

ABSTRACT

Radar Doppler is a special radar that uses the Doppler effect to generate speed data about objects at a distance. This is done by electromagnetic wave to the desired target and listening to reflections, then analyzing how the frequency of the return signal has been changed by the motion of the object. This variation provides a direct and very accurate measurement of the radial component of the target speed relative to the radar. Microstrip antennas are popular antennas because they have many advantages such as small dimensions, low manufacturing costs, easy to manufacture, low weight so that they are compatible and easy to apply.

This research will analyze the arrangement of 2×2 planar antennas which aims to facilitate the control of radiation patterns and Gain values that are sufficient to meet the specifications of the antenna for the application of linear polarized Doppler radar sensors that work on the 10.45 GHz frequency band with 200 MHz bandwidth. Design and simulation of microstrip antennas will be done by antenna designing software. The realization of the antenna will use Roger 5880 as a substrate material and copper as a groundplane and patch.

The results of the design simulation will be verified by the measurement results of the antenna that has been realized. From the realization of the planar arrangement of 2×2 square microstrip antennas for radar doppler sensor applications, the value of return loss is -20.4 dB, VSWR 1.2, Gain 7.76 dB, Bandwidth 300 MHz.

Keywords: *Doppler Radar Sensor, Antenna, Microstrip, Planar array, Bandwidth.*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanya bagi Tuhan Yesus Kristus, oleh karena anugerah-Nya yang besar dan kasih setia-Nya akhirnya penulis bias menyelesaikan penulisan tugas akhir guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Telekomunikasi yang berjudul **SUSUNAN PLANAR 2×2 ANTENA MIKROSTRIP PERSEGI 10,45 GHz UNTUK APLIKASI SENSOR RADAR DOPPLER.**

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk bias memperbaiki tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat berguna bagi para pembaca, penulis, serta bagi dunia Pendidikan. Terimakasih

Bandung, 17 Januari 2020

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Selama mengerjakan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Papa (B. B. Aritonang S.H), Mama (Ir. Fanny Sophia W. Hutapea), Rey, dan Joan yang telah memotivasi dan memberikan doa kepada penulis agar penulis bisa menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Telekomunikasi.
2. Bapak Dr. Ir. Heroe Wijanto M.T. selaku Pembimbing 1 yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan masukan, bimbingan, saran, kritikan dan motivasi kepada penulis.
3. Ibu Trasma Yunita, S.T., M.T. selaku Pembimbing 2 yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan masukan, bimbingan, saran, kritikan dan motivasi kepada penulis.
4. Bapak Dharu Arseno S.T., M.T. selaku dosen wali TT-39-08 yang selalu memberi arahan kepada penulis selama berkuliah di Telkom University.
5. Seluruh dosen S1 Teknik Telekomunikasi yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
6. Sahabat dan keluarga terbaik yang pernah saya punya, Bayu, Yuda, Fikri, Gery, Sekip, Rakdew, Ayang, Ryan, Alqi, Quenta, Laily, Dyka yang selalu memotivasi penulis.
7. Teman-teman STM dan keluarga besar Telco Hooligans.
8. Teman-teman UKM Nenax, G-43, i-10C yang sudah mengisi hari-hari penulis selama 4.5 tahun.
9. Teman-teman Forcy, PKKMB, PMK yang sudah mengajari penulis bagaimana cara berorganisasi.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
DAFTAR SIMBOL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	10
1.1 Latar Belakang	10
1.2 Rumusan Masalah	11
1.3 Tujuan dan Manfaat	11
1.4 Batasan Masalah.....	11
1.5 Metode Penelitian	11
BAB II KONSEP DASAR.....	13
2.1 Planar Array	13
2.2 Antena	15
2.3 Mikrostrip Antena	16
2.3.1 Rectangular Patch Antena Mikrostrip.....	17
2.3.2 Pencatuan Antena Mikrostrip	19
2.3.2.1 Mikrostrip <i>Feed Line</i>	19

2.4	Radar Sensor <i>Doppler</i>	21
BAB III MODEL SISTEM DAN PERANCANGAN		22
3.1	Diagram Alir Perancangan.....	22
3.1.1	Diagram Alir Simulasi.....	23
3.2	Diagram Blok Sistem Radar Doppler	24
3.3	Penentuan Spesifikasi Antena	24
3.4	Perancangan Antena.....	25
3.4.1	Pemilihan jenis <i>patch</i>	25
3.4.2	Perancangan dimensi <i>ground plane</i>	27
3.4.3	Perencanaan dimensi saluran transmisi (<i>feedline</i>).....	28
3.4.4	Parameter Antena Hasil Perhitungan.....	29
3.5	Proses simulasi antena	29
3.5.1	Simulasi Antena 1 Elemen.....	29
3.5.2	Simulasi Antena 2 Elemen.....	32
3.5.3	Simulasi Antena 4 Elemen.....	36
3.6	Hasil Simulasi	39
BAB IV HASIL DAN ANALISIS.....		40
4.1	Konfigurasi Pengukuran	40
4.2	Pengukuran Parameter Medan Dekat.....	41
4.2.1	Analisis Hasil Pengukuran <i>Return loss</i>	41
4.2.2	Analisis Hasil Pengukuran VSWR	42
4.2.3	Analisis Hasil Pengukuran <i>Bandwidth</i>	44
4.2.4	Analisis Hasil Pengukuran Impedansi	45
4.3	Pengukuran Parameter Medan Jauh	45
4.3.1	Hasil dan Analisa Pola Radiasi.....	46
4.3.2	Hasil dan Analisa Polarisasi	47

4.3.3	Hasil dan Analisa Pengukuran Gain	48
4.4	Analisis Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran	49
4.4.1	Analisis VSWR, <i>Return loss</i> , Impedansi, dan <i>Bandwidth</i>	50
4.4.2	Analisis <i>Gain</i>	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....		53
LAMPIRAN		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Geometri Planar Array[7].....	13
Gambar 2. 2 Plannar Array 2×2	13
Gambar 2. 3 Geometri 2 Dimensi Planar Array[7]	15
Gambar 2. 4 Pola Radiasi Plannar Array 2×2[7]	15
Gambar 2. 5 Antena pada blok sistem komunikasi.....	16
Gambar 2. 6 Geometri Antena Mikrostrip	17
Gambar 2. 7 Pencatuan Antena Mikrostrip[11]	19
Gambar 2. 8 Mikrostrip Feedline[11]	20
Gambar 2. 9 Radar Sensor Doppler	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan	22
Gambar 3. 2 Diagram Alir Simulasi	23
Gambar 3. 3 Blok Sistem Radar Doppler.....	24
Gambar 3. 4 Desain Satu Elemen Antena	30
Gambar 3. 5 Nilai Return Loss Antenna Patch Rectangular Sebelum Optimasi .30	
Gambar 3. 6 Axial Ratio Single Patch Sebelum Optimasi.....	30
Gambar 3. 7 Nilai Return loss Satu Elemen Antenna Patch Rectangular Setelah Optimasi.....	31
Gambar 3. 8 Pola Radiasi dan Gain Single Patch Setelah Optimasi.....	32
Gambar 3. 9 Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi LHCP dan HPBW Ternormalisasi Antena 1 Elemen Setelah Optimasi	32
Gambar 3. 10 Nilai Axial Ratio Antena 1 Elemen.....	32
Gambar 3. 11 Desain Antena Susunan 2 Elemen.....	33
Gambar 3. 12 Nilai Return Loss Antenna Patch Rectangular 2 Elemen Sebelum Optimasi.....	33
Gambar 3. 13 Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi LHCP dan HPBW Antena 2 Elemen Sebelum Optimasi	33
Gambar 3. 14 Nilai Axial Ratio Antena 2 Elemen Sebelum Optimasi	34
Gambar 3. 15 Nilai Return Loss Antenna Patch Rectangular 2 Elemen Setelah Optimasi.....	34

Gambar 3. 16	Pola Radiasi Antena 2 Elemen Setelah Optimasi Azimuth dan Elevasi LHCP dan HPBW Ternormalisasi	34
Gambar 3. 17	Nilai Axial Ratio Antena 2 Elemen Setelah Optimasi	35
Gambar 3. 18	Pola Radiasi dan Gain dari Simulasi 2 Elemen Setelah Optimasi (3D).....	35
Gambar 3. 19	Desain Antena Susunan Planar 4 Elemen	36
Gambar 3. 20	Nilai Return Loss Antenna Patch Rectangular 4 Elemen Sebelum Optimasi.....	37
Gambar 3. 21	Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi LHCP dan HPBW Antena 4 Elemen Sebelum Optimasi	37
Gambar 3. 22	Nilai Axial Ratio Antena 4 Elemen Sebelum Optimasi	37
Gambar 3. 23	Nilai Return Loss Antenna Patch Rectangular 4 Elemen Setelah Optimasi.....	37
Gambar 3. 24	Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi LHCP dan HPBW Ternormalisasi Antena 4 Elemen Setelah Optimasi	38
Gambar 3. 25	Nilai Axial Ratio Antena 4 Elemen Setelah Optimasi	38
Gambar 3. 26	Pola Radiasi dan Gain 4 Elemen Setelah Optimasi.....	38
Gambar 4. 1	Hasil Pengukuran Return Loss di Network Analyzer	41
Gambar 4. 2	Perbandingan Return loss hasil simulasi dan pengukuran	42
Gambar 4. 3	Hasil Pengukuran VSWR di Network Analyzer	43
Gambar 4. 4	Perbandingan VSWR hasil simulasi dan pengukuran.....	43
Gambar 4. 5	Bandwidth Antena Hasil Pengukuran	44
Gambar 4. 6	Hasil Pengukuran Impedansi di Network Analyzer	45
Gambar 4. 7	Perbandingan Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi pada pengukuran dan simulasi	46
Gambar 4. 8	Hasil Pengukuran Polarisasi.....	47
Gambar 4. 9	Konfigurasi Pengukuran Gain	48

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Hasil Perhitungan Awal	29
Tabel 3.2 Nilai Parameter Dimensi Antena <i>Single Patch Microstrip Feed Line</i> . 31	
Tabel 3.3 Nilai Parameter Dimensi Antena 2 Elemen <i>Patch Microstrip Line Feed</i>	35
Tabel 3.4 Nilai Parameter Dimensi Antena 4 Elemen <i>Patch Microstrip Feed Line</i>	39
Tabel 3.5 Perbandingan Hasil Simulasi.....	50
Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran	51
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran	52

DAFTAR ISTILAH

<i>Axial Ratio</i>	: Ratio Perbandingan orthogonal suatu medan
<i>Bandwidth</i>	: Bandwidth adalah range frekuensi kerja antena, dimana antena diusahakan Bekerja dengan efektif agar dapat menerima dan memancarkan gelombang elektromagnetik
<i>Gain</i>	: Perbandingan antara rapat daya per satuan unit antena terhadap rapat daya antena referensi dalam arah dan daya masukan yang sama
Pola Radiasi	: Penggambaran suatu sifat radiasi antena pada daerah medan jauh.
Polarisasi antena	: Sebagai arah vector medan listrik yang diradiasikan oleh antena pada arah Propagasi.
<i>Return Loss</i>	: Parameter yang mengindikasikan hilangnya sejumlah daya karena terserap beban dan tidak kembali sebagai gelombang pantul.
VSWR	: Voltage Standing Wave Ratio yaitu perbandingan besarnya gelombang pantul dan gelombang yang dipancarkan

DAFTAR SIMBOL

λ	= Panjang gelombang (m)
C	= Kecepatan gelombang di ruang hampa (3×10^8 m/s)
F	= Frekuensi kerja (Hz)
L	= Panjang <i>patch</i>
W	= Lebar <i>patch</i>
ϵ_r	= Konstanta dielektrik <i>substrate</i>
ΔL	= Panjang tepi <i>patch</i>
ϵ_{re}	= Konstanta dielektrik efektif <i>substrate</i>
t	= Ketebalan <i>substrate</i>
Z_A	= Impedansi antenna
R	= Jarak antara antenna pemancar dan antenna penerima (m)
D	= Ukuran terpanjang dimensi antenna (m)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Badan Pusat Statistik tercatat jumlah kendaraan bermotor di Indonesia 138.556.669 di tahun 2017[1]. Hal tersebut mengakibatkan kemacetan lalu lintas karena meningkatnya jumlah kendaraan. Oleh sebab itu sangat dibutuhkan pengontrolan lalu lintas untuk mengurangi kemacetan. Peningkatan jumlah pengembangan sejumlah sistem aktif maupun pasif oleh peminat industri otomotif didasari oleh keadaan lalu lintas saat ini. Radar merupakan alat untuk mendeteksi gelombang elektromagnetik dari target yang bergerak untuk mengamati posisi target dan menghitung kecepatan dan jarak target sampai diterima kembali oleh radar.

Radar doppler adalah radar yang mampu menghitung kecepatan kendaraan dan kecepatan relatif antara mobil dengan *obstacle* menggunakan efek Doppler. Radar doppler memiliki kemampuan untuk navigasi dan bisa digunakan untuk mendeteksi kecepatan suatu benda yang bergerak. Pendekatan radar doppler digunakan untuk menghasilkan tanda pergerakan sebuah mobil. Frekuensi radar dipilih berdasarkan regulasi penerimaan tabel alokasi spektrum frekuensi radio Indonesia[2]. Frekuensi kerja tengah dari 10,4 GHz – 10,5 GHz adalah frekuensi X-band yang digunakan untuk antena radar sensor Doppler pada tugas akhir ini.

Untuk menyelesaikan permasalahan diatas dirancanglah antena susunan planar mikrostrip yang dapat digunakan untuk aplikasi radar sensor Doppler agar dapat membantu menyelesaikan permasalahan tersebut. Dalam tugas akhir ini mengembangkan antena *array* mikrostrip dengan teknik pencatutan *microstrip feed line* untuk aplikasi radar sensor Doppler[3], yang mampu menghasilkan *gain* 10 dBi, *bandwidth* yang sesuai dengan spesifikasi radar yaitu sebesar 100 MHz dan mendapatkan pola radiasi *bidirectional* [4][5].

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana merancang dan merealisasikan antenna *array* mikrostrip dengan teknik pencatutan *proximity array* pada frekuensi tengah 10,45 GHz pada nilai $VSWR \leq 1.5$
2. Bagaimana menentukan spesifikasi yang tepat dari antenna *array* mikrostrip agar dapat bekerja pada frekuensi tengah 10,45 GHz.
3. Bagaimana analisis hasil dari pengujian parameter-parameter antenna *array* mikrostrip *dual beam* yang telah diimplementasikan.
4. Bagaimana perbandingan antara analisis hasil pengukuran langsung dan pengujian menggunakan simulasi *software*.

