

Rancang Bangun Antena Mikrostrip Array Fraktal 2x1 Untuk Aplikasi Radar C-Band Pada Frekuensi 5,6 Ghz

1st Bayu Darmawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

bayudarmawan@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Dhoni Putra Setiawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

Aisyahnovf@telkomuniversity.ac.id

3rd Aisyah Novfitri
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

setiawandhoni@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Desain Antena akan dirancang dengan menggunakan simulator CST Studio Suite 3D yang selanjutnya akan di Fabrikasi. Hasil simulasi Antena didapatkan nilai Return Loss sebesar -20,608 dB, Bandwidth 170MHz dan VSWR 1,759. Gain yang diperoleh sebesar 3,4 dBi, Pola Radiasi Unidirectional dan Polarisasi Linear sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan seperti frekuensi kerja (5,6 GHz). Lalu pada hasil pengukuran antenna fabrikasi Return Loss sebesar -22,496 dB, Bandwidth 74MHz dan VSWR 1,163. Gain yang dihasilkan 2,06 dBi, Pola Radiasi Unidirectional dan Polarisasi Linear. Lalu setelah difabrikasi, ada optimasi kembali dan dihasilkan Return Loss Sebesar -37,65dB, VSWR 1,026 dengan Bandwidth sebesar 210 MHz. Gain yang dihasilkan 3,26dBi, Pola Radiasi Unidirectional dan Polarisasi Linear.

Kata kunci— Antena Mikrostrip, Radar C-Band, Frekuensi kerja, Array, fraktal.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan kepemilikan wilayah yang luas dan terbagi menjadi ribuan pulau menjadikan perangkat teknologi untuk memantau daratan dan perairan sangat diperlukan. Radar yang menjadi salah satu elemen utama dalam perangkat teknologi menggunakan gelombang radio untuk deteksi objek. Hal ini menjadikan radar memerlukan antena yang kompak guna mendapatkan frekuensi tersebut serta mampu dipergunakan secara efisien. Dalam konteks ini, antena mikrostrip dipilih karena keunggulannya dalam hal ukuran, profil rendah, dan bandwidth besar. Radar untuk Earth Remote Sensor menggunakan teknik Frequency Modulated Continuous Wave (FM-CW) pada C-band (4-8 GHz) untuk deteksi objek bergerak di darat dan udara. Penelitian sebelumnya telah merancang antena mikrostrip array 2x1 pada frekuensi 5,6 GHz untuk radar C-band, tetapi masih membutuhkan perbaikan pada parameter seperti VSWR, pola radiasi, gain, dan bandwidth. Oleh karena itu, penulis mengusulkan Tugas Akhir dengan judul "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Array Fraktal 2x1 untuk Aplikasi Radar C-Band pada Frekuensi 5,6 GHz" untuk mengatasi masalah ini melalui modifikasi dan pabrikasi.

II. KAJIAN TEORI

A. Radar

Radar doppler dikenal sebagai jenis radar dengan implementasi efek doppler radar yang bisa mengukur kecepatan radial dari sebuah objek saat memasuki suatu area dengan cara menembakan sinyal microwave kemudian menangkap refleksinya dan dianalisis perubahannya.

B. Antena Mikrostrip Fraktal

Antena mikrostrip fraktal merupakan jenis antena yang menggunakan prinsip fraktal dalam desain strukturnya. Struktur fraktal adalah suatu struktur geometris yang menunjukkan pola yang sama pada skala yang berbeda. Antena mikrostrip fraktal menggunakan konsep ini untuk menciptakan pola radiasi yang kompleks dan efisien. Antena Fraktal Sierpinski Gasket merupakan salah satu jenis antena berbentuk segitiga yang memanfaatkan sifat dan karakteristik geometri fraktal yaitu selfsimilarity (kemiripan terhadap dirinya), pengulangan dan penskalaan. Antena Fraktal Sierpinski Gasket ini menawarkan berbagai macam keuntungan, yaitu antena ini dapat dibuat dengan ukuran yang kecil menghasilkan beberapa frekuensi resonan, dan dapat mengoptimalkan gain.

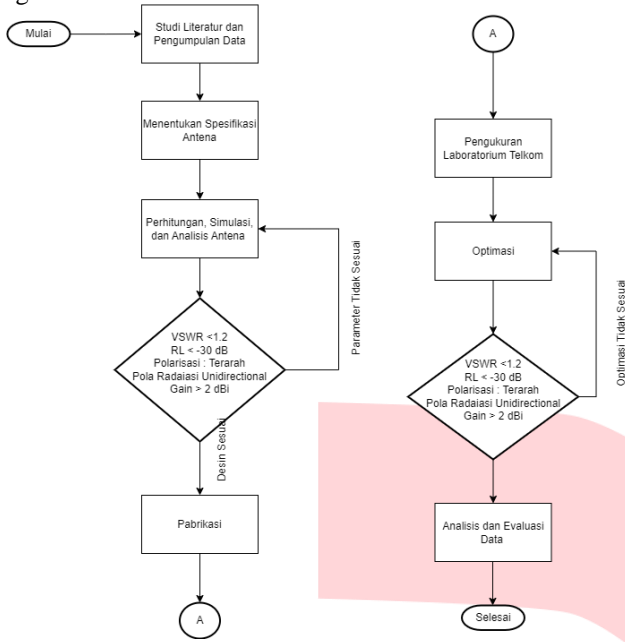
III. METODE

Kajian yang diterapkan pada tugas akhir ini bersifat analisis dan aplikatif, yaitu mendesain, mensimulasi perancangan antena mikrostrip triangular patch dengan array 2x1 fraktal untuk pengaplikasian radar C-band, yang kemudian rancangan akan difabrikasi. Alur penelitian ini secara ringkas digambarkan pada Gambar 1.

A. Studi Literatur

Metode ini dilakukan dengan melakukan pendekatan studi teoritis atau studi literature di perpustakaan kampus atau di perpustakaan lain yang berhubungan dengan permasalahan yang akan di bahas, dan membaca buku referensi dan mencari

data dari situs internet yang dapat mendukung pelaksanaan tugas akhir ini.



GAMBAR 1. Diagram Alir

B. Software

Adapun perangkat keras (hardware) yang digunakan berupa computer notebook atau laptop untuk melakukan perancangan antenna, sedangkan software yang digunakan dalam perancangan dan simulasi tugas akhir ini antara lain:

1. CST Studio

CST merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan dengan tujuan untuk mendesain sebuah antenna dengan beberapa bentuk. Perangkat lunak ini dapat juga digunakan untuk mensimulasikan hasil perancangan antenna sehingga mendapatkan hasil parameter sesuai dengan karakteristik dan standar antenna seperti Gain, VSWR, Return Loss, Bandwidth dan Polaradiasi. Oleh sebab itu mengapa perangkat lunak ini digunakan untuk mendesain antenna patch.

