi antena pada Gambar 4 yang dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah, untuk gambar grafik VSWR dapat dilihat pada Gambar 6 dan untuk impedansi yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 7, Hasil *return loss* menunjukkan hasil yang paling optimum, dengan nilai *return loss* sebesar -22,064 dB, dengan *bandwidth* terbatas -10 dB dari frekuensi 4,1326 GHz sampai dengan 4,2652 GHz. Dengan lebar *bandwidth* 132,6 MHz. Yang sesuai dengan

persyaratan spesifikasi radar cuaca, yaitu minimal 60 MHz. sehingga dalam perancangan antenna dengan menggunakan penambahan slot berpengaruh signifikan dalam meningkatkan *bandwidth* antenna. Nilai *return loss* pada perancangan antenna merupakan parameter yang menentukan baik tidaknya suatu antenna, jika antenna memiliki nilai *return loss* yang kecil,

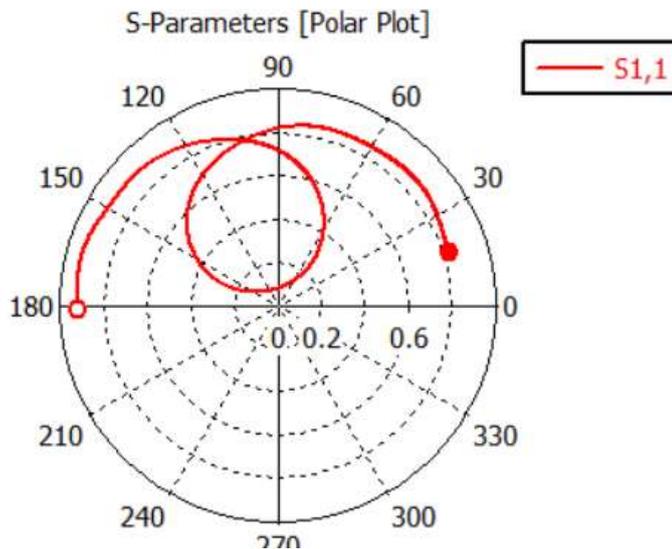


Gambar 4. Grafik hasil VSWR



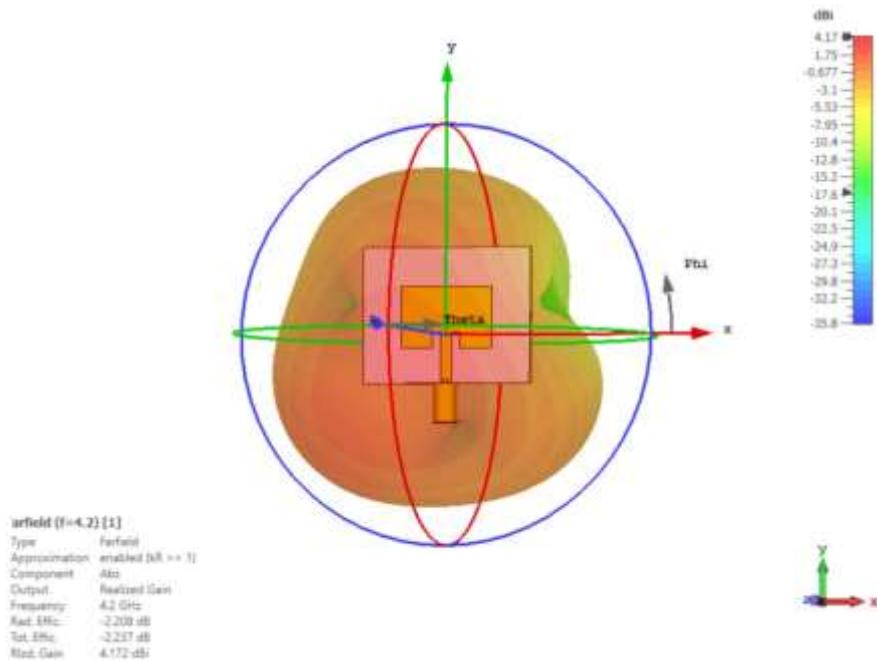
Gambar 5. Grafik hasil returnloss dan *bandwidth*