1.3 Tujuan dan Manfaat

1. Merancang dan mengimplementasikan antenna *array* mikrostrip untuk aplikasi radar sensor Doppler dengan spesifikasi teknik antenna adalah:
2. Memahami karakteristik antenna *array* mikrostrip *feed line array* dalam mempengaruhi VSWR antenna.
3. Menguji hasil rancangan antenna dengan simulasi untuk melihat parameter-parameter antenna yang dihasilkan kemudian merealisasikannya.
4. Menganalisa parameter antenna hasil simulasi dan hasil implementasi.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan pada tahap simulasi dan analisis.
2. Penelitian hanya berfokus pada antenna.

1.5 Metode Penelitian

1. Studi Literatur

Proses pembelajaran teori yang digunakan dan pengumpulan literatur berupa buku referensi, artikel, serta jurnal yang mendukung dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

2. Simulasi dan Perancangan

Proses perancangan antenna menggunakan *software* simulasi. Parameter yang akan disimulasikan antara lain VSWR, impedansi, *gain* dan pola radiasi yang

ditampilkan dalam bentuk grafik atau gambar. Setelah disimulasikan antena dirancang dalam bentuk *hardware*.

3. Pabrikasi

Proses pabrikasi dilakukan dengan *fotoetching* dan dilakukan oleh pihak lain yang berpengalaman, dengan ukuran yang telah diperoleh dari proses simulasi dan optimasi.

4. Pengukuran

Proses pengukuran meliputi pengukuran VSWR, impedansi, pola radiasi *gain* dan pola polarisasi.

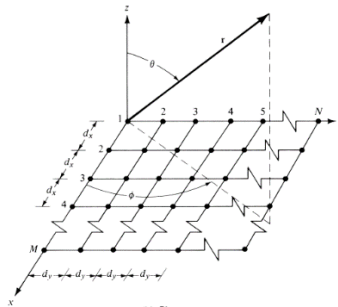
5. Analisis

Analisis dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan teori dan hasil simulasi. Setelah dibandingkan kemudian dianalisis

BAB II KONSEP DASAR

2.1 Planar Array

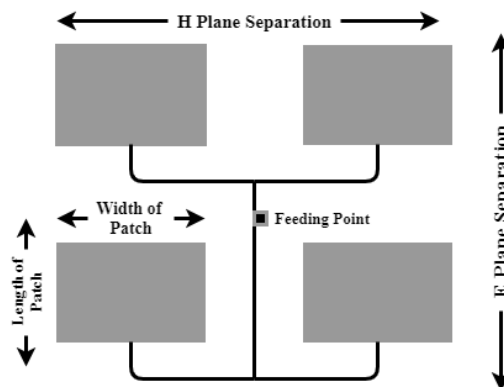
Planar array memiliki kelebihan dalam pengendalian dan pengaturan arah pola radiasi serta meningkatkan nilai *gain*. Dalam bentuk fungsi koordinasi pola radiasi dapat didefinisikan sebagai fungsi representasi grafis dari komponen-komponen radiasi[6][7].



Gambar 2. 1 Geometri Planar Array[7]

Planar array menyediakan variabel tambahan yang dapat digunakan untuk mengontrol dan membentuk pola array. Array planar lebih fleksibel dan dapat memberikan pola yang lebih simetris dengan lobus sisi bawah. Selain itu, mereka dapat digunakan untuk memindai balok utama antenna menuju titik mana pun di ruang angkasa. Aplikasi termasuk radar pelacak, radar pencarian, penginderaan jauh, komunikasi, dan banyak lainnya. Susunan slot planar, yang digunakan dalam Sistem Peringatan dan Kontrol Lintas Udara (AWACS)[7][5].

Susunan Antena Planar Array untuk 4 elemen (2x2)



Gambar 2. 2 Plannar Array 2x2

Dapat ditulis sesuai

$$\sum_{m=1}^M I_m e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \quad (2.1)$$

Dimana m adalah koefisien eksitasi setiap elemen. Jarak dan progresif pergeseran fasa antara elemen-elemen di sepanjang sumbu x direpresentasikan, masing-masing oleh dx dan β_x . Jika N array tersebut ditempatkan bersebelahan di arah y , jarak terpisah dan dengan fase progresif β_y . Faktor array untuk seluruh array planar dapat ditulis sebagai berikut.

$$AF = \sum_{n=1}^N I_n \left[\sum_{m=1}^M I_m e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \right] e^{j(n-1)(kd_y \sin \theta \sin \phi + \beta_y)} \quad (2.2)$$

Atau

$$AF = S_{xm} S_{yn} \quad (2.3)$$

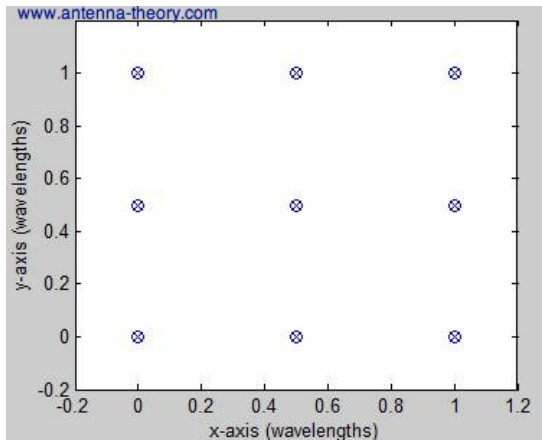
Dimana

$$S_{xm} = \sum_{m=1}^M I_m e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \quad (2.4)$$

$$S_{yn} = \sum_{n=1}^N I_n e^{j(n-1)(kd_y \sin \theta \sin \phi + \beta_y)} \quad (2.5)$$

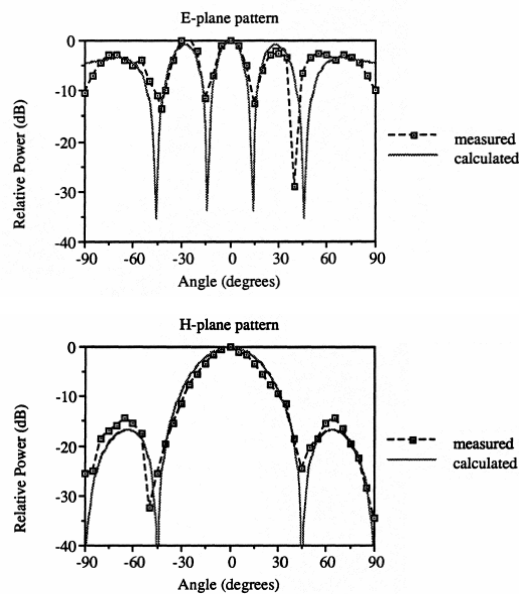
Element total pada 2 element array

$$E_t = E_1 + E_2 = \bar{a}_\phi j \eta \frac{k I_0 l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j[kr_1 - (\frac{\beta}{2})]}}{r_1} \cos \phi_1 + \frac{e^{-j[kr_2 + (\frac{\beta}{2})]}}{r_2} \cos \phi_2 \right\} \quad (2.6)$$



Gambar 2. 3 Geometri 2 Dimensi Planar Array[7]

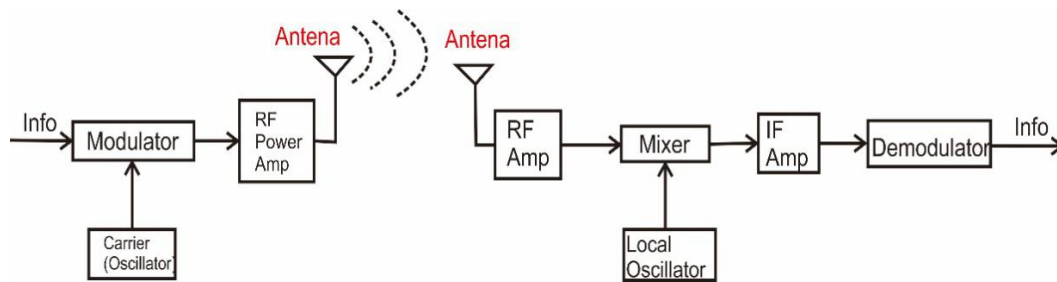
Pola Radiasi sudut azimuth dan elevasi pada Planar Array 2×2:



Gambar 2. 4 Pola Radiasi Plannar Array 2×2[7]

2.2 Antena

Definisi antenna dalam IEEE adalah suatu bagian dari sistem pemancar dan penerima yang didesain untuk meradiasikan atau menerima gelombang elektro magnetik. Sehingga dalam blok diagram sistem komunikasi, selalu dibutuhkan minimal dua buah antena agar dapat berkomunikasi sebagai pengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik ataupun sebaliknya[8]. Antena terletak seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Antena pada blok sistem komunikasi

Untuk mendesain suatu antena, terdapat beberapa aspek yang harus diperhitungkan agar antena tersebut dapat berfungsi dengan efisien. Salah satunya adalah hubungan antara panjang gelombang, kecepatan gelombang di ruang hampa, dan frekuensi kerja yang digunakan. Hubungan tersebut dapat dituliskan dalam bentuk persamaan seperti berikut[6][8]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.7)$$

Dimana,

Λ = Panjang gelombang (m)

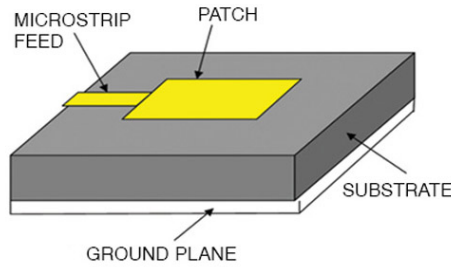
C = Kecepatan gelombang di ruang hampa (3×10^8 m/s)

F = Frekuensi kerja (Hz)

Panjang gelombang yang berkebalikan dengan frekuensi kerja akan berpengaruh pada efisiensi antena dalam meradiasikan atau menerima daya sinyal, sehingga haruslah didesain antena dengan ukuran dimensi yang sesuai dengan panjang gelombangnya[8]. Dengan kata lain, ukuran dimensi antena dapat ditentukan dengan melakukan terlebih dahulu perhitungan panjang gelombang dari frekuensi kerja yang digunakan.

2.3 Mikrostrip Antena

Mikrostrip antena adalah jenis *printed* antena berukuran kecil yang tersusun dari *metallic patch*, *substrate*, dan *ground plane* yang tersusun seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Geometri Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip biasanya memiliki ukuran dimensi dengan tebal sebesar 0.05λ , dimana λ adalah panjang gelombang di udara[6]. Ada empat macam teknik pencatuan atau penyaluran daya kepada antena mikrostrip, 4 diantaranya yang paling dikenal adalah *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling*. Pola radiasi yang dihasilkan oleh antena mikrostrip secara default adalah *single broad unidirectional*, dengan *back radiation* yang sangat sedikit akibat dari penggunaan *ground plane*.

2.3.1 Rectangular Patch Antena Mikrostrip

Penentuan ukuran patch antena mikrostrip dapat ditentukan dengan melakukan perhitungan menggunakan rumus. Bentuk *patch* antena dapat mempengaruhi efisiensi kerja antena, polarisasi antena, dan pola pancaran antena. Pada bentuk patch persegi panjang, terdapat beberapa parameter yang dapat dihitung menggunakan persamaan seperti berikut[9]:

$$L = 0.5 \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta L \quad (2.8)$$

Dimana ΔL adalah panjang tepi dengan persamaan[9]:

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{re}+0.3)\left(\frac{W}{t}+0.264\right)}{(\epsilon_{re}-0.258)\left(\frac{W}{t}+0.8\right)} t \quad (2.9)$$

Dimana ϵ_{re} adalah konstanta dielektrik efektif dengan persamaan[9]:

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_{re}+1}{2} + \frac{\epsilon_{re}-1}{2} \left(1 + \frac{10t}{W}\right)^{-0.5} \quad (2.10)$$

Total panjang tepi, $2\Delta L$, yang mengacu pada kedua tepi adalah jumlah dari panjang patch yang seharusnya dikurangi hingga bernilai kurang dari setengah panjang gelombang untuk mendapatkan resonansi antenna. Sehingga dengan kata lain, ΔL merupakan nilai yang dapat ditambahkan pada *patch* antenna untuk mendapatkan panjang *patch* yang efektif[10].

Untuk menentukan ukuran lebar dari *patch* antenna, dapat ditentukan dengan mengacu pada rumus berikut[9]:

$$W = \frac{\lambda}{2} \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right]^{-1/2} \quad (2.11)$$

Keterangan:

L = Panjang *patch*

W = Lebar *patch*

λ = Panjang gelombang

ϵ_r = Konstanta dielektrik *substrate*

ΔL = Panjang tepi *patch*

ϵ_{re} = Konstanta dielektrik efektif *substrate*

t = Ketebalan *substrate*

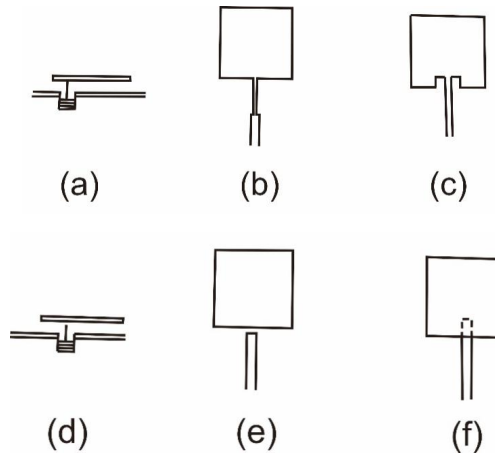
Z_A = Impedansi antenna

Mendesain suatu antenna mikrostrip haruslah berfokus pada optimasi kinerjanya, seperti; memiliki nilai impedansi input yang seharusnya (biasanya 50Ω), memiliki *bandwidth* yang spesifik, dan memiliki efisiensi antenna yang baik[11].

Langkah pertama adalah dengan menentukan panjang *patch* L untuk resonansi dengan *center* frekuensi yang diinginkan menggunakan persamaan (2.7). Selanjutnya, menentukan lebar *patch* dengan pemecahan masalah impedansi antenna pada persamaan (2.11). Bila ingin mendapatkan nilai lebar *patch* dengan efisiensi antenna yang tinggi, maka dapat menggunakan persamaan (2.11). Kemudian, panjang L akan dihitung ulang dengan menggunakan persamaan L yang lebih teliti dengan menggunakan persamaan (2.8) hingga (2.11)

2.3.2 Pencatuan Antena Mikrostrip

Pencatuan utama pada antena mikrostrip dapat dilakukan seperti pada Gambar 2.7 yang dapat diklasifikasikan dalam beberapa grup; pencatuan langsung (a, b, c), pencatuan secara elektromagnet (d, e, f).