2. Microsoft Visio

Perangkat lunak ini digunakan untuk membuat diagram alir atau flowchart dari antenna yang akan dirancang dan disimulasikan. Dapat juga digunakan untuk mendesain sebuah antenna sebelum proses perancangan dengan menginputkan parameter di software CST.

C. Hardware

Adapun perangkat keras (hardware) yang digunakan berupa computer notebook atau laptop untuk melakukan perancangan antenna, sedangkan software yang digunakan dalam perancangan dan simulasi tugas akhir ini antara lain:

1. Vector Network Analyzer (VNA)

VNA dapat mengukur refleksi dan transmisi sinyal pada frekuensi tertentu. Dengan VNA, Anda dapat mendapatkan informasi tentang respons frekuensi dan karakteristik impedansi antenna.

2. Spectrum Analyzer

Spectrum analyzer digunakan untuk menganalisis spektrum frekuensi dari sinyal yang dihasilkan oleh antenna mikrostrip.

3. Probe Station

Probe station digunakan untuk menghubungkan antenna mikrostrip dengan peralatan pengukuran seperti VNA atau spectrum analyzer.

4. Cables dan Adaptor

Penelitian ini membutuhkan kabel koaksial berkualitas tinggi dan adaptor untuk menghubungkan antenna mikrostrip dengan perangkat pengukuran seperti VNA dan spectrum analyzer. Pastikan kabel dan adaptor memiliki impedansi yang sesuai dengan sistem pengukuran.

5. Connector SMA

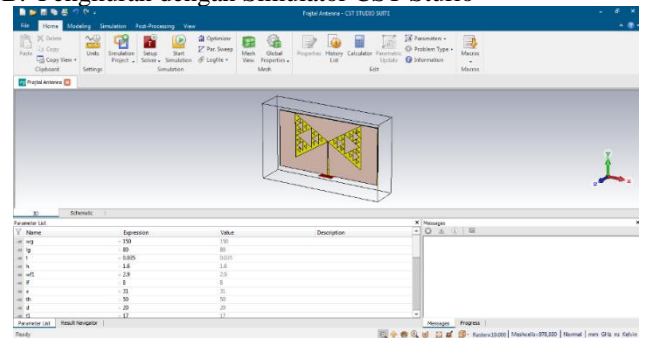
Pada antenna berfungsi untuk menghubungkan antenna dengan perangkat atau sistem elektronik lainnya. Antenna menggunakan connector SMA sebagai antarmuka untuk mengirim atau menerima sinyal radiofrekuensi (RF) antara antenna dan perangkat elektronik yang terhubung.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pendahuluan

Bab ini menguraikan hasil pengukuran karakteristik serta dimensi fisik antenna yang telah dibuat. Setelah simulasi dengan perangkat lunak CST Studio dan proses pembuatan antenna, dilakukan pengukuran untuk membandingkan kinerja antara simulasi antenna dan antenna yang telah difabrikasi.

B. Pengukuran dengan Simulator CST Studio



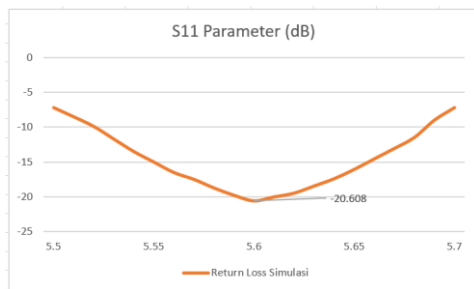
GAMBAR 2. Desain Patch Antena Array segitiga Fraktal

Berdasarkan pengukuran tersebut dengan menggunakan frekuensi 5,6 GHz, hasil simulasi pada Tabel 1 menunjukkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi pada perancangan.

TABEL 1. Perbandingan Spesifikasi dengan Hasil Simulasi

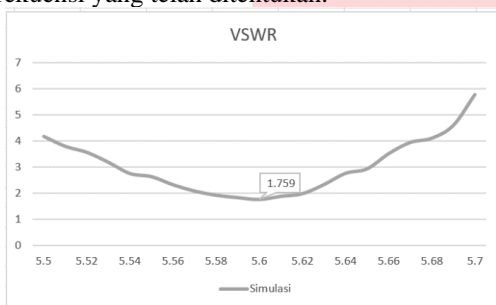
Parameter	Spesifikasi	Simulasi
Return Loss	<-10dB	-20,608 dB
VSWR	< 2	1,759
Gain	>2 dBi	3,4 dBi
Pola Radiasi	Unidirectional	Unidirectional
Polarisasi	Linear	Linear
Bandwidth	>30MHz	170MHz

C. Analisa Hasil Simulasi Antena

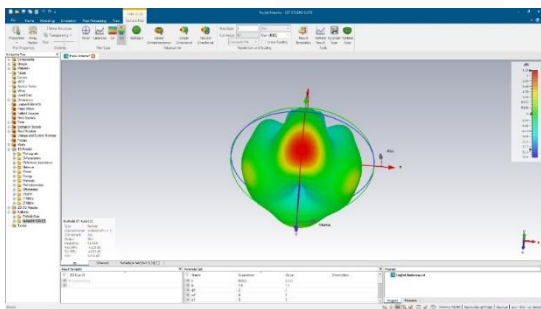


GAMBAR 3.
Hasil Simulasi *Return Loss*

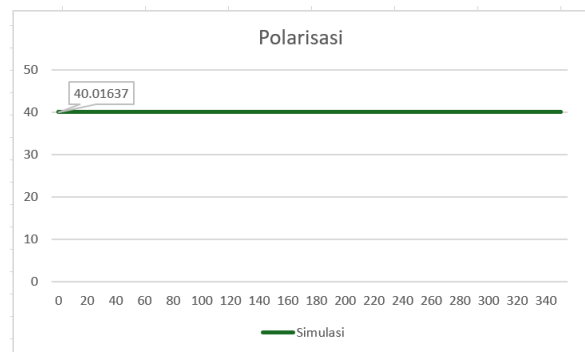
Hasil simulasi return loss diperoleh nilai sebesar -20,608 dB. Nilai ini mengindikasikan bahwa antenna yang dirancang memiliki performa yang baik dalam hal pencocokan impedansi, dengan sebagian besar daya yang dipancarkan diterima oleh antenna dan hanya sedikit yang dipantulkan kembali. Analisis ini menjadi indikasi bahwa desain antenna tersebut efektif dalam mengoptimalkan penerimaan sinyal pada frekuensi yang telah ditentukan.