Hasil simulasi grafik pada gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa interpretasi *return loss* dan VSWR sangat berkaitan, jika *return loss* makin meningkat maka VSWR akan terus menurun, dimana nilai VSWR pada frekuensi 4,2 GHz adalah 1,17 yang berada di bawah 2 yang artinya sangat baik. Sama halnya dengan nilai VSWR, nilai *return loss* juga mengalami peningkatan dan ini merupakan parameter penentu baik tidaknya suatu antenna, dengan nilai VSWR yang mendekati nilai 1 dan nilai *return loss* yang semakin meningkat maka impedansi yang dihasilkan mendekati nilai *matching*,



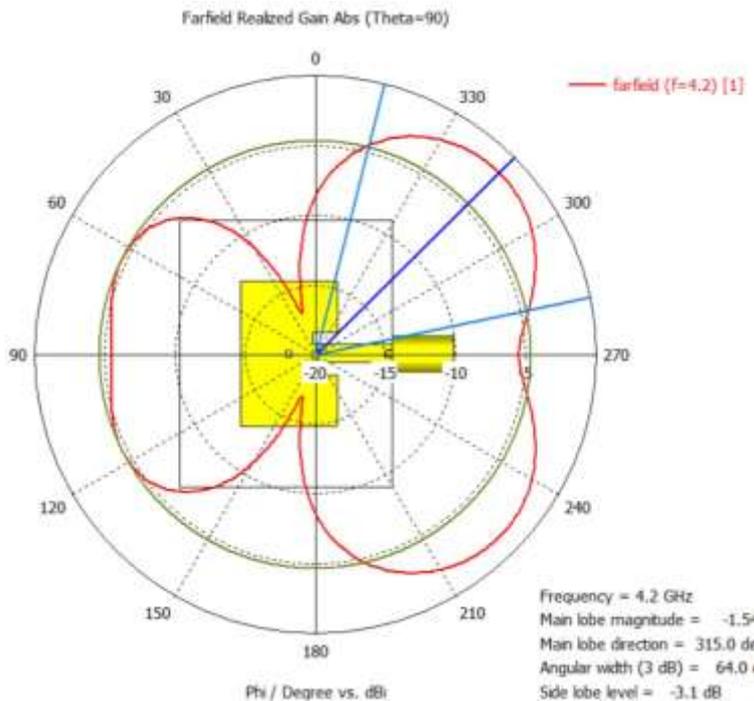
Gambar 6. Grafik hasil impedansi

Impedansi yang ditunjukkan pada Gambar 6 adalah pernyataan bahwa pada frekuensi 4,2 GHz, impedansi yang dihasilkan mendekati impedansi tetap dalam medan RF, yaitu 50 Ω . Untuk hasil simulasi karakteristik parameter eksternal gain dan polarisasi radiasi 3D dapat dilihat pada Gambar 7