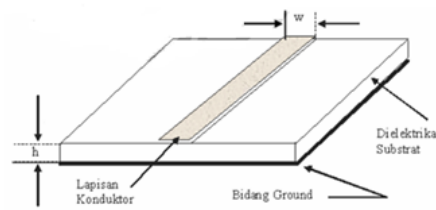


Gambar 2. 7 Pencatuan Antena Mikrostrip[11]

Teknik pencatuan adalah cara untuk mentransfer daya atau energi kepada antena mikrostrip agar antena mikrostrip dapat memancarkan gelombang selayaknya antena pemancar biasa. Ada empat macam teknik pencatuan atau penyaluran daya kepada antena mikrostrip, 4 diantaranya yang paling dikenal adalah *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling*[11]. Pada simulasi dan realisasi, teknik pencatuan yang dipilih adalah *microstrip feed line*.

2.3.2.1 Mikrostrip Feed Line

Saluran transmisi mikrostrip tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah *strip* dengan lebar w dan bidang pentanahan, keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki permitivitas relatif ϵ_r dengan tinggi h seperti pada Gambar 2.8. Parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran transmisi adalah impedansi karakteristiknya Z_0 . Impedansi karakteristik Z_0 dari saluran mikrostrip ditentukan oleh lebar strip (w) dan tinggi substrat (h)[11].



Gambar 2. 8 Mikrostrip *Feedline*[11]

Adapun rumus untuk menentukan lebar saluran pencatu antenna mikrostrip menggunakan catuan *microstrip line* adalah:

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.12)$$

Karakteristik saluran Mikrostrip feed line $w/h > 1$

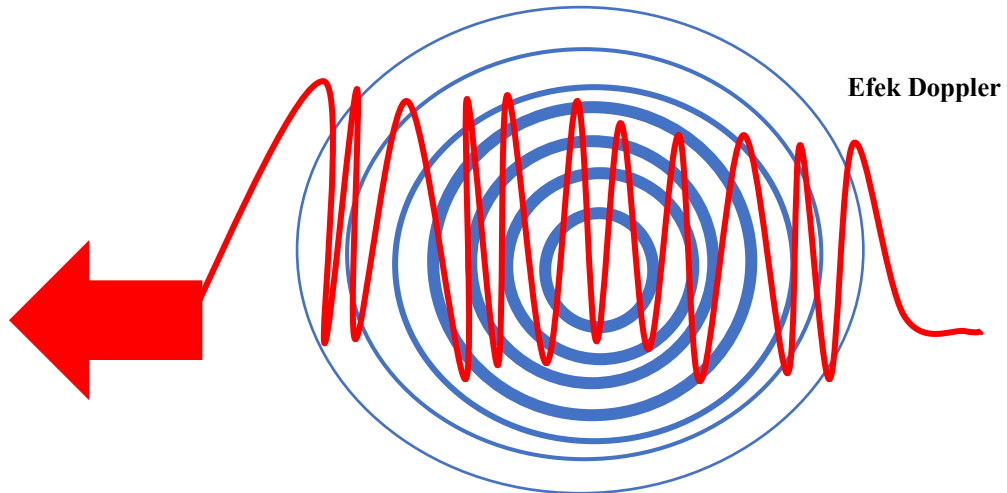
$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

Karakteristik saluran Mikrostrip feed line $w/h < 1$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} + 0,04 \left(1 - \frac{w}{h} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.14)$$

2.4 Radar Sensor *Doppler*

Radar Doppler merupakan jenis radar yang mengukur kecepatan radial dari sebuah objek yang masuk ke dalam daerah tangkapan radar dengan menggunakan efek Doppler seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9[12].



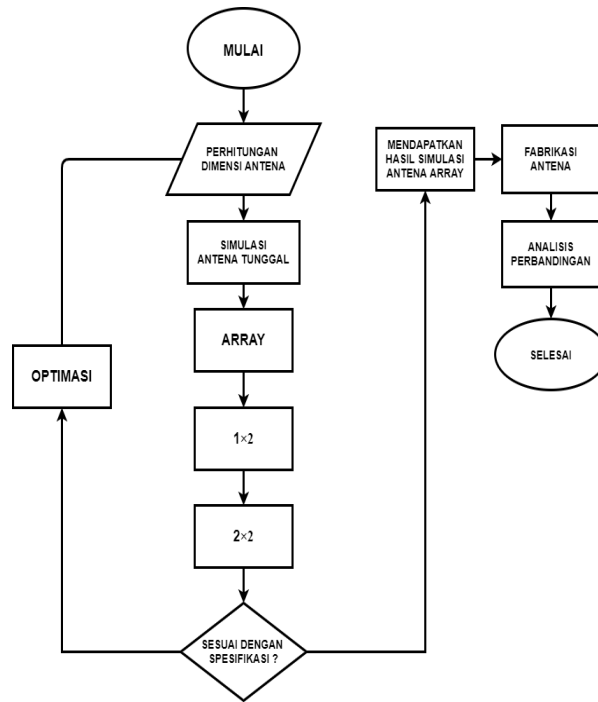
Gambar 2. 9 Radar Sensor Doppler

Pada Gambar 2.9 jika antenna radar Doppler merasakan keberadaan target yang bergerak dengan kecepatan relatif terhadap radar, pergeseran frekuensi terhadap sinyal terima dari *transmitter* disebut frekuensi doppler[5]. Hal ini dilakukan dengan memancarkan sinyal *microwave* (gelombang mikro) ke objek lalu menangkap refleksinya, dan kemudian dianalisis perubahannya. Doppler radar merupakan jenis radar yang sangat akurat dalam mengukur kecepatan radial[13]. Pendekatan radar doppler digunakan untuk menghasilkan tanda pergerakan sebuah mobil untuk bentuk gelombang transmisi dan akan membaca titik tersebar di roda bergerak di sepanjang kurva sikloidal sehubungan dengan radar[12]. Di dalam mobil, gerak empat roda menghasilkan fitur gerak mikro di tanda tangan radar. Namun, sinyal yang diterima adalah dikonversi menggunakan sinyal yang sama untuk mendapatkan sinyal waktu tunda dan informasi pergeseran Doppler[12].

BAB III

MODEL SISTEM DAN PERANCANGAN

3.1 Diagram Alir Perancangan



Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan

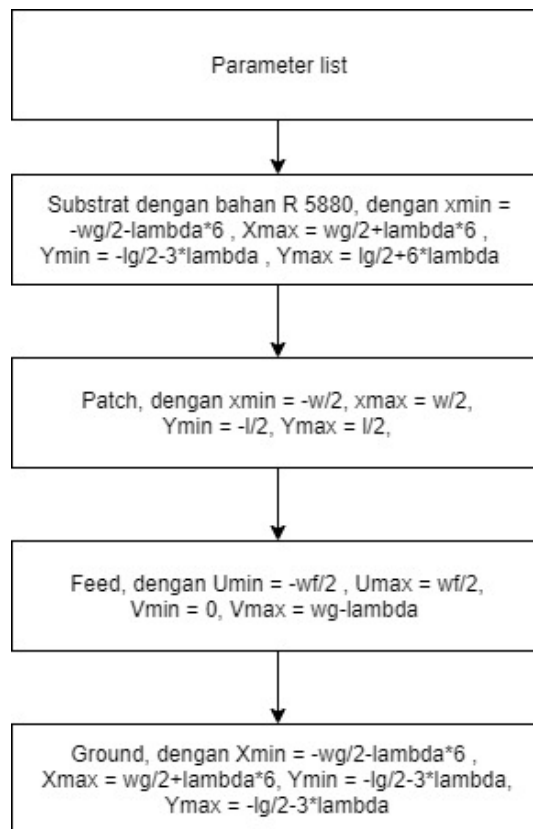
Dalam Tugas Akhir ini penulis melakukan beberapa tahapan proses seperti pada Gambar 3.1, dimulai dari penentuan spesifikasi antenna hingga proses realisasi, berikut merupakan tahapan proses perancangan antenna ditentukan spesifikasi antenna dan metode yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Dirancang antenna tunggal kemudian mendesain antenna *array* 1x2 dan antenna *array* 2x2. Antenna didesain sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Kemudian perancangannya, akan menggunakan *software*. Perancangan yang dilihat pada saat pengujian adalah frekuensi resonansi dari antenna, *return loss*, *bandwidth*, pola radiasi, dan gain. Parameter tersebut akan diuji terlebih dahulu melalui simulasi *software*, Simulasi juga bertujuan untuk mendapatkan hasil simulasi berupa

parameter-parameter antena yang kemudian di analisis untuk membandingkan hasil simulasi dan realisasi antena. Optimasi merupakan proses penyempurnaan pada simulasi. Optimasi dilakukan penulis untuk mendapatkan dimensi dan hasil simulasi yang baik. Selanjutnya penulis melakukan proses simulasi menggunakan *software*. Setelah hasil simulasi didapatkan maka selanjutnya dilakukan analisis. Kemudian dilakukan realisasi dengan melakukan pengujian menggunakan *network analyser* dan *spectrum analyser*. Dilanjut dengan analisis yang dilakukan penulis adalah membandingkan hasil pengukuran dan hasil simulasi.

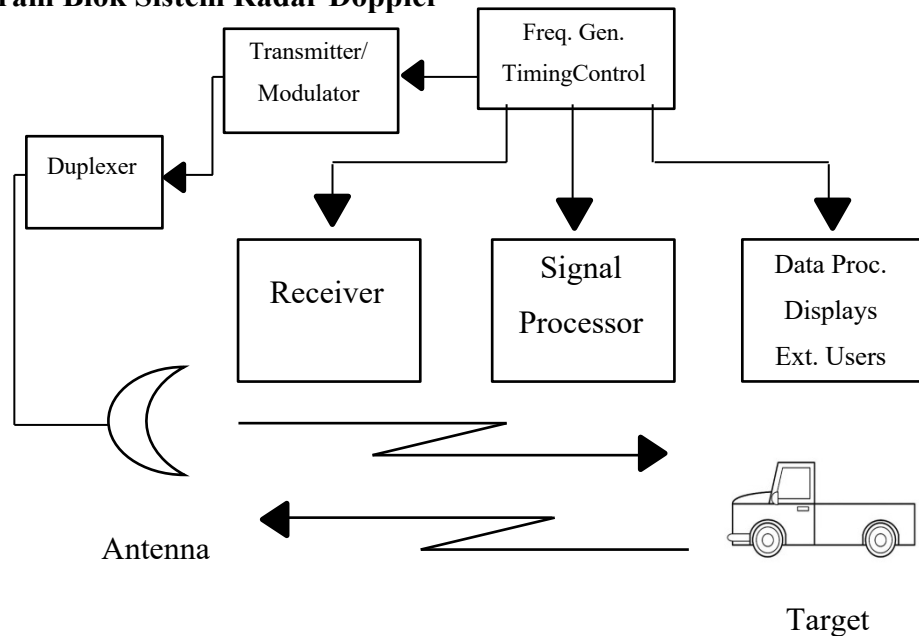
3.1.1 Diagram Alir Simulasi

Simulasi menggunakan software perancangan antenna, berikut merupakan diagram alir dalam proses simulasi:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Simulasi

3.2 Diagram Blok Sistem Radar Doppler



Gambar 3. 3 Blok Sistem Radar Doppler

Dari Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa terdapat bagian *transmit* dan *receive* pada antenna yang merupakan fokus dari penelitian ini. Pada bagian tersebut akan disusun antenna mikrostrip yang dapat bekerja untuk melakukan *transmit* dan *receive* data target gelombang elektromagnetik. Bentuk dan parameter antenna akan dibahas pada bagian selanjutnya[3].

3.3 Penentuan Spesifikasi Antena

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan simulasi dan realisasi antenna mikrostrip *patch* persegi. Untuk melakukan perancangan antenna, langkah pertama adalah menentukan spesifikasi antenna. Spesifikasi antenna yang dibutuhkan pada rancangan antenna mikrostrip ini adalah sebagai berikut:

Frekuensi Kerja	: 10.45 GHz
Gain	: ≥ 10 dBi
Bandwidth	: 100 MHz
VSWR	: ≤ 1.5
Pola Radiasi	: <i>Bidirectional</i>

Substrat yang digunakan pada penelitian ini harus yang memiliki ketebalan tipis serta lentur, sehingga bahan yang dipilih adalah *Roger 5880*. Karakteristik dasar dari *Roger 5880* adalah sebagai berikut:

Permittivitas <i>relative</i> (ϵ_r)	= 2,2
Permeabilitas <i>relative</i> (μ_r)	= 1
Ketebalan dielektrik	= 1,27 mm

Adapun bahan konduktor yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan tembaga (*copper*) dengan tebal 0,035 mm. Pemilihan bahan konduktor didasarkan pada jenis konduktor yang sudah menempel pada paket bahan substrat.

3.4 Perancangan Antena

Pada proses perancangan antenna susunan *planar 2x2 patch* persegi di 10,45GHz untuk aplikasi sensor radar doppler memerlukan bahan yang tepat untuk digunakan sebagai *groundplane patch* dan substrat. Dalam proses perancangan antenna bahan dapat mempengaruhi sebuah perhitungan, bahan pembuatan antenna sangat mempunyai peranan penting.