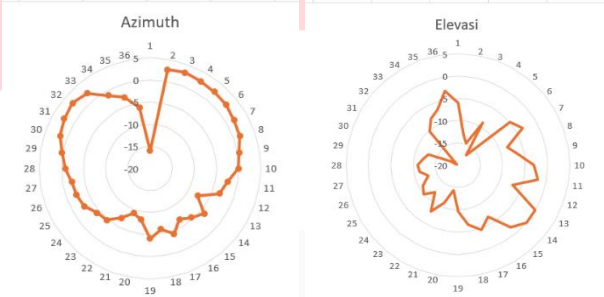
Hasil simulasi mengindikasikan bahwa antenna memiliki nilai VSWR sebesar 1,759. Nilai ini menandakan bahwa antenna memiliki pencocokan impedansi yang cukup baik, dengan sedikit daya yang dipantulkan kembali. Meskipun idealnya nilai VSWR mendekati 1,0, nilai 1,75 masih dalam batas yang dapat diterima untuk kinerja antenna yang efektif.



Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, antenna ini memiliki gain sebesar 3,4 dB pada frekuensi tersebut. Nilai gain ini menunjukkan kemampuan antenna dalam memfokuskan daya pancarnya ke arah tertentu, yang penting untuk aplikasi yang memerlukan penguatan sinyal. Dengan gain sebesar 3,4 dB pada frekuensi 5,6 GHz, antenna segitiga fraktal ini menunjukkan performa yang efektif dalam memperkuat sinyal dan memastikan transmisi yang optimal.



Simulasi mengindikasikan bahwa antenna ini dapat memancarkan sinyal secara terarah, yang merupakan karakteristik dari polarisasi linear. Hal ini sangat menguntungkan untuk aplikasi radar yang memerlukan arah sinyal yang terkonsentrasi dan minim gangguan dari arah lain. Struktur fraktal segitiga yang digunakan dalam desain antenna ini juga berperan penting dalam mencapai polarisasi yang efektif, serta membantu meningkatkan kinerja antenna pada frekuensi 5,6 GHz.



Berdasarkan hasil simulasi, pola radiasi yang diperoleh menunjukkan bahwa menunjukkan karakteristik unidirectional pada frekuensi 5,6 GHz. Ini menunjukkan bahwa antenna fraktal memancarkan energi secara fokus dalam satu arah utama, yang menguntungkan untuk aplikasi yang memerlukan penyebaran sinyal yang terarah dan minim gangguan dari arah lain.

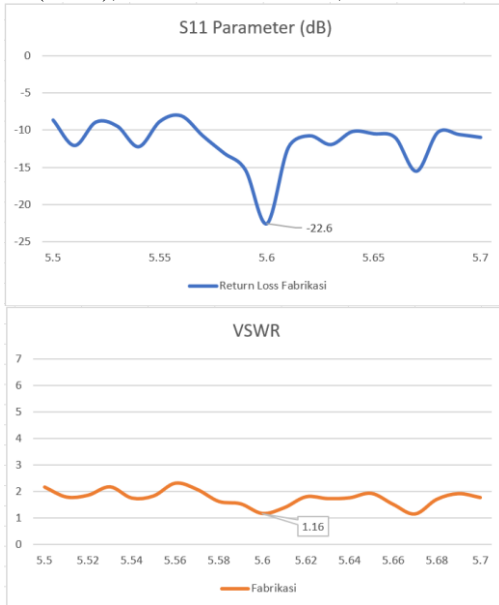
D. Realisasi Antena Mikrostrip Fraktal

Setelah desain antenna selesai dibuat dan di simulasikan dengan menggunakan CST 2019, antenna kemudian akan di fabrikasi. Lalu hasil dari fabrikasi antenna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Selanjutnya, antenna hasil fabrikasi diuji di ruang SEE Laboratorie milik Telkom University di kota Bandung. Ada 5 parameter yaitu return loss, VSWR, pola radiasi, polarisasi, gain. Kelima parameter tersebut diukur menggunakan sistem pengukuran port tunggal pada elemen tunggal.



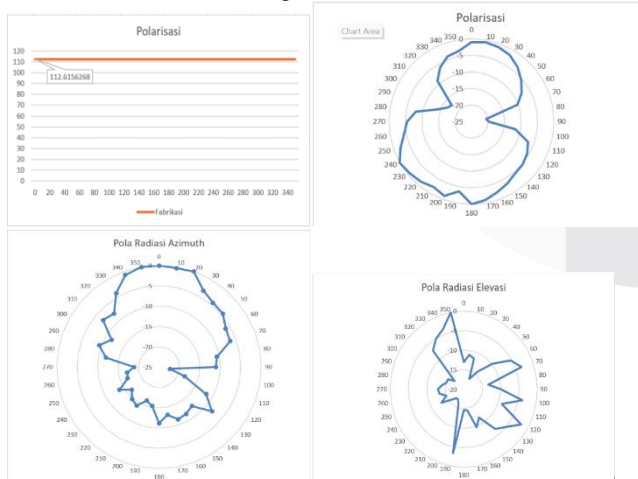
E. Pengukuran Antena

Pengukuran antenna dilakukan di Laboratorium Telkom University di Bandung (SEE Laboratories). Pengukuran yang dilakukan untuk mengukur nilai VSWR, return loss, polarisasi, pola radiasi, dan gain. Pengukuran memakai Vector Network Analyzer (VNA) dan masking. Adapun eralatan yang digunakan meliputi: Cable and Vector Network Analyzer (VNA), konektor N to SMA, dan kabel Coaxial.

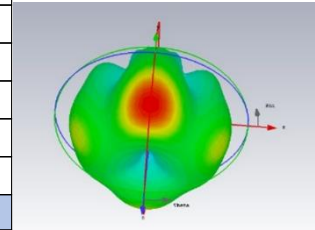


Berdasarkan pengukuran pada frekuensi 5,6 GHz, antenna menghasilkan nilai return loss sebesar -22,496 dB yang menandakan kemampuan antenna untuk mengurangi refleksi sinyal yang sangat baik. Selain itu, VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) tercatat pada angka 1,1633, mengindikasikan tingkat kecocokan yang sangat baik antara antenna dan sistem transmisi yang digunakan. Antenna ini memiliki frekuensi atas pada 5.570.000.000 Hz (5,57 GHz) dan frekuensi bawah pada 5.640.000.000 Hz (5,64 GHz). Bandwidth ini dihitung dari selisih antara frekuensi atas dan bawah yang dibagi dengan 1.000.000. yang menghasilkan bandwidth sebesar 70 MHz.