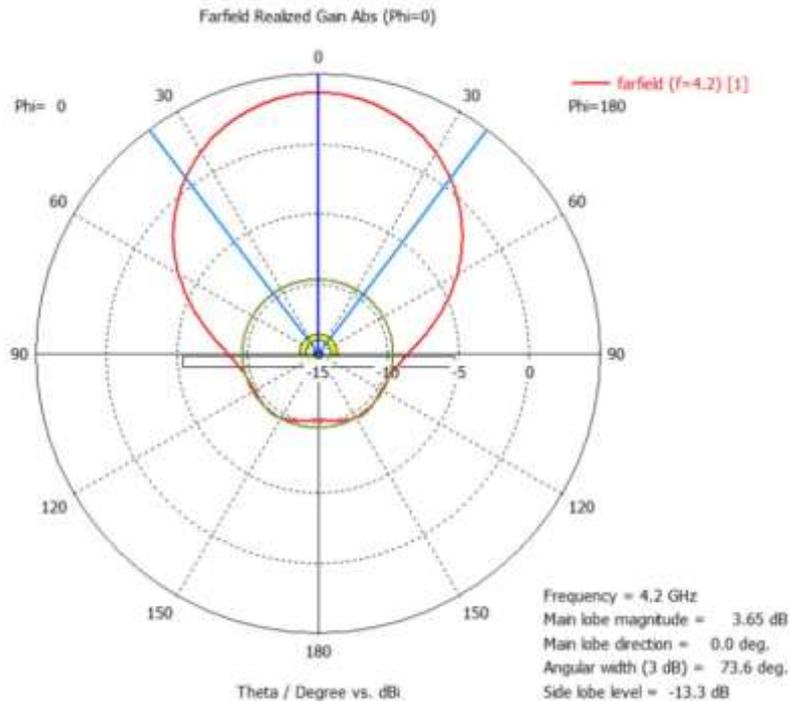
Gambar 7. Grafik hasil gain dan polarisasi

Dari simulasi *gain* dan polarisasi radiasi 3D yang dihasilkan oleh saluran transmisi pada *patch* yang menggunakan jalur transmisi *strip* dengan *patch* tunggal yang hanya menggunakan satu saluran transmisi, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 7 gain yang dihasilkan sebesar 4,172 dB untuk itu dihasilkan. Dalam hal ini, gain yang dihasilkan pada jalur tunggal biasanya tidak jauh dari 2,15 – 3 dB. Sehubungan dengan hal itu, keuntungan yang dihasilkan melebihi nilai yang diharapkan. Namun bentuk pola radiasi tersebut menghasilkan perubahan arah, hal ini dikarenakan mengikuti arah sumber *supply*. Apa yang dihasilkan berpengaruh pada jangkauan antena, semakin besar nilai yang dihasilkan, semakin jauh jarak deteksi antena. Dari Gambar 7 terlihat bahwa pancaran utama berada pada tampak depan antena pancar.



Gambar 8 Grafik hasil polarisasi theta 90°

Dari Gambar 8, hasil simulasi sumbu kutub untuk polarisasi radiasi 2 dimensi pada bidang theta 90 derajat menghasilkan sudut hpbw sebesar 64 derajat, dengan nilai *side lobe level* sebesar 3,1 dB. Untuk penampang pola radiasi 2 dimensi bidang pi 0, dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 9 Grafik hasil polarisasi theta 0°