3.4.1 Pemilihan jenis *patch*

Bentuk *patch* yang akan dirancang adalah persegi. Dimensi dari *patch* mempengaruhi frekuensi kerja dari antenna untuk menentukan dimensi dari *patch* dapat digunakan persamaan dimensi elemen peradiasi (*patch*). Sebelum menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi resonansi (f_c) yang akan digunakan, frekuensi resonansi pada perancangan ini adalah X-Band yaitu 10.4 GHz- 10.5 GHz, frekuensi yang diambil yaitu 10.45 GHz.

$$\lambda = \frac{c}{f_c}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{10,45 \times 10^9} = 0,0287 \text{ m} \approx 0,287 \text{ cm} \approx 28,70 \text{ mm}$$

Panjang gelombang pada saluran transmisi

$$\lambda_d = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\lambda_d = \frac{28,70}{\sqrt{2,2}} = 19,34m$$

Perencanaan dimensi *patch rectangular*

Untuk menentukan radius elemen peradiasi antenna mikrostrip *patch rectangular* dengan menggunakan persamaan berikut :

Lebar Patch 10,45 GHz

$$W = \frac{c}{2f_c \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$$

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10,45 \times 10^9 \sqrt{\frac{(2,2 + 1)}{2}}} = 11,34 \text{ mm}$$

Panjang patch 10,45 GHz

$$L = \frac{c}{2f_c \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 0,824h \left(\frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{eff} + 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \right)$$

$$\frac{3 \times 10^8}{2 \times 10,45 \times 10^9 \sqrt{1,87}} - 0,824 \times 1,27 \left(\frac{(1,87 + 0,3) \left(\frac{11,34}{1,27} + 0,264 \right)}{(1,87 + 0,258) \left(\frac{11,34}{1,27} + 0,8 \right)} \right) = 10,496 \text{ mm}$$

Dengan:

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \cdot \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \cdot \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)}$$

$$\Delta L = 0,412 \cdot 1,27 \cdot \frac{(2,2 + 0,3) \cdot \left(\frac{11,34}{1,27} + 0,264 \right)}{(2,2 - 0,258) \cdot \left(\frac{11,34}{1,27} + 0,8 \right)} = 0,65 \text{ mm}$$

Maka:

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_r \cdot \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2 \cdot \Delta L$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10,45 \times 10^9 \cdot \sqrt{2,2}} - 2(0,65 \cdot 10^{-3}) = 0,00837m = 8,37mm$$

Menentukan panjang gelombang (λ)

$$\lambda = \frac{c}{fc} = \frac{3 \times 10^8}{10,45 \times 10^9} = 0,028m = 2,8 \text{ cm}$$

Lebar substrate (WS)

$$WS = 6h + W \text{ patch}$$

$$6 \times 1,27 + 11,34 = 18,96 \text{ mm}$$

Panjang substrate (LS)

$$LS = 6h + L \text{ patch}$$

$$6 \times 1,27 + 10,496 = 18,116 \text{ mm}$$

Konstanta dielektrik substrat (ϵ_r)

$$(\epsilon_r) = 2,2$$

3.4.2 Perancangan dimensi *ground plane*

Untuk menghitung Panjang dan lebar minimal *ground plane*, masing-masing didapatkan dengan menggunakan:

Lebar substrate (WG)

$$WG = 6h + W \text{ patch}$$

$$6 \times 1,27 + 11,34 = 18,96 \text{ mm}$$

Panjang substrate (LS)

$$LG = 6h + L \text{ patch}$$

$$6 \times 1,27 + 10,496 = 18,116 \text{ mm}$$

Konstanta dielektrik substrat (ϵ_r)

$$(\epsilon_r) = 2,2$$

3.4.3 Perencanaan dimensi saluran transmisi (*feedline*)

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi 50 Ω dapat digunakan dengan persamaan berikut:

$$B = \frac{60(\pi)^2}{z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$B = \frac{60(3,14)^2}{50\sqrt{2,2}}$$

$$B = 7,976$$

Z_0 = Impedansi Karakteristik saluran (50 Ω)

Untuk menentukan lebar saluran, dapat digunakan dengan persamaan berikut:

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

$$W = \frac{2(1,27)}{3,14} \left\{ 7,976 - 1 - \ln(2(7,976 - 1)) \right.$$

$$\left. + \frac{2,2}{2(2,2)} \left[\ln(7,976 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \right\}$$

$$W_f = 4,2 \text{ mm}$$

Untuk menentukan panjang saluran, dapat digunakan dengan persamaan berikut :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W_f} \right)^{-1/2}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{2,2 + 1}{2} + \frac{2,2 - 1}{2} \left(1 + \frac{12(1,27)}{4,2} \right)^{-1/2}$$

$$\epsilon_{eff} = 1,87$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

$$\lambda_g = \frac{28,70}{\sqrt{1,87}} = 2,098 \text{ mm}$$

Jarak antara elemen (d)

$$d = \frac{\lambda_o}{2}$$

$$d = \frac{0,0287}{2} = 0,01435 = 14,35 \text{ mm}$$

3.4.4 Parameter Antena Hasil Perhitungan

Pada Tabel 3.1 menunjukkan hasil parameter perhitungan awal sebelum dilakukan optimasi terhadap dimensi antena.

Tabel 3. 1 Parameter Hasil Perhitungan Awal

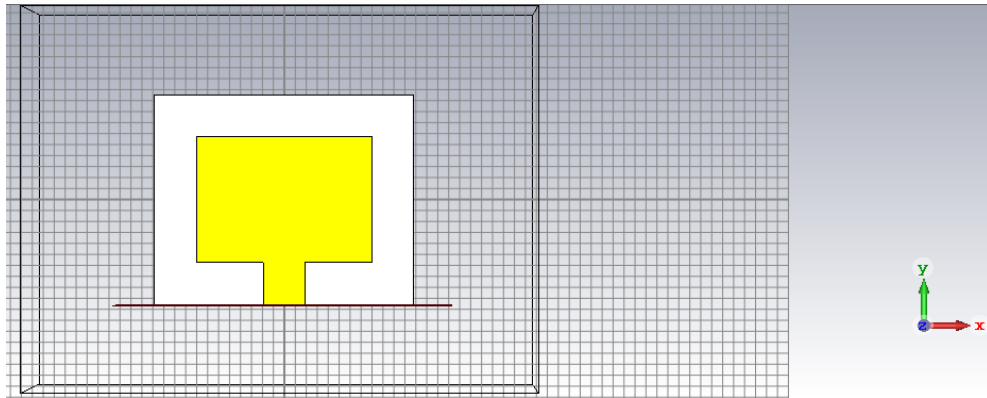
No.	Parameter	Sebelum Optimasi (mm)
1	Lebar <i>groundplane</i>	18,96
4	Lebar <i>feedline 50</i>	4,2
5	Tebal tembaga	0,035
7	Panjang <i>groundplane</i>	18,116
10	Panjang <i>feedline 50</i>	2,098
11	Tebal substrat	1,27
12	Jarak antar <i>patch</i>	14,35

3.5 Proses simulasi antena

Pada penelitian tugas akhir ini, akan dilakukan simulasi dengan *software* perancangan antena sebelum direalisasi. Simulasi terdiri dari beberapa tahap, dimulai dari desain awal antena sesuai hasil perhitungan. Jika hasil simulasi desain awal tidak sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan, maka akan dilakukan optimasi dan juga menggunakan teknik tertentu agar spesifikasi dapat tercapai.

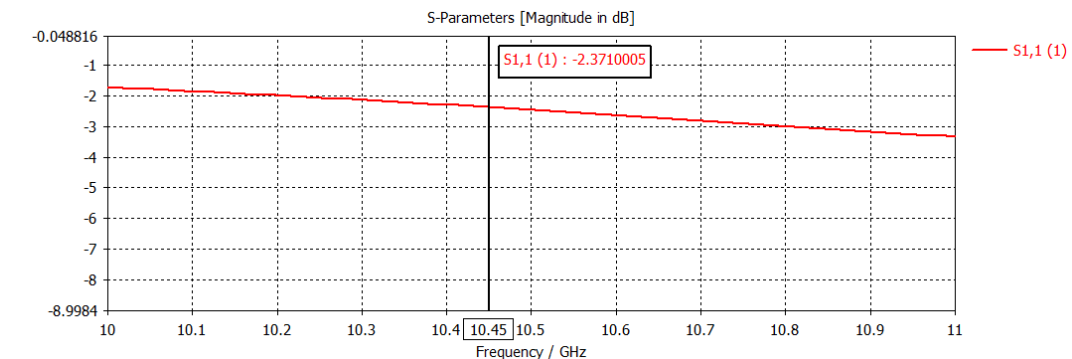
3.5.1 Simulasi Antena 1 Elemen

Pada tahap ini penulis masih melakukan perancangan antena simulasi antena *single patch*, dan perancangan ini masih melakukan simulasi sesuai hasil perhitungan awal perancangan antena.

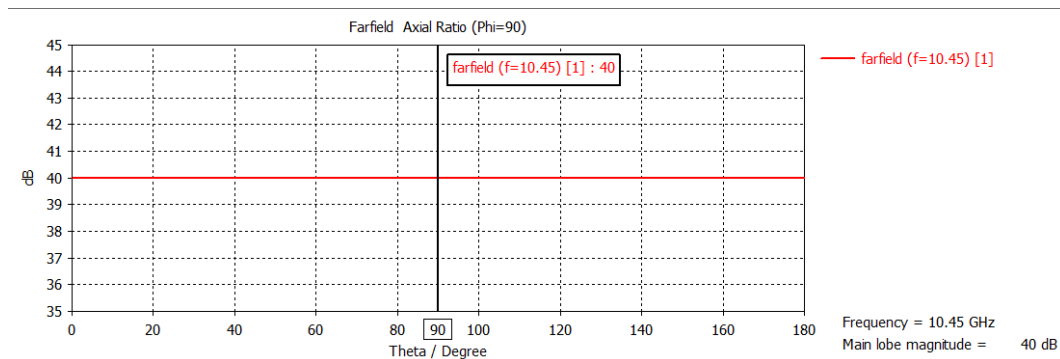


Gambar 3. 4 Desain Satu Elemen Antena

Hasil simulasi dengan menggunakan ukuran dimensi hasil perhitungan masih belum bekerja sesuai dengan frekuensi yang diinginkan dan masih jauh dari spesifikasi yang telah ditentukan seperti yang terlihat pada Gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3. 5 Nilai Return Loss Antenna Patch Rectangular Sebelum Optimasi

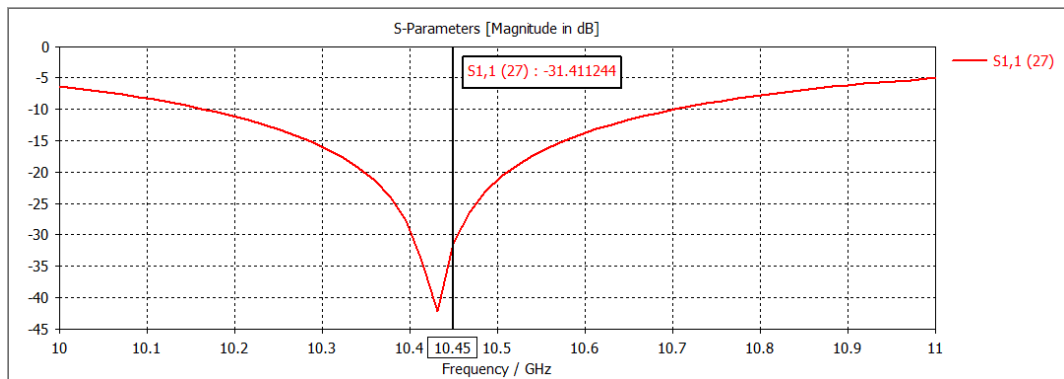


Gambar 3. 6 Axial Ratio Single Patch Sebelum Optimasi

Hasil perhitungan yang telah disimulasikan, frekuensi antenna belum bekerja pada frekuensi yang telah ditetapkan, maka akan dilakukan optimasi pada panjang *feedline*, lebar *feedline*, dan jari-jari *patch* seperti pada Tabel 3.2.

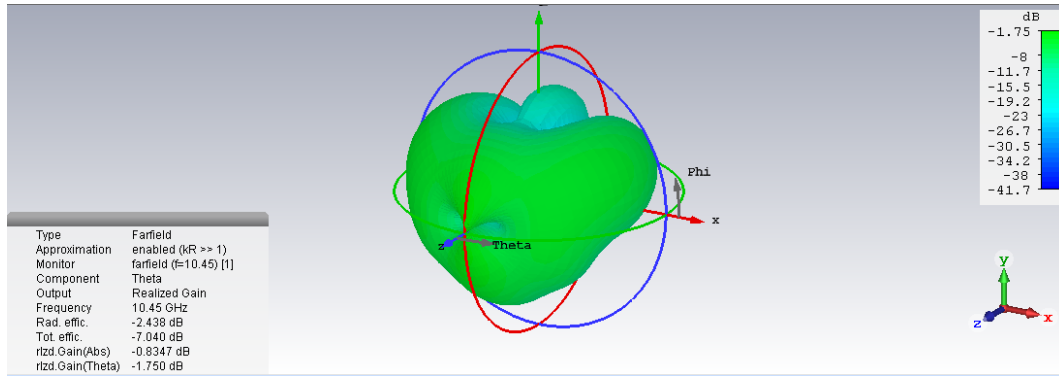
Tabel 3. 2 Nilai parameter dimensi 31ntenna single patch Microstrip Feed Line

No.	Parameter	Sebelum optimasi (mm)	Sesudah optimasi (mm)
2	Lebar <i>feedline</i>	4,2	3.75
3	Tebal tembaga	0,035	0,035
6	Panjang <i>feedline</i> 50	2,098	2
7	Tebal substrat	1,27	1,27

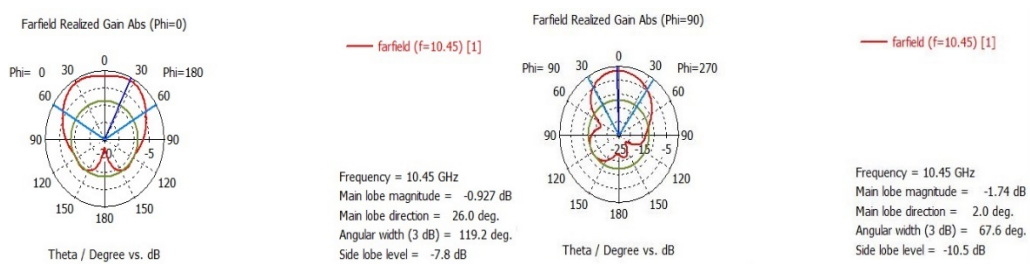


Gambar 3. 7 Nilai Return loss Satu Elemen Antenna Patch Rectangular Setelah Optimasi

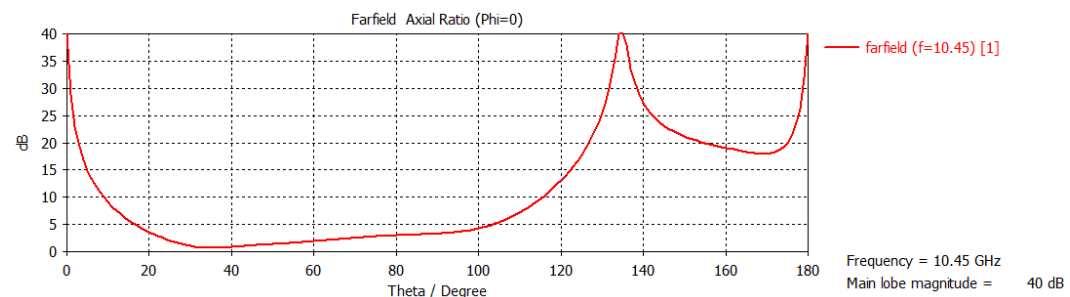
Gambar 3.7 merupakan hasil *return loss* satu elemen antenna *patch rectangular* setelah dilakukan optimasi dengan nilai *return loss* sebesar -31,41 dB namun belum bekerja di frekuensi yang diinginkan. Gambar 3.8 menunjukkan nilai *gain* yang dihasilkan masih minus dan Gambar 3.9 menunjukkan pola radiasi arah azimuth dan elevasi. Gambar 3.10 merupakan nilai *axial ratio* antenna satu elemen yang dihasilkan.