F. Hasil dan Analisa Pengukuran Polarisasi , Pola Radiasi.



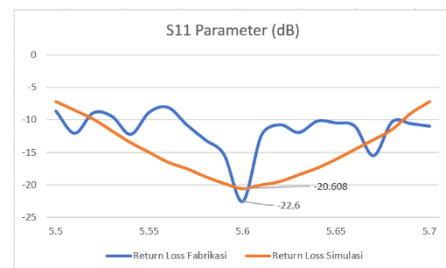
No	PRX
1	-45.471
2	-45.636
3	-45.599
4	-45.471
5	-45.548
6	-45.676
7	-46.25
8	-45.067
9	-45.972
10	-45.875
Total Power	-45.6565



Hasil pengukuran menunjukkan bahwa antenna microstrip array fractal menghasilkan polarisasi Linear dan Pola Radiasi Unidirectional. Hal ini mengindikasikan bahwa:

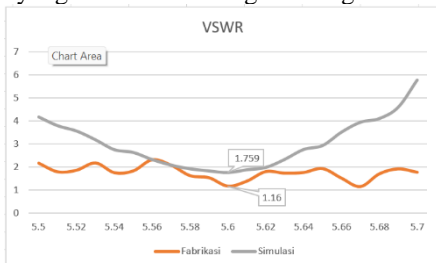
1. Antena array fraktal memiliki design dengan struktur fraktal yang tepat, membuktikan bahwa design fraktal pada antenna mampu mempertahankan konsistensi dari gelombang elektromagnetik sehingga menyebabkan polarisasi yang linear. Pola radiasi dari pengukuran juga menunjukkan bahwa antenna memancarkan sinyal ke arah tertentu (*unidirectional*) sesuai dengan hasil dari simulator. Hal ini menunjukkan bahwa desain antenna fraktal berhasil mengarahkan radiasi sesuai kebutuhan aplikasi yaitu untuk radar.
2. Desain array juga mempengaruhi polarisasi dimana pengaturan jarak, fase dan orientasi 2 elemen segitiga pada array dapat mempertahankan polarisasi linear yang diinginkan sesuai dengan prinsip superposisi medan elektromagnetik yang dimiliki antenna array. Kemudian array juga memiliki interferensi konstruktif dan destruktif. Hasilnya adalah polaradiasi unidirectional dimana radiasi difokuskan pada satu arah utama dan mengurangi radiasi ke arah lain.
3. Kondisi lingkungan pengujian yang ideal juga menjadi faktor eksternal tersendiri bagi pengukuran ini. Kondisi Laboratorium yang kondusif dan tidak banyak obstacle dan interferensi dari gelombang lain sehingga hasil tersebut bisa tercapai.

Parameter	Spesifikasi	Simulasi	Fabrikasi
Return Loss	<-10dB	-20,608 dB	-22,496 dB
VSWR	< 2	1,759	1,163
Gain	>1 dBi	3,4 dBi	2,063 dBi
Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>	<i>Unidirectional</i>	<i>Unidirectional</i>
Polarisasi	Linear	Linear	Linear
Bandwidth	>30MHz	170MHz	74MHz



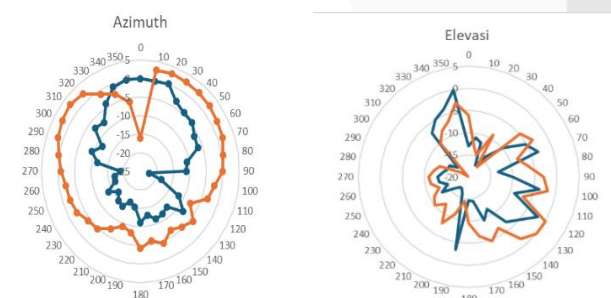
Hasil simulasi menunjukkan nilai return loss sebesar -20,608 dB, yang jauh lebih baik dari spesifikasi,

menunjukkan efisiensi yang sangat baik dalam meminimalkan pantulan. Pada hasil fabrikasi, nilai return loss mencapai $-22,496$ dB, yang lebih baik lagi dibandingkan hasil simulasi, mengindikasikan bahwa antenna yang diproduksi berfungsi lebih baik dari yang diharapkan. Pergeseran nilai return loss yang teramati selama pengukuran disebabkan oleh ketidaktepatan dalam proses pencetakan antenna. Ketidaksempurnaan ini berpengaruh pada karakteristik antenna, sehingga menyebabkan perbedaan nilai return loss yang diukur dibandingkan dengan hasil simulasi.



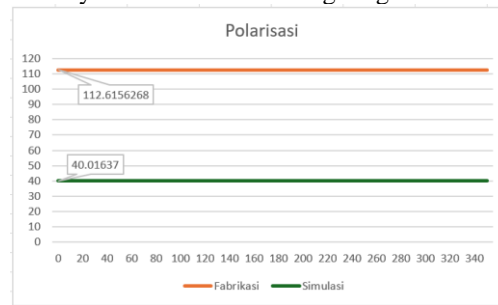
Hasil simulasi menunjukkan VSWR sebesar 1,759, yang memenuhi spesifikasi. Setelah fabrikasi, nilai VSWR turun menjadi 1,163, menunjukkan bahwa antenna yang dibuat memiliki impedansi yang lebih baik daripada hasil simulasi, dan berada jauh di bawah batas spesifikasi yang diinginkan. Pergeseran nilai VSWR yang teramati selama pengukuran disebabkan oleh ketidaktepatan dalam proses pencetakan antenna. Ketidaksempurnaan ini berpengaruh pada karakteristik antenna, sehingga menyebabkan perbedaan nilai VSWR yang diukur dibandingkan dengan hasil simulasi.

Hasil simulasi menunjukkan gain sebesar 3,4 dBi, yang berarti antenna dirancang dengan baik untuk meningkatkan sinyal. Hasil fabrikasi turun hingga gain mencapai 2,063 dBi, menunjukkan bahwa antenna yang dibuat memiliki performa yang sangat baik dalam memfokuskan energi. Peningkatan gain yang teramati dapat diatribusikan pada ketidaktepatan dalam pencetakan ukuran antenna, khususnya terkait ketidakakuratan dimensi antar lobang fraktal. Selain itu, kualitas bahan FR4 yang kurang optimal turut menyebabkan penyimpangan dalam performa antenna.



Ketiga tahap, yaitu spesifikasi, simulasi, dan fabrikasi, menunjukkan pola radiasi unidirectional. Ini berarti antenna memfokuskan sinyal ke satu arah utama, sesuai dengan tujuan desain awal. Hasil yang didapatkan sama yang berarti dari segi dimensi dan juga bahan hasil fabrikasi tidak berpengaruh terhadap pola radiasi antenna. Hal ini juga bisa disebabkan karena minimnya gangguan eksternal, alam pengukuran antenna, gangguan eksternal seperti pantulan atau interferensi bisa mempengaruhi hasil. Namun, jika pengukuran dilakukan dalam kondisi yang terkendali, seperti di ruang laboratorium Telkom Bandung, pola radiasi yang

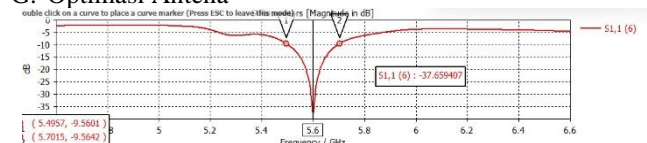
dihasilkan akan sangat mirip dengan hasil simulasi, yang juga biasanya dilakukan dalam lingkungan ideal.