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai *main lobe* utama yang akan digunakan sebagai bagian utama dari radiasi gelombang elektromagnetik menghasilkan nilai HPBW sebesar 73,6° yang berarti jangkauan antena cukup luas, jadi jika ingin melakukan *array* dengan area cakupan radiasi yang luas, maka membutuhkan 4 buah antena disusun secara diagonal menghadap ke barat, utara, timur dan selatan. Nilai SLL yang dihasilkan cukup baik yaitu 13,3 dB, dimana untuk batas standar nilai SLL (*side level lobe*) perbandingan *main lobe* dan *side lobe* adalah 13 dB. Sehingga *side lobe* atau *back lobe* tidak akan mengganggu kerja utama dari *main lobe*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan untuk perancangan antena aplikasi cuaca yang diharuskan berupa pola radiasi ke segala arah atau *omnidirectional* dengan menggunakan teknik reflektor atau penambahan *slot* untuk meningkatkan *gain*, yang paling sesuai adalah dengan menggunakan beda fasa untuk antena yang berada pada sisi terdekat baik kiri maupun kanan sebesar 90° atau pada kondisi pada proses integrasi menggunakan nilai VSWR yang didapatkan pada proses optimasi pada frekuensi 4.2 GHz. Dari hasil simulasi yang didapat, nilai VSWR yang diperoleh pada proses optimasi pada frekuensi 4.2 GHz adalah sebesar 1.171 ditunjukkan garis merah pada Gambar 6. Untuk nilai *return loss* sebesar -22,064 dB ditunjukkan garis berwarna merah. *Bandwidth* yang diperoleh dengan batas *return loss* sebesar -10 dB dari frekuensi 4.1326 GHz sampai dengan 4.2652 GHz adalah 132,6 MHz, dimana besaran *bandwidth* tersebut sesuai dengan spesifikasi kebutuhan *bandwidth* radar cuaca berkisar > 60 MHz. Perancangan antena menggunakan reflektor menghasilkan perbedaan yang sangat signifikan pada *gain* dan diagram arah yang dihasilkan. *Gain* antena tanpa reflektor sebesar 4.204 dBi dengan *directivity* sebesar 5 dBi. Dari hasil ketidaksamaan *gain* dan *directivity* terlihat bahwa penambahan *reflector* atau *slot* memberikan peningkatan *gain* dan perubahan bentuk pola radiasi. Perbedaan polaritas dapat dilihat pada Gambar 8. gambar grafik dari hasil diagram arah kutub atau 2 dimensi menunjukkan perbedaan yang signifikan, bahwa antena tanpa *slot* ditunjukkan pada polarisasi 90° dengan grafik hitam adalah hasilnya radiasi *omnidirectional*, dengan nilai pada semua sumbu theta memiliki nilai yang hampir seragam. Berbeda dengan grafik biru yang menunjukkan pola radiasi menuju sudut theta tertentu yang menunjukkan pantulan penambahan *slot*. Demikian pula untuk diagram =0°, menunjukkan hasil yang berbeda untuk antena tanpa *slot* dan antena dengan *slot*. Bentuk polaritas 3 dimensi yang dihasilkan oleh Rectangular dengan *slot* dan tanpa *slot* dapat diamati pada Gambar 9. Perancangan antena menggunakan *slot* menghasilkan perbedaan yang sangat signifikan pada *gain* dan diagram arah yang dihasilkan. *Gain* antena dengan *slot* adalah 4,17 dBi dengan *directivity* 5 dBi sehingga desain antena ini sangat cocok digunakan pada aplikasi radar cuaca.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kevin Sene, *Hydrometeorology Forecasting and Applications*, Second edition. London, UK: Springer International Publishing Switzerland, 2016. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23546-2_5.
- [2] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, *PERATURAN MENTERI PERHUBUNGAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR PM 95 TAHUN 2018 TENTANG PERATURAN KESELAMATAN PENERBANGAN SIPIL BAGIAN 174 (CIVIL AVIATION SAFETY REGULATIONS PART 174) TENTANG PELAYANAN INFORMASI METEOROLOGI PENERBANGAN (AERONAUTICAL METEOROLOGICAL INFORMATION SERVICES)*. 2018.
- [3] Kai Fong Lee, *Antena Patch Mikrostrip*. London, UK: Science+Business Media Singapura, 2011.