Gambar 3. 8 Pola Radiasi dan Gain Single Patch Setelah Optimasi



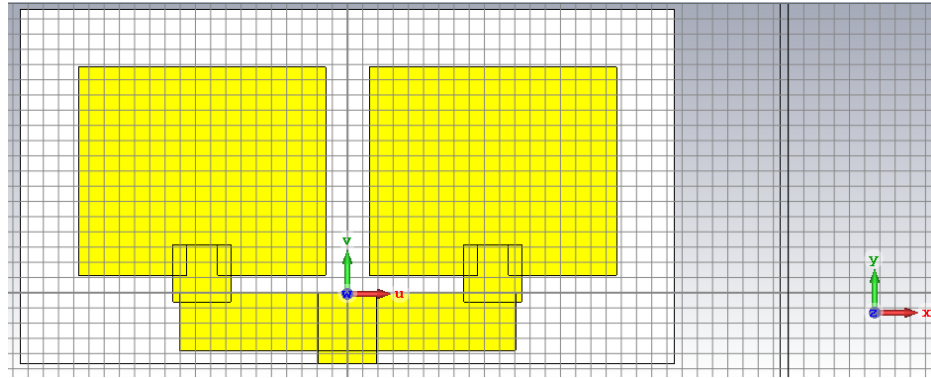
Gambar 3. 9 Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi LHCP dan HPBW Ternormalisasi Antena 1 Elemen Setelah Optimasi



Gambar 3. 10 Nilai Axial Ratio Antena 1 Elemen

3.5.2 Simulasi Antena 2 Elemen

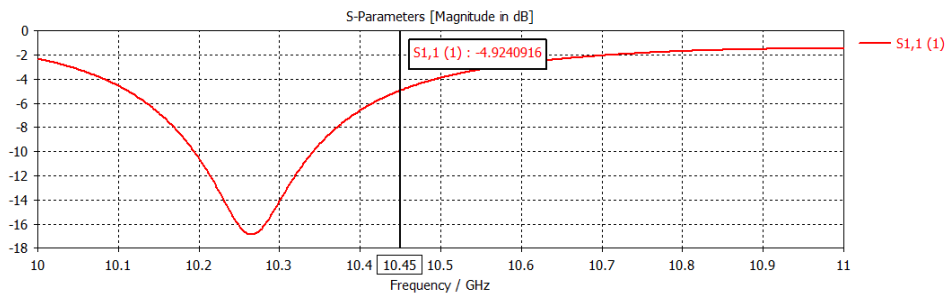
Pada tahap ini penulis melakukan perancangan antenna simulasi antenna 2 elemen antenna, dan perancangan ini melakukan simulasi sesuai hasil perhitungan yang telah dioptimasi pada perancangan 1 elemen antenna.



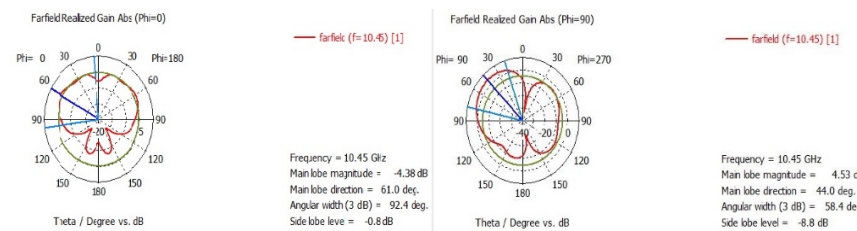
Gambar 3. 11 Desain Antena Susunan 2 Elemen

Antena 2 elemen dirancang untuk peningkatan *gain* yang dihasilkan untuk mencapai *gain* yang diharapkan seperti pada Gambar 3.11. Antena susunan 2 elemen dirancang dengan beberapa ukuran yang mengacu pada antena 1 elemen yang telah di optimasi.

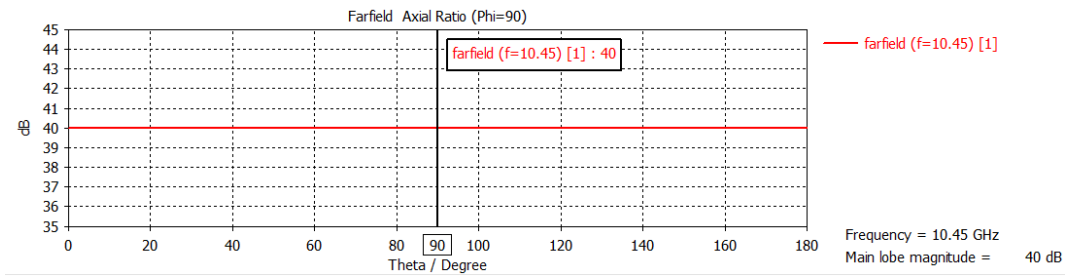
Setelah melakukan simulasi dimensi awal antena susunan 2 elemen, maka didapatkan nilai *return loss*, pola radiasi, dan *axial ratio*. Namun pada simulasi awal masih belum sesuai yang diinginkan. Pada Gambar 3.12 menunjukkan nilai *return loss* antena *patch rectangular* 2 elemen sebelum optimasi dan Gambar 3.13 menunjukkan pola radiasi yang dihasilkan.



Gambar 3. 12 Nilai Return Loss Antenna Patch Rectangular 2 Elemen Sebelum Optimasi

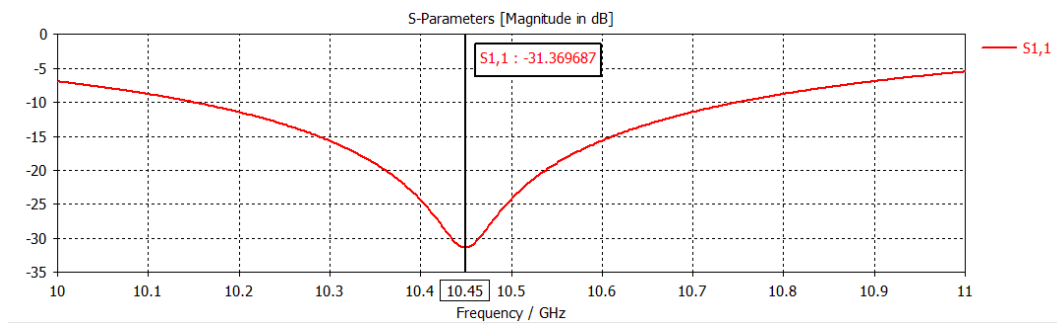


Gambar 3. 13 Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi LHCP dan HPBW Antena 2 Elemen Sebelum Optimasi

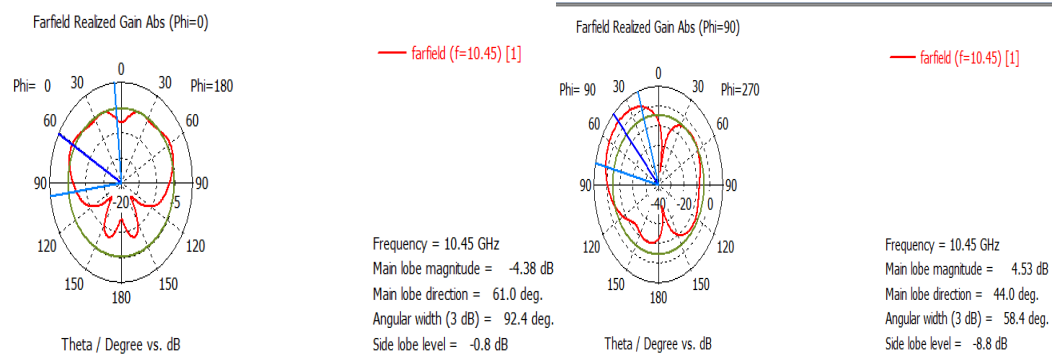


Gambar 3. 14 Nilai Axial Ratio Antena 2 Elemen Sebelum Optimasi

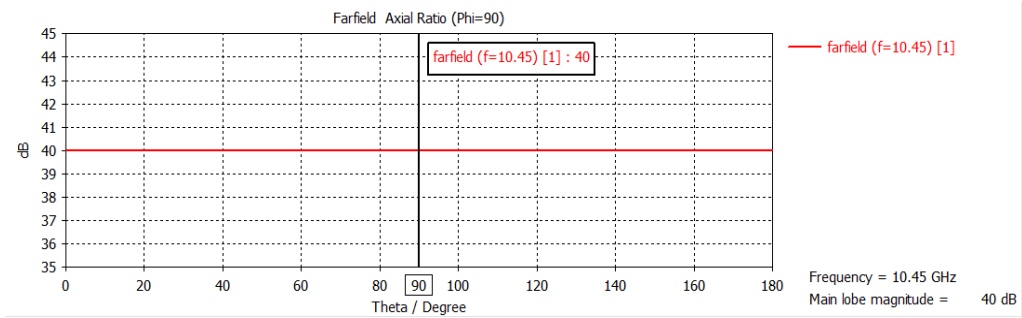
Pada Gambar 3.14 menunjukkan nilai *axial ratio* antenna 2 elemen sebelum optimasi.



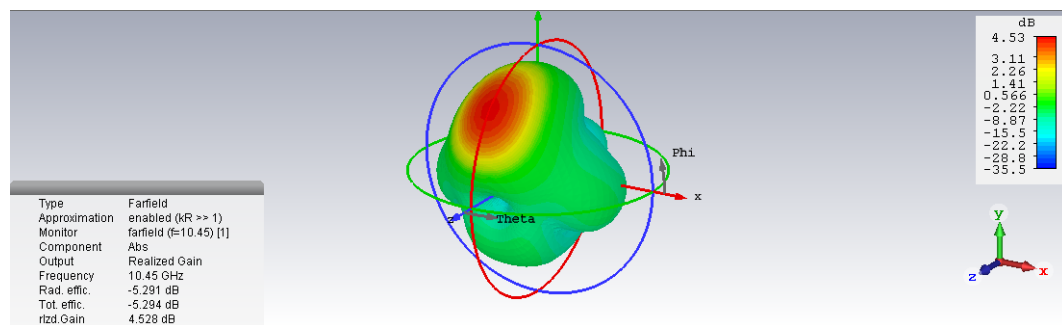
Gambar 3. 15 Nilai Return Loss Antena Patch Rectangular 2 Elemen Setelah Optimasi



Gambar 3. 16 Pola Radiasi Antena 2 Elemen Setelah Optimasi Azimuth dan Elevasi LHCP dan HPBW Ternormalisasi



Gambar 3. 17 Nilai Axial Ratio Antena 2 Elemen Setelah Optimasi



Gambar 3. 18 Pola Radiasi dan Gain dari Simulasi 2 Elemen Setelah Optimasi (3D)

Gambar 3.15 menunjukkan nilai *return loss* antenna 2 elemen setelah optimasi sebesar -31,36 dB dan sudah bekerja di frekuensi yang diinginkan. Pada Gambar 3.16 menunjukkan hasil pola radiasi yang dihasilkan dari antenna yang telah dioptimasi. Gambar 3.17 menunjukkan nilai *axial ratio* sebesar 40 dB dan Gambar 3.18 menunjukkan nilai *gain* dari simulasi yaitu 4,5 dB.

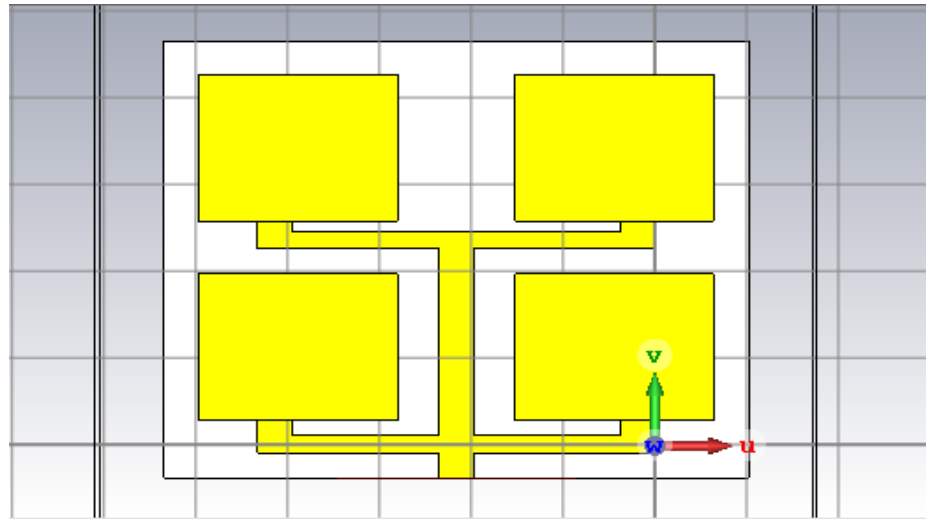
Tabel 3. 3 Nilai Parameter Dimensi Antena 2 Elemen Patch Microstrip Line Feed

No.	Parameter	Sebelum Optimasi (mm)	Sesudah Optimasi (mm)
2	Lebar <i>feedline</i> 50	3,75	3,8
4	Tebal tembaga	0,035	0,035
8	Panjang <i>feedline</i> 50	2	2
9	Tebal substrat	1,27	1,27

Tabel 3.3 menunjukkan nilai dimensi antenna 2 elemen sebelum dan sesudah optimasi dimana terdapat sedikit perbedaan pada ukuran lebar *feedline*.