Polarisasi antenna adalah linear pada semua tahap, sesuai dengan spesifikasi awal. Ini menunjukkan bahwa arah medan listrik dari gelombang yang dipancarkan adalah seragam, sesuai dengan kebutuhan desain. Kesamaan ini menunjukkan bahwa baik simulasi maupun pengukuran fisik mampu secara efektif mencerminkan polarisasi yang diinginkan dalam desain antenna. Hal ini juga bisa disebabkan karena kendali lingkungan pengukuran. Dalam pengukuran antenna, polarisasi bisa dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti refleksi atau multipath. Namun, jika pengukuran dilakukan di lingkungan terkendali, seperti ruang laboratorium Telkom Bandung, pengaruh eksternal diminimalkan, memungkinkan pengukuran untuk mencerminkan hasil yang mendekati kondisi ideal yang diprediksi dalam simulasi.

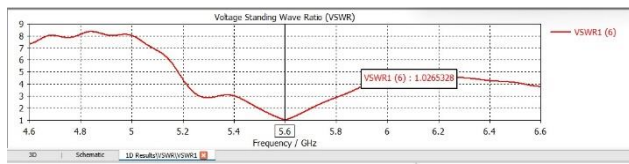
Bandwidth spesifikasi diinginkan lebih dari 30 MHz. Hasil simulasi menunjukkan bandwidth sebesar 170 MHz, yang sangat lebar dan jauh di atas spesifikasi. Namun, pada hasil fabrikasi, bandwidth yang diperoleh hanya sebesar 74 MHz. Meski terjadi penurunan dibandingkan hasil simulasi, bandwidth ini masih lebih dari dua kali lipat dari spesifikasi awal, menunjukkan bahwa antenna yang diproduksi tetap memiliki kinerja yang baik dalam rentang frekuensi yang luas. Hal ini disebabkan karena ketidaktepatan dalam pencetakan dan proses manufaktur. Selama proses fabrikasi, ketidakakuratan dalam pencetakan atau pembuatan antenna dapat menyebabkan perubahan pada dimensi fisik dan geometri antenna. Variasi Material Substrat yang digunakan dalam simulasi biasanya diasumsikan memiliki sifat dielektrik dan konduktivitas yang ideal dan konsisten. Namun, pada fabrikasi, kualitas bahan seperti substrat FR4 mungkin tidak sepenuhnya konsisten, dengan variasi kecil dalam konstanta dielektrik atau ketebalan yang dapat mempengaruhi performa antenna, termasuk bandwidth. Efek Parasitik dan Loss yang Tidak Diperhitungkan dalam Simulasi, Simulasi cenderung mengabaikan atau menyederhanakan efek parasitik dan loss yang ada dalam kenyataan, seperti rugi-rugi akibat konektor, jalur transmisi, dan radiasi yang tidak diinginkan. Dalam fabrikasi nyata, efek-efek ini dapat mengurangi efisiensi antenna dan mempersempit bandwidth yang diukur.

G. Optimasi Antena

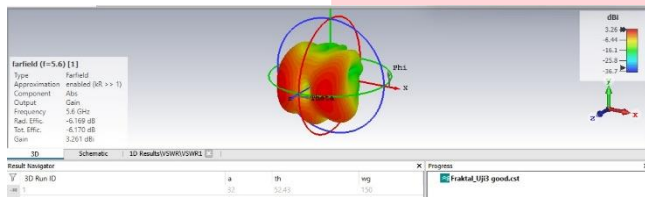


Pada optimasi peneliti berhasil meningkatkan return loss secara signifikan menjadi $-37,659$ dB, yang menunjukkan performa yang sangat baik dalam hal pencerminan sinyal.

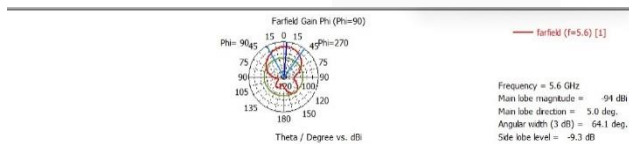
Bandwidth juga meningkat menjadi 210 MHz, yang merupakan kompromi antara bandwidth dan return loss yang lebih baik dibandingkan dengan optimasi pertama.



Pada optimasi VSWR sangat rendah (1,02), yang menunjukkan performa yang sangat baik dalam hal efisiensi pencerminan sinyal. Ini adalah hasil terbaik dari semua tahap, dengan VSWR yang menunjukkan bahwa hampir seluruh sinyal diterima dengan efisien tanpa banyak refleksi. Bandwidth yang diperoleh juga lebih baik dibandingkan dengan simulasi awal dan optimasi pertama, yaitu 210 MHz.

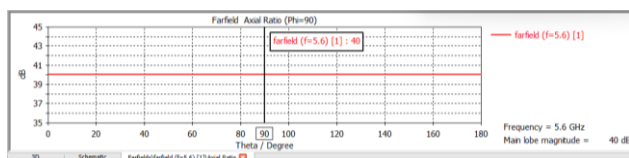


Pada optimasi kedua, gain menurun menjadi 3.261 dBi setelah mencapai puncak pada optimasi pertama. Meskipun masih lebih tinggi daripada gain setelah fabrikasi, penurunan dari optimasi pertama menunjukkan bahwa mungkin ada trade-off antara gain dan parameter lain seperti bandwidth atau return loss. Perubahan yang dilakukan dalam optimasi kedua mungkin memfokuskan pada aspek lain dari performa antenna, mengorbankan sebagian gain untuk mencapai keseimbangan yang lebih baik.



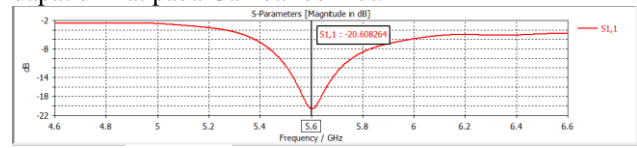
Konsistensi pola radiasi unidirectional pada antenna disebabkan oleh desain fraktal, dan pemeliharaan konfigurasi elemen yang sesuai. Desain antenna yang dirancang untuk menghasilkan radiasi utama dalam satu arah akan mempertahankan pola radiasi unidirectional jika desain dan fabrikasi dilakukan dengan benar, serta jika kondisi pengukuran tetap konsisten. Hal ini juga bisa disebabkan karena minimnya gangguan eksternal, alam pengukuran antenna, gangguan eksternal seperti pantulan atau interferensi bisa mempengaruhi hasil.