- [4] V.N. Bringi and V. Chandrasekar, *Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and Application*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
- [5] T. G. Abouelnaga, M. B. Tayel, and A. F. Desouky, "High Gain UWB Four Elements Antenna Array for C-Band and X-Band Application," *Open Journal of Antennas and Propagation*, vol. 08, no. 02, pp. 19–29, 2020, doi: 10.4236/ojapr.2020.82002.
- [6] D. Christiyana, M. T. Wijanto, and Y. P. Saputera, "ANTENA ARRAY 2x2 DENGAN POLARISASI GANDA UNTUK RADAR CUACA X-BAND," 2019.
- [7] R. Brancroft, "Microstrip Antenna," 2006.
- [8] Mahafza Bassem R., "Handbook of Radar Signal Analysis," 1st Edition., Taylor & Francis Group, 2021.
- [9] H. MADIWATI, R. RAHMANSYAH, and A. B. SIMANJUNTAK, "Antena Mikrostrip Multilayer Parasitik pada Frekuensi C Band Radar Cuaca," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 11, no. 4, p. 933, Oct. 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i4.933.
- [10] A. F. Awaludin, M. R. Hidayat, E. Alimudin, and S. Basuki, "BANDPASS FILTER MICROSTRIP FREKUENSI 6 GHZ MENGGUNAKAN SPLIT RING RESONATOR BERBASIS DEFECTED GROUND STRUCTURE UNTUK RADAR C-BAND," *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan*, vol. 10 No.2, pp. 110–112, Dec. 2023, doi: 10.25124/jett.v10i2.6652.
- [11] T. Rufaidah, A. Adya P, and R. Anwar, "PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP ARRAY PADA FREKUENSI X-BAND UNTUK APLIKASI RADAR CUACA DESIGN OF ARRAY MICROSTRIP ANTENNA AT X-BAND FREQUENCY FOR WEATHER RADAR APPLICATION," 2020.
- [12] A. Prakasa and F. D. Utami, "Sistem Informasi Radar Cuaca Terintegrasi BMKG," *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, vol. 1, no. 02, pp. 78–87, Jul. 2019, doi: 10.20895/jtece.v1i02.89.
- [13] J. Forster, B. Weinschel, and S. Sherr, "IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas," pp. 1–122, Aug. 1972.
- [14] T. Yuliar Arif, dan Jarnawi Ariga Jurusan Teknik Elektro, F. Teknik, U. Syiah Kuala Jl Tgk Syech Abdul Rauf No, and B. Aceh, "Simulasi Perancangan dan Analisa Antena Mikrostrip Patch Circular pada Frekuensi 2,4GHz untuk Aplikasi WLAN," 2015.
- [15] Balanis C.A., *Antenna Theory-Analysis and Design*, 3rd ed. New Jersey, 2005.
- [16] Hirasawa K. and M. Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low Profile Antennas*. Boston: Artech House, 1992.
- [17] R. A. Sainati, *CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications*. Boston: Artech House, 1996.
- [18] I. Surjati, *Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya*. Universitas Trisakti, 2010.
- [19] F. W. ARDIANTO, S. RENALDY, F. F. LANANG, and T. YUNITA, "Desain Antena Mikrostrip Rectangular Patch Array 1x2 dengan U-Slot Frekuensi 28 GHz," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 7, no. 1, p. 43, Jan. 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i1.43.
- [20] H. Madiawati, A. B. Simanjuntak, E. Sulaeman, and M. S. I. Hibban, "Antena Mikrostrip Array untuk Aplikasi Radar Cuaca pada Frekuensi C-Band Menggunakan Metode Defected Ground Structure," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 7, no. 2, p. 181, Dec. 2022, doi: 10.31544/jtera.v7.i2.2022.181-188.
- [21] S. B. Wahyu Hilmi, "ANTENA MIMO PATCH TRIANGULAR DENGAN PENAMBAHAN SLOT UNTUK APLIKASI 5G MIMO ANTENNA TRIANGULAR PATCH BY ADDING SLOTS FOR 5G APPLICATION," 2020.
- [22] R. Al-Qanun Ariantono, I. Bambang Sumajudin, and T. Yunita, "EFEK SLOT PADA ANTENA MIKROSTRIP TRIANGULAR DUAL BAND DENGAN FREKUENSI ANTENA AWAL 2,4 GHZ," 2019.
- [23] J. Haidi and A. Surapati, "Perancangan Antena Mikrostrip Multiband Bentuk Segi Empat 2 Patch Menggunakan Gabungan Metode Array Dan Slot," *Tri Riski Pahlovi / Setrum*, vol. 6, no. 2, 2017.