3.5.3 Simulasi Antena 4 Elemen

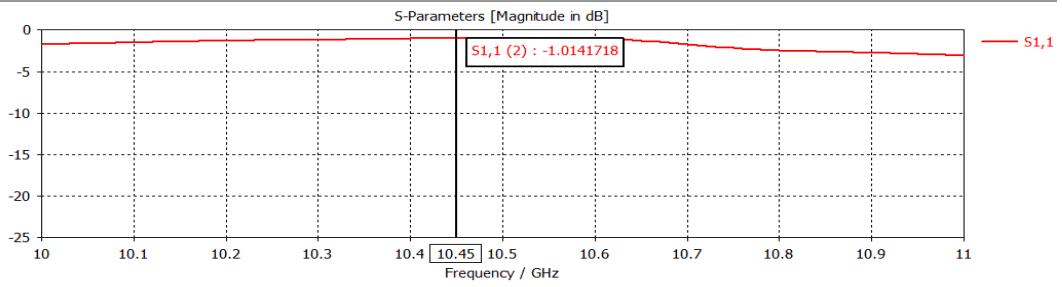
Pada tahap ini penulis melakukan perancangan antenna simulasi antenna 4 elemen antenna seperti pada Gambar 3.19, dan perancangan ini melakukan simulasi sesuai hasil perhitungan yang telah dioptimasi pada perancangan 2 elemen antenna.



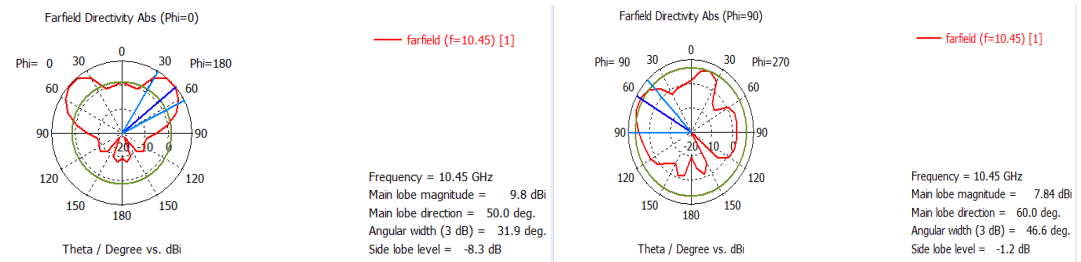
Gambar 3. 19 Desain Antena Susunan Planar 4 Elemen

Hasil simulasi yang dilakukan dengan antenna susunan 2 elemen belum menghasilkan *gain* yang diharapkan sehingga langkah selanjutnya perlu dilakukan simulasi antenna dengan 4 elemen yaitu (2×2) untuk mencapai *gain* yang diharapkan. Antena susunan 4 elemen dirancang dengan beberapa ukuran yang mengacu pada antenna 2 elemen yang telah di optimasi.

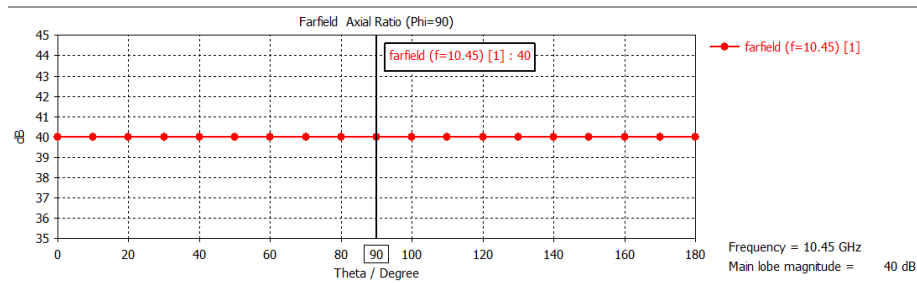
Setelah melakukan simulasi dimensi awal antenna susunan 4 elemen, maka didapatkan nilai *return loss*, pola radiasi, dan *axial ratio*. Namun pada simulasi awal masih belum sesuai yang diinginkan.



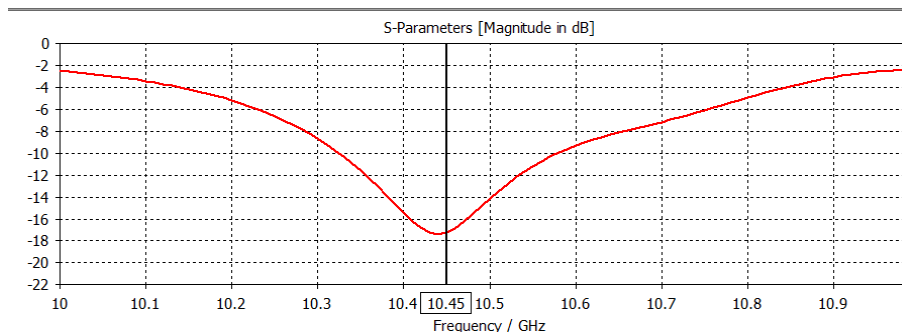
Gambar 3. 20 Nilai Return Loss Antenna Patch Rectangular 4 Elemen Sebelum Optimasi



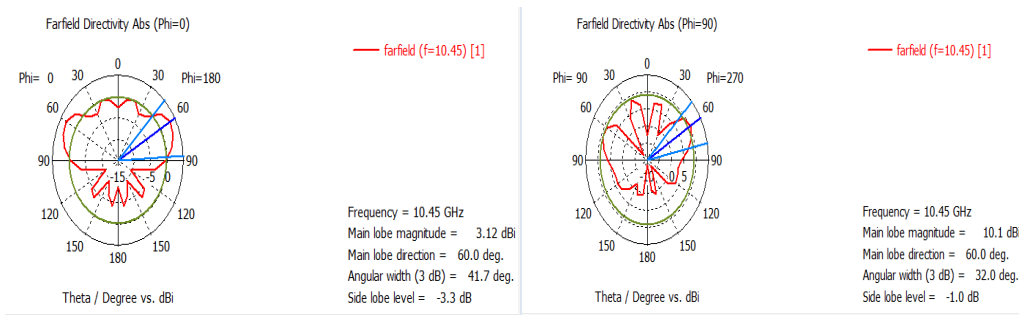
Gambar 3. 21 Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi LHCP dan HPBW Antena 4 Elemen Sebelum Optimasi



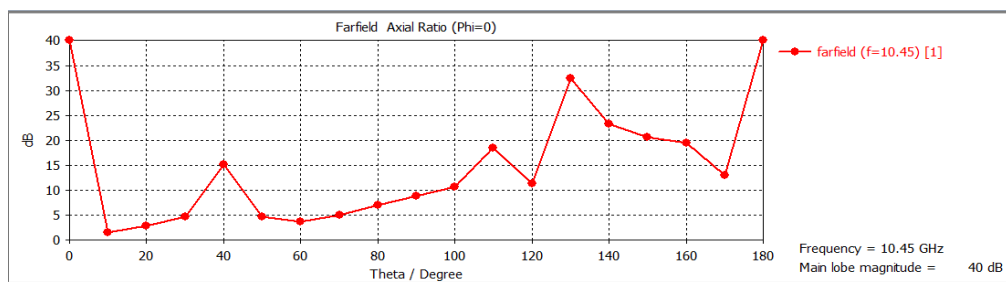
Gambar 3. 22 Nilai Axial Ratio Antena 4 Elemen Sebelum Optimasi



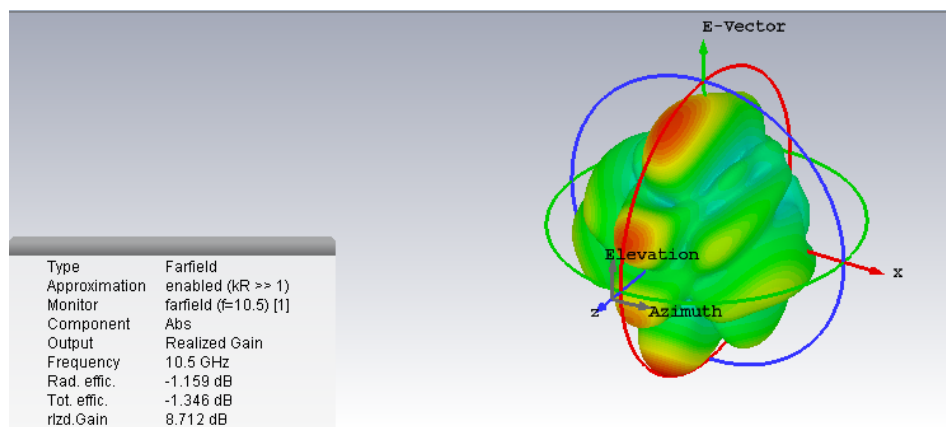
Gambar 3. 23 Nilai Return Loss Antenna Patch Rectangular 4 Elemen Setelah Optimasi



Gambar 3. 24 Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi LHCP dan HPBW Ternormalisasi Antena 4 Elemen Setelah Optimasi



Gambar 3. 25 Nilai Axial Ratio Antena 4 Elemen Setelah Optimasi



Gambar 3. 26 Pola Radiasi dan Gain 4 Elemen Setelah Optimasi

Tabel 3. 4 Nilai Parameter Dimensi Antena 4 Elemen Patch Microstrip Feed Line

No.	Parameter	Sebelum optimasi (mm)	Sesudah optimasi (mm)
1	lebar feedline 50	3,8	3,7
2	tebal tembaga	0,035	0,035
3	panjang feedline 50	2	2
4	tebal substrat	1,27	1,27

3.6 Hasil Simulasi

Tabel 3.5 Perbandingan Hasil Simulasi

NO	PARAMETER ANTENA	HASIL SIMULASI SETELAH OPTIMASI			SPESIFIKASI ANTENA
1	<i>Return Loss</i>	-31,4	-31,3	-16,94	-10
2	VSWR	1,05	1,05	1,3	≤ 1.5
3	<i>Gain</i>	-0.8 dB	4,5 dB	8,7 dB	10 dB
4	Impedansi	49,96 Ω	50,51 Ω	50,67 Ω	50 Ω
5	<i>Bandwidth</i>	537 MHz	598 MHz	280 MHz	100 MHz
6	<i>Patch</i>	1	1 \times 2	2 \times 2	

Setelah simulasi antena terjadi penurunan pada pengukuran VSWR, *return loss*, *bandwidth*. Dan terjadi peningkatan pada Impedansi, dan *Gain* ini disebabkan oleh penambahan *patch* dari antena, karena teknik *array* dilakukan dengan tujuan membentuk pola radiasi *bidirectional* dan meningkatkan *gain*.

Jadi perbandingan hasil simulasi dan spesifikasi antena yang telah dilakukan tidak jauh berbeda dan masih memenuhi dengan spesifikasi antena yang dibutuhkan.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

4.1 Konfigurasi Pengukuran

Dalam bab ini akan dibahas hasil dari pengukuran antenna mikrostrip yang telah difabrikasi, pada proses pengukuran yang bertujuan untuk membandingkan antara hasil parameter antenna mikrostrip saat simulasi dan saat fabrikasi. Parameter antenna yang diukur diantaranya parameter dalam yaitu *gain*, pola radiasi, dan polarisasi. Untuk mengukur *return loss*, *bandwidth*, VSWR, dan impedansi dari antenna, digunakan *Network Analyzer* tipe E5063A.

Selain itu untuk pengukuran *gain*, pola radiasi, polarisasi, dan *axial ratio* digunakan *signal generator*, dan *spectrum Analyzer*. Pengukuran *return loss*, *bandwidth*, VSWR, dan impedansi, *gain*, *axial ratio* dari antenna dilaksanakan di Laboratorium Radar Telekomunikasi Indonesia, Bandung.

1. *Network Analyzer*

Network Analyzer (NA) merupakan alat ukur yang digunakan untuk melakukan pengukuran parameter dalam antenna. Hasil keluaran yang didapat pada penelitian ini meliputi *return loss*, *bandwidth*, dan VSWR.

2. *Spectrum Analyzer* dan *Personal Computer*

Spektrum Analyzer merupakan alat ukur yang digunakan *Singal Hound Hp* tipe 8593A. *Signal Hound* ini merupakan bentuk *portable* dari *spectrum analyzer*, perbedaan mendasar dari keduanya adalah *signal hound* harus dilengkapi dengan software yang akan di-install di sebuah *Personal Computer* ataupun notebook untuk dapat menampilkan hasil dari daya terimanya.

3. *Signal Generator*

Signal Generator merupakan alat yang digunakan untuk membangkitkan sinyal daya kirim di sisi antenna transmitter. Pada alat ukur ini diatur frekuensi kerja yang akan dioperasikan yang disesuaikan dengan frekuensi operasi antenna pemancar yang digunakan.

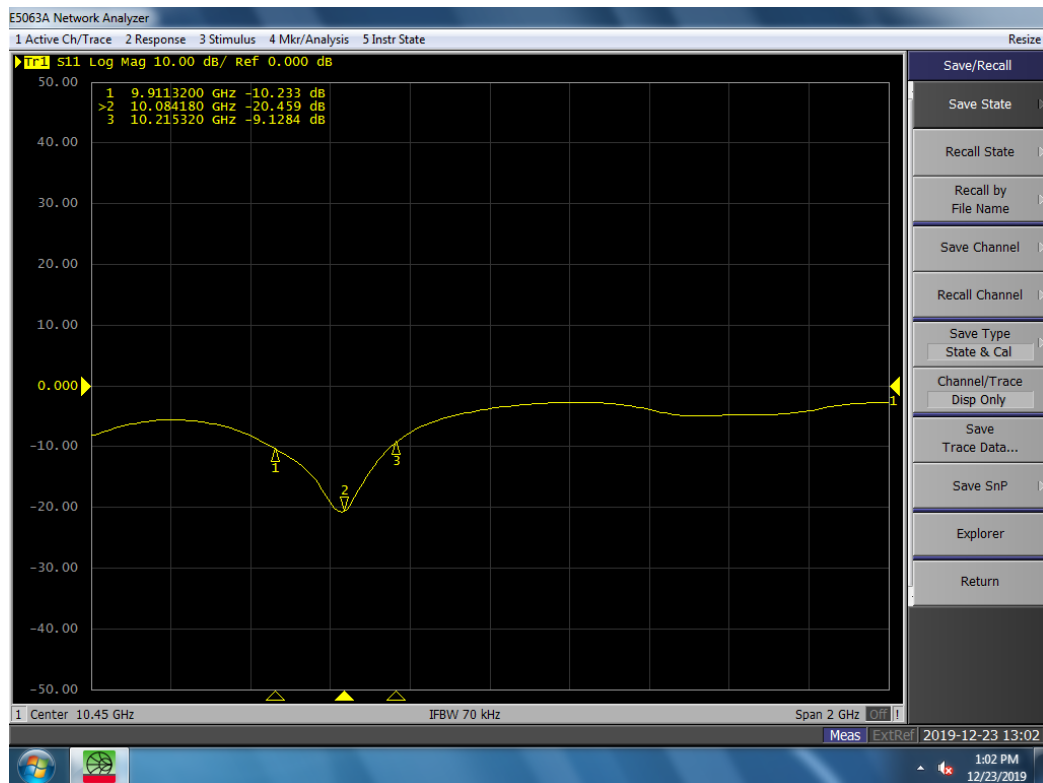
4.2 Pengukuran Parameter Medan Dekat

Pengukuran parameter dalam antenna dilakukan penulis di Laboratorium Radar Telekomunikasi Indonesia. Dan pengukuran dilakukan menggunakan alat “*Transform Instrument Network Analyzer*” yang bekerja pada frekuensi 30 KHz – 12 GHz.