H. Analisa Perbandingan Keseluruhan

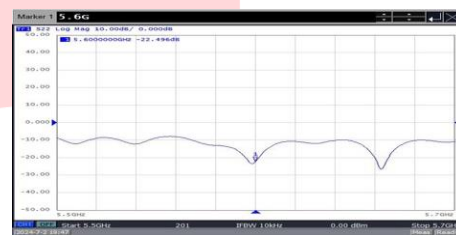


Hasil simulasi, fabrikasi dan optimasi polarisasi tidak berubah semua menghasilkan polarisasi linear. Ini dikarenakan pada tahap optimasi itu hanya memfokuskan

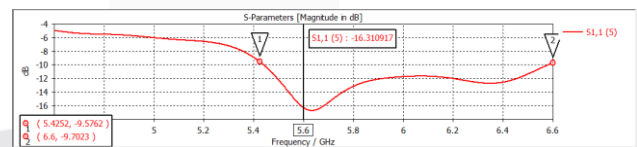
untuk peningkatan parameter gain, return loss, sehingga tidak mempengaruhi polarisasi. Hasil perbandingan keseluruhan dapat dilihat pada Gambar berikut.



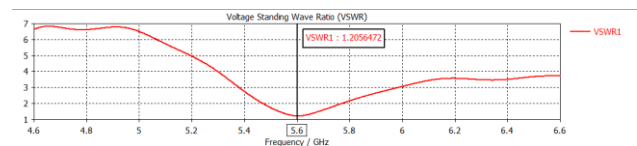
Hasil Simulasi Awal menghasilkan Return Loss sebesar -20,608 dB dengan Bandwidth sebesar 170 MHz menunjukkan bahwa antenna memiliki return loss yang cukup baik (-20,608 dB) dan bandwidth yang relatif lebar (170 MHz). Return loss yang tinggi (nilai negatif yang besar) menunjukkan bahwa antenna cukup efisien dalam memantulkan sedikit energi kembali, dan bandwidth yang lebar mengindikasikan kemampuan antenna untuk beroperasi dalam rentang frekuensi yang luas.



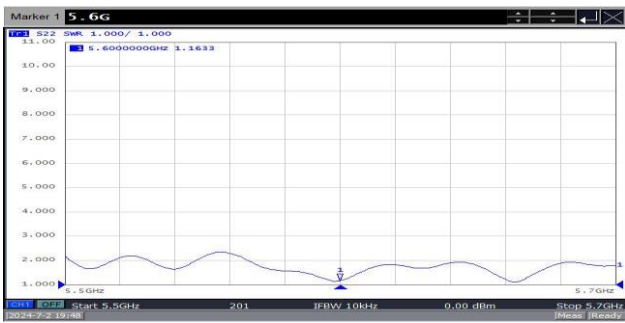
Setelah Fabrikasi menghasilkan return Loss sebesar -22,496 dB dengan Bandwidth sebesar 74 MHz. Artinya setelah proses fabrikasi antenna menunjukkan peningkatan return loss menjadi (-22,496 dB) yang menunjukkan peningkatan efisiensi antenna. Namun, bandwidth mengalami penurunan yang signifikan dari 170 MHz menjadi 74 MHz. Penurunan bandwidth ini bisa disebabkan oleh variasi dalam proses fabrikasi, ketidakakuratan dalam dimensi fisik antenna, atau faktor lain yang mempengaruhi performa antenna.



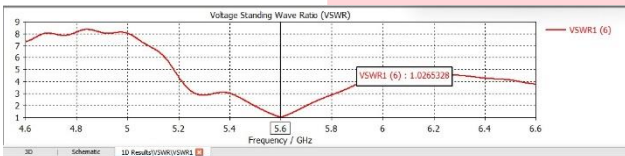
Pada optimasi kedua, peneliti berhasil meningkatkan return loss secara signifikan menjadi -37,659 dB, yang menunjukkan performa yang sangat baik dalam hal pencerminan sinyal. Bandwidth juga meningkat menjadi 210 MHz, yang merupakan kompromi antara bandwidth dan return loss yang lebih baik dibandingkan dengan optimasi pertama.



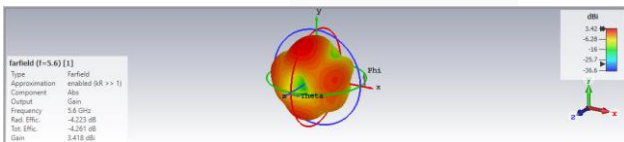
Dengan VSWR sebesar 1,759, antenna dalam simulasi awal menunjukkan bahwa ada sedikit refleksi sinyal yang tidak diinginkan, tetapi masih ada ruang untuk perbaikan.



Setelah fabrikasi, VSWR menurun menjadi 1,163. Ini menunjukkan bahwa efisiensi antenna meningkat setelah proses fabrikasi, yang berarti bahwa antenna menjadi lebih baik dalam meminimalkan refleksi sinyal. Penurunan VSWR ini sejalan dengan peningkatan return loss dari -20,608 dB menjadi -22,496 dB. Namun, bandwidth menurun secara signifikan, menunjukkan bahwa meskipun kualitas pencerminan sinyal membaik, ada trade-off dalam hal bandwidth.

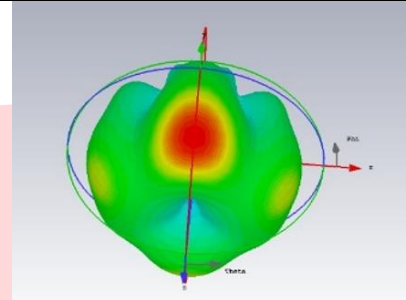


Pada optimasi, VSWR sangat rendah (1,02), yang menunjukkan performa yang sangat baik dalam hal efisiensi pencerminan sinyal. Ini adalah hasil terbaik dari semua tahap, dengan VSWR yang menunjukkan bahwa hampir seluruh sinyal diterima dengan efisien tanpa banyak refleksi. Bandwidth yang diperoleh juga lebih baik dibandingkan dengan simulasi awal dan optimasi pertama, yaitu 210 MHz.

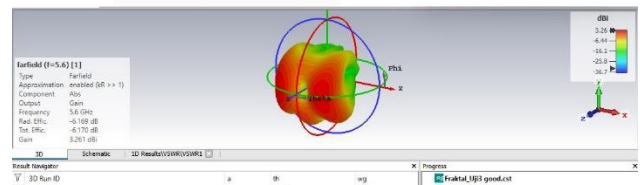


Gain pada simulasi awal memberikan hasil yang relatif baik dengan nilai gain 3.4 dBi. Ini adalah hasil dasar sebelum proses fabrikasi dan optimasi.

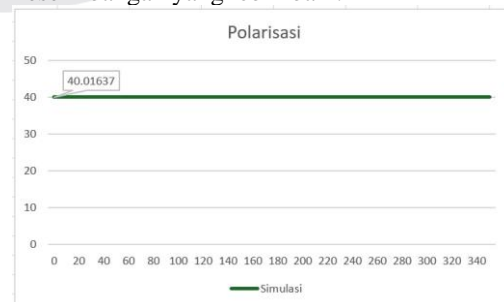
Pengukuran Ke	Prx Antena B		RUMUS
1	-45.471		GRX = S21-GTX+LTX+FSL+LRX
2	-45.636		
3	-45.599		
4	-45.471		
5	-45.548		
6	-45.676	FSL	55.72
7	-46.25	LTX	1.93
8	-45.067	LRX	2.07
9	-45.972	GTX	12
10	-45.875	GRX	2,0635
Rata2	-45,6565		

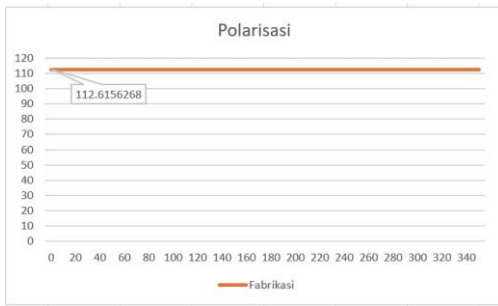


Setelah fabrikasi, terjadi penurunan gain yang signifikan dari 3.4 dBi menjadi 2.063 dBi. Penurunan ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor seperti ketidaksempurnaan dalam proses fabrikasi, ketidaksesuaian antara desain simulasi dan realisasi fisik, atau kualitas material dan teknik fabrikasi yang digunakan. Penurunan ini menunjukkan bahwa ada kehilangan performa saat transisi dari desain simulasi ke realitas fisik.

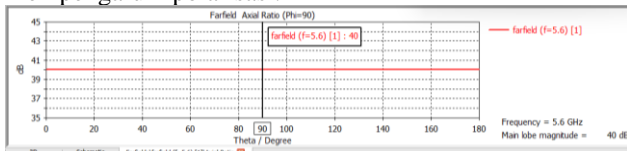


Pada optimasi kedua, gain menurun menjadi 3.261 dBi setelah mencapai puncak pada optimasi pertama. Meskipun masih lebih tinggi daripada gain setelah fabrikasi, penurunan dari optimasi pertama menunjukkan bahwa mungkin ada trade-off antara gain dan parameter lain seperti bandwidth atau return loss. Perubahan yang dilakukan dalam optimasi kedua mungkin memfokuskan pada aspek lain dari performa antenna, mengorbankan sebagian gain untuk mencapai keseimbangan yang lebih baik.



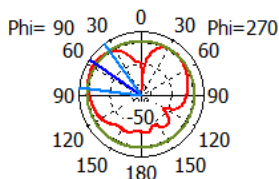


Dari hasil simulasi, fabrikasi dan optimasi polarisasi tidak berubah semua menghasilkan polarisasi linear. Ini dikarenakan pada tahap optimasi itu hanya memfokuskan untuk peningkatan parameter gain, return loss, sehingga tidak mempengaruhi polarisasi.



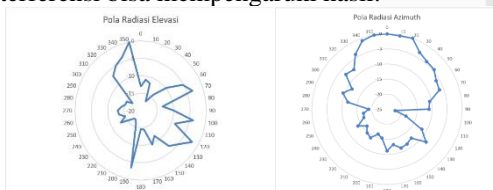
Dari hasil simulasi, fabrikasi dan optimasi polarisasi tidak berubah semua menghasilkan polarisasi linear. Ini dikarenakan pada tahap optimasi itu hanya memfokuskan untuk peningkatan parameter gain, return loss, sehingga tidak mempengaruhi polarisasi.

Farfield Gain Abs (Phi=90)



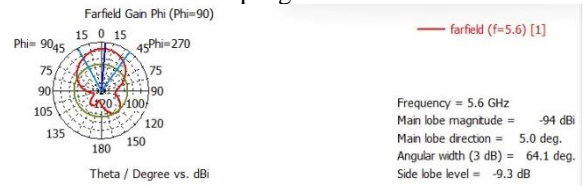
Theta / Degree vs. dBi

Simulasi awal, fabrikasi dan optimasi menunjukkan bahwa pola radiasi konsisten unidirectional. Konsistensi pola radiasi unidirectional pada antenna disebabkan oleh desain fraktal, dan pemeliharaan konfigurasi elemen yang sesuai. Desain antenna yang dirancang untuk menghasilkan radiasi utama dalam satu arah akan mempertahankan pola radiasi unidirectional jika desain dan fabrikasi dilakukan dengan benar, serta jika kondisi pengukuran tetap konsisten. Hal ini juga bisa disebabkan karena minimnya gangguan eksternal, alam pengukuran antenna, gangguan eksternal seperti pantulan atau interferensi bisa mempengaruhi hasil.



Simulasi awal, fabrikasi dan optimasi menunjukkan bahwa pola radiasi konsisten unidirectional. Konsistensi pola radiasi unidirectional pada antenna disebabkan oleh desain fraktal, dan pemeliharaan konfigurasi elemen yang sesuai. Desain antenna yang dirancang untuk menghasilkan radiasi utama dalam satu arah akan mempertahankan pola radiasi unidirectional jika desain dan fabrikasi dilakukan dengan benar, serta jika kondisi pengukuran tetap konsisten. Hal ini juga bisa disebabkan karena minimnya gangguan eksternal,

alam pengukuran antenna, gangguan eksternal seperti pantulan atau interferensi bisa mempengaruhi hasil.



Simulasi awal, fabrikasi dan optimasi menunjukkan bahwa pola radiasi konsisten unidirectional. Konsistensi pola radiasi unidirectional pada antenna disebabkan oleh desain fraktal, dan pemeliharaan konfigurasi elemen yang sesuai. Desain antenna yang dirancang untuk menghasilkan radiasi utama dalam satu arah akan mempertahankan pola radiasi unidirectional jika desain dan fabrikasi dilakukan dengan benar, serta jika kondisi pengukuran tetap konsisten. Hal ini juga bisa disebabkan karena minimnya gangguan eksternal, alam pengukuran antenna, gangguan eksternal seperti pantulan atau interferensi bisa mempengaruhi hasil.