4.2.1 Analisis Hasil Pengukuran *Return loss*

Target yang diharapkan pada Tugas Akhir ini dari *return loss* yaitu ≤ -10 dB. *Return loss* adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. *Return loss* pada dasarnya berbanding lurus dengan VSWR yaitu semakin kecil nilai *return loss* tersebut, maka akan semakin baik dalam performansi antenna tersebut..

Pada Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan hasil dari pengukuran *return loss*. Pada antenna *array linier microstrip line feed* ini mempunyai nilai *return loss* ≤ -10 dB



Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran Return Loss di Network Analyzer

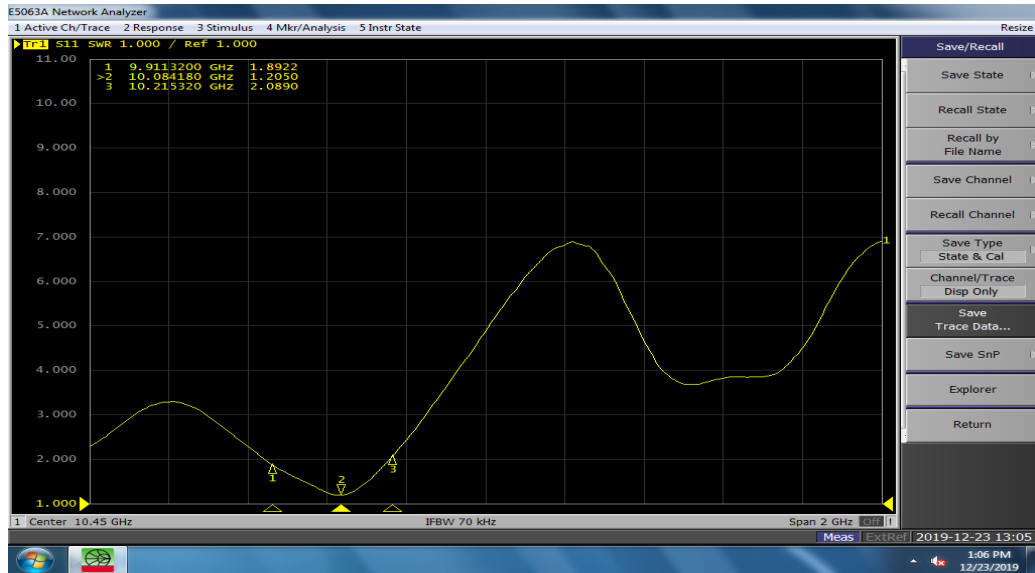


Gambar 4. 2 Perbandingan *Return loss* hasil simulasi dan pengukuran

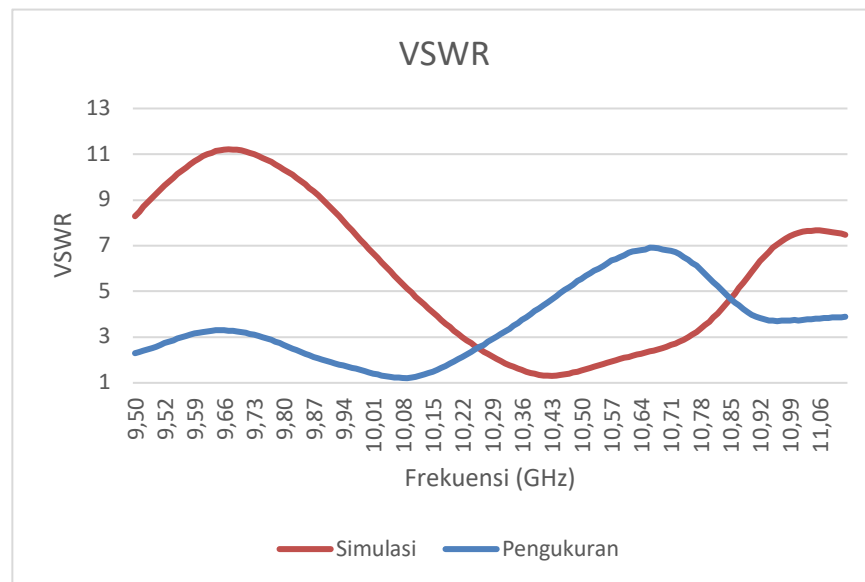
Pada Gambar 4.2 terlihat perbandingan *Return loss* hasil simulasi dan pengukuran yang mengalami perubahan dari simulasi sebesar -16,94 dB dan dari hasil pengukuran sebesar -20,4 dB dan mengalami peningkatan sebesar 16 %.

4.2.2 Analisis Hasil Pengukuran VSWR

Target pada tugas akhir ini $VSWR \leq 1.5$. VSWR merupakan rasio perbandingan antara gelombang maksimum dan gelombang minimum, dimana kedua gelombang tersebut membentuk gelombang berdiri yang disebabkan adanya pantulan gelombang antara saluran transmisi dengan antena. Semakin besar nilai VSWR akan mempengaruhi pada kinerja dari antena tersebut, yaitu didapatkan gangguan yang semakin besar. Apabila antena bekerja dengan baik, maka akan didapatkan nilai VSWR yang mendekati satu. Gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan hasil VSWR dari antena yang diukur.



Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran VSWR di Network Analyzer

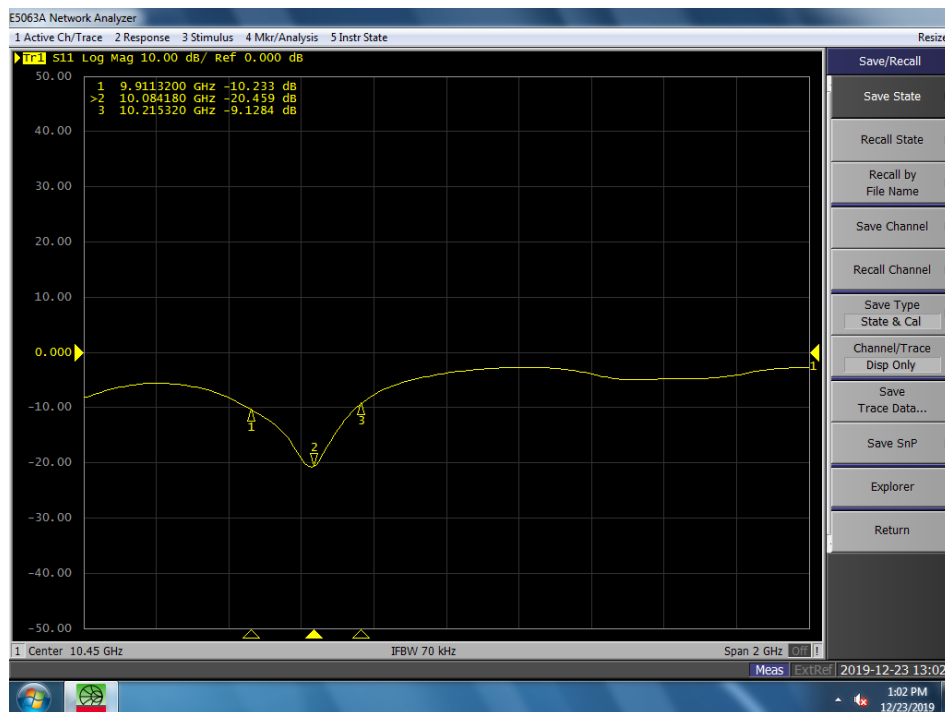


Gambar 4. 4 Perbandingan VSWR hasil simulasi dan pengukuran

Pada Gambar 4.4 terlihat VSWR antenna hasil pengukuran berada pada frekuensi kerja tengah 10,08 GHz dan memiliki pengukuran VSWR sebesar 1,2 dimana lebih baik dari hasil simulasi VSWR 1,3 sebesar 7 %.

4.2.3 Analisis Hasil Pengukuran *Bandwidth*

Bandwidth merupakan rentang frekuensi dimana antenna dapat bekerja dengan baik. Dalam Tugas Akhir ini nilai *bandwidth* dilihat dari kurva *return loss*, *bandwidth* simulasi pada frekuensi 10.45 GHz mendapatkan hasil yang memenuhi kedalam spesifikasi yaitu 100 MHz, dan *bandwidth* simulasi pada frekuensi 10.45 GHz mendapatkan hasil memenuhi kedalam spesifikasi yaitu 200 MHz. Gambar 4.5 adalah hasil pengukuran dari *bandwidth* menggunakan *Network Analyzer*.

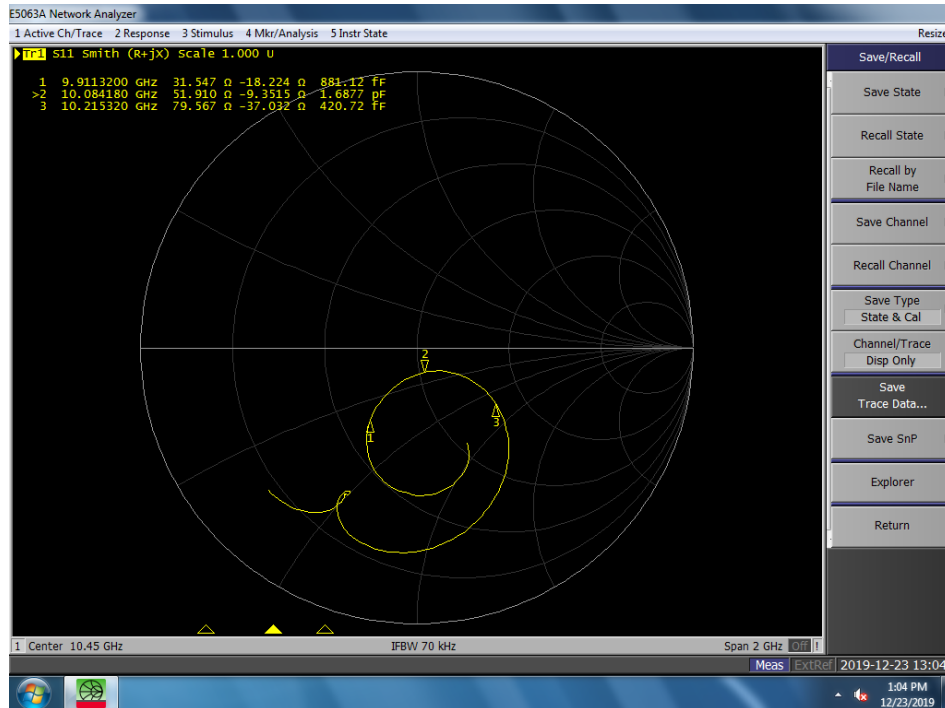


Gambar 4.5 *Bandwidth* Antena Hasil Pengukuran

Pada Gambar 4.5 terlihat *bandwidth* antenna hasil pengukuran berada pada frekuensi bawah 9,9 GHz dan frekuensi atas 10,2 GHz yang memiliki frekuensi kerja tengah 10,08 GHz dan memiliki *bandwidth* sebesar 300 MHz dimana mengalami peningkatan dari hasil simulasi sebesar 6 %.

4.2.4 Analisis Hasil Pengukuran Impedansi

Berikut merupakan gambar pengukuran impedansi antenna *array microstrip line feed*. Pada antenna ini diharapkan nilai impedansi mendekati $\geq 50 \Omega$.



Gambar 4. 6 Hasil Pengukuran Impedansi di *Network Analyzer*

Pada Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengukuran impedansi antenna *array microstrip feed line* menunjukkan nilai impedansi pada frekuensi tengah 10.45 GHz yaitu 51,91. Terlihat bahwa impedansi antenna ini telah mencapai kondisi yang *matching* yaitu $\geq 50 \Omega$.

4.3 Pengukuran Parameter Medan Jauh

Pengukuran antenna ini dilakukan di dalam *Anechoic Chamber* (ruang anti gema). Pengukuran medan radiasi jauh memiliki persamaan sebagai berikut:

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

Dimana :

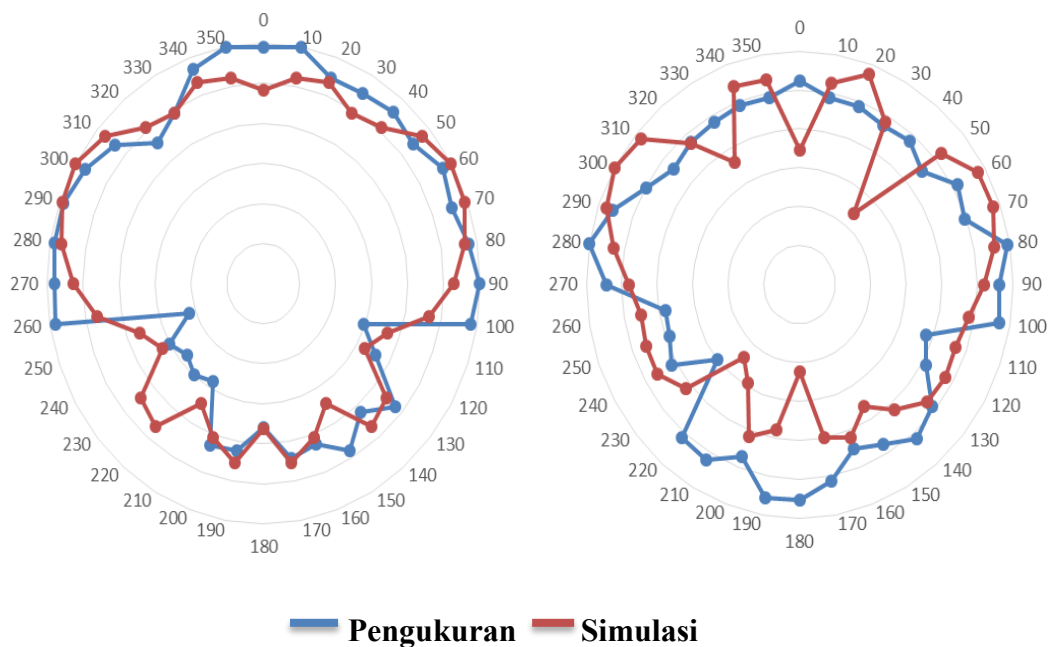
- R = Jarak antara antenna pemancar dan antenna penerima (m)
- D = Ukuran terpanjang dimensi antenna (m)
- λ = Panjang gelombang frekuensi operasi (m)

Pengukuran medan jauh pada tugas akhir ini dilakukan di Radar Telkomunikasi Indonesia, Bandung. Pengukuran parameter luar antenna dengan metode antenna perbandingan meliputi *gain*, pola radiasi, dan polarisasi. Jarak minimum (R) yang dilakukan sebesar 0,28 meter dengan frekuensi 10,45 GHz. Namun pada pengukuran yang dilakukan menggunakan jarak antara Tx dan Rx sebesar 1 meter.