Parameter Simulasi Awal Optimasi

Parameter	Simulasi Awal	Optimasi
wg	150	156
lg	80	90
t	0,035	0,035
h	1,6	1,6
wf1	2,9	2,9
lf	8	8
a	31	31
th	50	52,42
d	20	20
t1	17	17
x1	34	34
d1	2	2
d2	5	5
a1	3	3

Pada optimasi kali ini seperti yang terlihat pada table 4.3 Perbandingan parameter antenna, ada beberapa optimasi yang dilakukan.

1. Pada lebar groundplane (wg), pada optimasi diperlebar sebesar 6mm, yang bertujuan untuk meningkatkan gain atau stabilitas antenna.
2. Pada panjang groundplane (lg), pada optimasi 2, yang masih lebih besar dibandingkan simulasi awal, menandakan pencarian keseimbangan optimal.
3. Kemudian ketebalan substrat (t), tinggi dari FR4 (h), Width of Feed (wf1), Length of Feed (lf), Diameter (d), Thickness of Substrate (t1), Dimension 1 (x1), Dimension 2 (d1), Dimension 3 (d2), dan Dimension 4 (a1) tetap konstan di semua iterasi, menunjukkan bahwa nilai-nilai ini dianggap optimal atau tidak memerlukan perubahan.
4. Pada Angle (a) masih sama dengan nilai awal pada optimasi, yang mencerminkan eksperimen untuk menemukan sudut optimal.
5. Tinggi Patch fraktal (th) ditingkatkan pada optimasi 1 sebesar 3mm dan diturunkan sedikit pada optimasi 2, Secara keseluruhan, iterasi ini menunjukkan penyesuaian pada beberapa parameter untuk mencapai konfigurasi antenna yang optimal.

Parameter	Spesifikasi	Simulasi	Fabrikasi	Optimasi
Return Loss	<-10dB	-20.608 dB	-22.496 dB	-37.659 dB
VSWR	<2	1.759	1.163	1.02
Gain	>2 dBi	3.4 dBi	2.063 dBi	3.261 dBi
Pola Radiasi	Unidirectional	Unidirectional	Unidirectional	Unidirectional
Polarisasi	Linear	Linear	Linear	Linear
Bandwidth	>30MHz	170MHz	74MHz	210MHz

Analisis perbandingan parameter antenna mikrostrip menunjukkan bahwa Return Loss mengalami peningkatan signifikan dari -20,608 dB pada simulasi menjadi -37,659 dB pada Optimasi Fraktal, menunjukkan pengurangan pantulan yang lebih baik. VSWR juga menunjukkan perbaikan, dengan nilai terendah 1,02 pada Optimasi Fraktal, yang jauh lebih baik daripada nilai spesifikasi <2. Semua versi antenna tetap mempertahankan Pola Radiasi dan Polarisasi yang unidirectional dan linear. Terakhir, Bandwidth menunjukkan peningkatan yang signifikan pada Optimasi 2 sebesar 210MHz, jauh melampaui spesifikasi >30 MHz, dibandingkan dengan lebar pita 74 MHz pada fabrikasi. Secara keseluruhan, hasil optimasi menunjukkan perbaikan yang signifikan dalam performa antenna mikrostrip dibandingkan dengan spesifikasi awal dan hasil fabrikasi.

V. KESIMPULAN

Pada analisis atas hasil simulasi, pengukuran dan optimasi lanjutan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perancangan dan implementasi antenna mikrostrip antenna array fractal 2X1 pada frekuensi C band radar cuaca telah berhasil direalisasikan, namun masih butuh optimasi di beberapa parameter seperti return loss, VSWR, gain dan bandwidthnya.
2. Optimasi memberikan return loss terbaik (-37,659 dB), menunjukkan peningkatan efisiensi antenna yang signifikan dibandingkan dengan simulasi awal dan hasil setelah fabrikasi. Bandwidth Pada optimasi cukup lebar (210 MHz) dan dengan return loss yang sangat baik. Secara keseluruhan, optimasi tampaknya memberikan keseimbangan terbaik antara return loss dan bandwidth. Peningkatan return loss yang signifikan dengan bandwidth yang masih cukup lebar adalah hasil yang paling optimal, dibandingkan dengan hasil-hasil sebelumnya yang menunjukkan trade-off antara keduanya.
3. Secara keseluruhan, optimasi menghasilkan gain terbaik (3,261dBi), menunjukkan perbaikan desain yang efektif dan memberikan keseimbangan yang lebih baik antara

berbagai parameter performa antenna seperti bandwidth dan return loss.

4. Desain Unidirectional dan Polarisasi Linear: Desain antenna yang digunakan berhasil mempertahankan pola radiasi unidirectional dan polarisasi linear, yang menunjukkan keberhasilan dalam desain antenna yang memenuhi karakteristik performa yang diinginkan.

REFERENSI

- [1] Darmawan, Bayu. 2020. "Perancangan Antena Mikrostrip Array 2X1 Untuk Aplikasi Radar C-Band Pada Frekuensi 5,6 GHZ." *Skripsi*.
- [2] Khan,Ijaz, Habib Ullah, Inam Ullah. 2022 " Designed Circularly Polarized Two-Port Microstrip MIMO Antenna for WLAN Applications " *Jurnal MDPI*.
- [3] H Y Salazar. 2020. " Design of microstrip antenna C-band frequency for ground surveillance radar." *Jurnal IEEE*.
- [4] Ashutosh Kedar, Amit S.Bisht. 2020. "GaN Based Wide Band C-Band Active Phased Array Antenna Design with Wide Scan Volume ." *Jurnal IEEE*.
- [5] Imam Ichwani, Heroe Wijanto , Yuyu Wahyu,. 2018. "Antena Mikrostrip Fraktal – Bowtie 2-18 GHz Untuk Elektronik Support Measure." *Jurnal Vol.4: 1973*.
- [6] Ki-Ho Kim, Hyun Kim, Dong-Yoon Kim. 2018. "Development of Planar Active Phased Array ." *Jurnal (Antennas dan Propagation)*.
- [7] Lei Gan, Wen Jiang, Member, IEEE. 2021. "Method to Estimate Antenna Mode Radar Cross Section of Large-scale Array Antennas." *Jurnal (ANTENNAS AND PROPAGATION)*.
- [8] Ramadhan, Fajar Wahyu. 2020. "Antena Fraktal Mikrostrip Multi-Band untuk Aplikasi Radar S-Band dan C-Band." *Telekomunikasi dan Komputer (ELTICOM)*.
- [9] Slimani, Abdellatif 2017. " Ultra Wideband Planar Microstrip Array Antennas for C-Band Aircraft Weather Radar Applications." *HINDAWI*.
- [10] Madiawati, Hanny 2023. " Antena Mikrostrip Multilayer Parasitik pada Frekuensi C-Band Radar Cuaca." *ELKOMIKA*.