4.3.1 Hasil dan Analisa Pola Radiasi

Pada pengukuran pola radiasi didapatkan pola radiasi mengarah *bidirectional* sesuai dengan hasil simulasi yang didapat penulis. Terbentuknya pola radiasi *bidirectional* terjadi akibat teknik antenna planar array 2x2 sehingga menghasilkan pola radiasi berikut.

Pada Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan hasil pola radiasi antara simulasi dengan pengukuran dalam arah azimuth dan perbandingan hasil pola radiasi dalam arah elevasi.



Gambar 4. 7 Perbandingan Pola Radiasi Azimuth dan Elevasi pada pengukuran dan simulasi

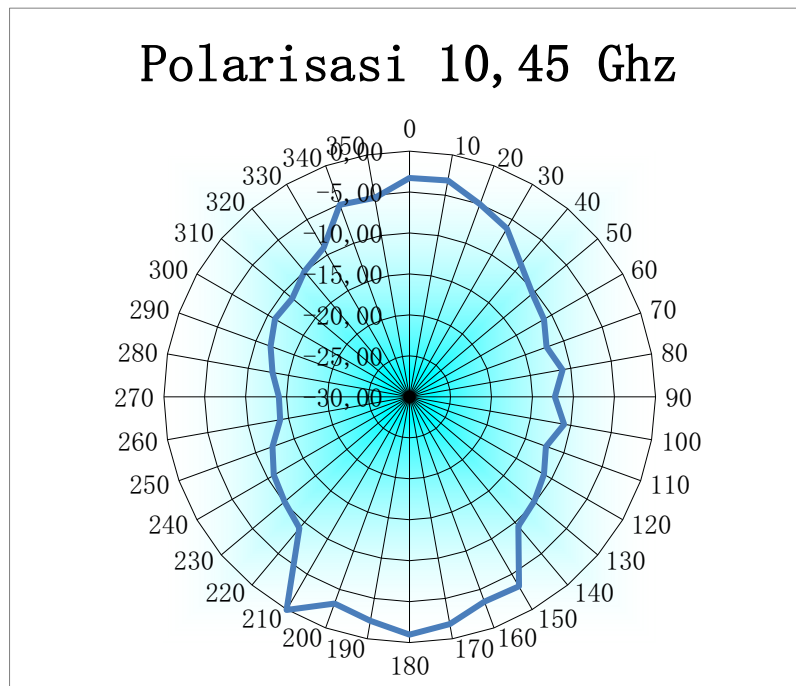
4.3.2 Hasil dan Analisa Polarisasi

Polarisasi antenna merupakan arah getaran gelombang yang merambat di media propagasi. Fungsi pengukuran polarisasi antenna adalah untuk mencegah hilangnya daya akibat jenis polarisasi yang tidak sesuai. Hal ini disebabkan oleh jenis polarisasi antenna *transmitter*. Polarisasi yang dihasilkan pada pengukuran antenna adalah elips.

Prosedur pengukuran polarisasi antenna tersebut adalah sebagai berikut:

- Melakukan kalibrasi pada kabel probe dengan masing- masing port antenna Horn dan antenna AUT.
- Mengatur daya keluarnya Signal Generator sebesar 0 dBm pada Frekuensi 10,45 GHz.
- Mengamati daya yang keluar dari antenna pemancar yang ditangkap oleh antenna AUT menggunakan *Spectrum Analyzer*.
- Mengambil sampel dari sudut 0° - 350° dengan perubahan sudut 10° masing- masing empat sampel di setiap sudut.

Pada Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengukuran polarisasi antenna pada frekuensi 10,45 GHz yang dihasilkan.

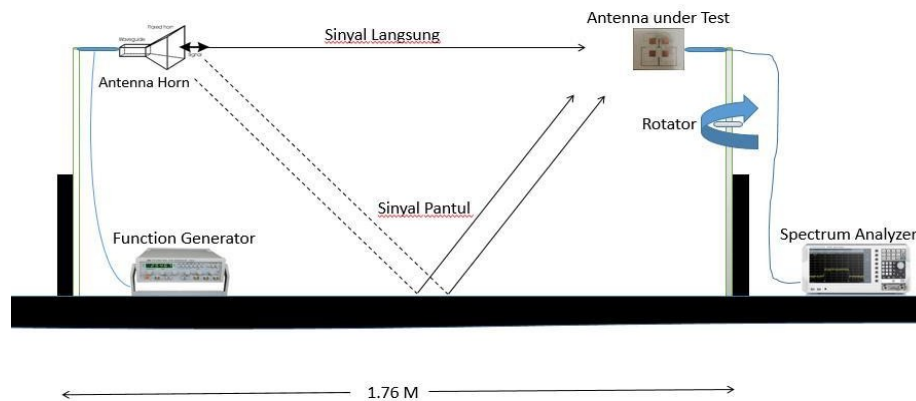


Gambar 4. 8 Hasil Pengukuran Polarisasi

4.3.3 Hasil dan Analisa Pengukuran Gain

Dalam pengukuran *Gain* antenna digunakan metode perbandingan yang menggunakan dua buah antenna yang akan diuji (AUT). Prosedur pengukuran *Gain* sama halnya dengan pengukuran pola radiasi dan polarisasi. Namun, hanya sudut pandang yang dilihat saja yang berbeda. Untuk pengukuran *Gain* tidak hanya antenna yang akan diukur namun dibutuhkan sebuah antenna yang dijadikan sebagai antenna referensi. Antenna yang dijadikan sebagai antenna referensi adalah *horn*.

Hasil pengukuran *gain* yang didapat dari pengukuran adalah 7,7 dBi mengalami penurunan sebesar 12% dari hasil simulasi yaitu 8,7 dBi dikarenakan tempat pengukuran yang kurang stabil mempengaruhi daya terima dari *antenna under test*.



Gambar 4.9 Konfigurasi Pengukuran Gain

Melakukan perbandingan pada kedua hasil, kemudian *Gain* antenna hasil pengukuran dihitung dengan persamaan.

$$G_{AUT} (dBi) = \text{Gain antenna yang diukur}$$

$$P_{AUT} (dBm) = \text{level daya terima AUT}$$

$$P_{REF} (dBm) = \text{level daya terima antenna referensi}$$

Pada Tabel 4.1. Besarnya *Gain*, ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$G_{AUT} = P_{AUT(dBm)} - P_{REF(dBi)} + 13,5 \text{ dBi}$$

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Gain

Pengukuran	Antena			
	AUT		REF	
	dBm	(-dBm)	dBm	(-dBm)
1	39,85	-39,85	33,78	-33,78
2	40,19	-40,19	33,88	-33,88
3	39,17	-39,17	33,63	-33,63
4	38,78	-38,78	33,75	-33,75
5	39,64	-39,64	33,83	-33,83
6	39,59	-39,59	33,67	-33,67
7	40,12	-40,12	33,86	-33,86
8	38,61	-38,61	33,97	-33,97
9	40,25	-40,25	33,82	-33,82
10	39,57	-39,57	33,94	-33,94
Rata-Rata	39,577	-39,577	38,813	-33,813

$$G_{AUT} = P_{AUT(dBm)} - P_{REF(dBic)} + 13,5 \text{ dBi}$$

$$G_{AUT} = -39,577 - (-38,813) + 13,5 \text{ dBi}$$

$$G_{AUT} = 7,7 \text{ dBi}$$

4.4 Analisis Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran

Tabel 4.2 menunjukkan perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dari antenna yang telah direalisasikan. Terdapat perbedaan pada tiap hasil pengukuran.

Tabel 4. 2 Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran

Parameter Antena	Hasil pengukuran	Hasil simulasi	Spesifikasi Kebutuhan
Return Loss	-20,4	-16,94	≤ -10
VSWR	1,2	1,3	$\leq 1,5$
Gain	7,7 dBi	8,7 dBi	$\geq 10 \text{ dBi}$
Impedansi	51,8 Ω	50,67 Ω	$\geq 50 \Omega$
<i>Bandwidth</i> Antena	300 MHz	280 MHz	$\geq 100 \text{ MHz}$
Frekuensi	10,08 GHz	10,45 GHz	10,45 GHz

4.4.1 Analisis VSWR, Return loss, Impedansi, dan Bandwidth

Setelah pengukuran antenna terjadi penurunan pada pengukuran VSWR, *Gain*. Dan terjadi peningkatan pada Impedansi, *Bandwidth*, dan *Return loss* ini disebabkan oleh fabrikasi dari antenna yang kurang baik dan sangat membutuhkan ketelitian, karena fabrikasi masih dilakukan secara manual oleh tangan manusia mengakibatkan bergesernya dimensi dari antenna tersebut. Namun hasil pengukuran masih mendapatkan nilai VSWR 1,2 , 300 MHz, *Return loss* -20,4 dB dimana hal ini menunjukkan bahwa gelombang yang dipantulkan kembali ke arah generator bernilai kecil. Hal ini bias berhubungan dengan nilai impedansi masukan dari antenna yang juga *relative matching* dengan saluran transmisi.

Hasil dalam pengukuran menunjukkan impedansi saluran transmisi pada rentang frekuensi 10,8 GHz menunjukkan nilai impedansi sebesar 51,8 Ω . Hal ini mengakibatkan antenna berada dalam kondisi *matching* yaitu kondisi dimana gelombang yang diteruskan melalui saluran transmisi menuju antenna dapat diteruskan seluruhnya sehingga tidak ada gelombang yang dipantulkan kembali.

Pengukuran *Bandwidth* antenna ini juga mengalami peningkatan dalam hasil pengukuran dimana ini dapat dipengaruhi oleh faktor frekuensi antenna hasil realisasi yang bergeser akibat fabrikasi dalam realisasi antenna, namun dalam hasil yang didapatkan *bandwidth* masih melebihi dari spesifikasi awal yang ditentukan.

Jadi perbandingan hasil pengukuran dan simulasi antenna yang telah dilakukan tidak jauh berbeda dan masih memenuhi dengan spesifikasi antenna yang dibutuhkan.

4.4.2 Analisis *Gain*

Perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran realisasi antenna. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu

1. Kondisi pengukuran antenna yang kurang baik.
2. Kondisi antenna referensi kurang baik.
3. Kondisi terlalu cepat untuk mengamati perubahan daya yang terjadi pada *spectrum analyzer*.

Gain yang didapat dalam simulasi selalu mengalami peningkatan mulai dari satu elemen, dua elemen, sampai empat elemen yang artinya teknik array antenna yang dipakai berhasil dan mendekati spesifikasi yang dibutuhkan antenna radar sensor Doppler. Hasil dalam simulasi dan pengukuran menunjukkan *gain* pada frekuensi kerja tengah 10,45 GHz menunjukkan nilai mendekati sebesar 10 dBi.

Hal ini mengakibatkan antenna berada dalam kondisi memenuhi spesifikasi antenna sensor radar Doppler yaitu hasil simulasi pada antenna sensor radar doppler mendapatkan *gain* 8,7 dBi dan antenna hasil pengukuran mendapatkan hasil 7,7 dBi yang artinya mengalami penurunan sebesar 11 %.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut ini kesimpulan yang dapat diambil dari proses perancangan dan realisasi antena *array* linier 2×2 *patch* linear untuk *Radar Doppler* sebagai berikut

1. Teknik Antena *array* yang digunakan cukup sesuai dengan kebutuhan spesifikasi antena, karena antena susunan planar array dapat dijadikan solusi untuk peningkatan *gain* dan *direktivitas*.
2. Penerapan Teknik Pencatutan *Microstrip Feed Line* sangat sesuai dengan kebutuhan spesifikasi antena karena dapat memudahkan saluran transmisi impedansi.
3. *Bandwidth* hasil realisasi mengalami peningkatan yang cukup dari simulasi sebesar 280MHz menjadi 300 MHz mengalami peningkatan 6 %.
4. Pada hasil pengukuran terjadi pergeseran frekuensi dari 10,45 GHz menuju 10,08 GHz atau sebesar 35,4%.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, terdapat beberapa hal yang dapat dipertimbangkan yaitu:

1. Melakukan pencarian metode atau model antenna yang akan dibuat, karena metode antena dapat menentukan nilai spesifikasi.
2. Pengukuran antenna dilakukan di lingkungan yang lebih terkontrol seperti suhu, udara, kelembaban, cahaya, dan melakukan pengukuran di ruangan *anechoic chamber*.
3. Mencari bahan yang sesuai dan verifikasi kelayakan spesifikasi bahan.
4. Melakukan fabrikasi sebaik mungkin jika menggunakan teknik *microstrip feed line* dikarenakan rentan bergeser frekuensinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Pengantar, “Buku Informasi Statistik 2017.”
- [2] Menkominfo, “Peraturan Menteri Nomor 25 Tahun 2014 Tentang Tabel Alokasi Frekuensi Radio Indonesia.” 2014.
- [3] M. Nosrati and N. Tavassolian, “Experimental study of antenna characteristic effects on doppler radar performance,” *2017 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. Proc.*, vol. 2017-Janua, pp. 209–210, 2017, doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2017.8072147.
- [4] P. Daud and N. S. Andayani, “Antena Array Mikrostrip Dual Beam Untuk Aplikasi Sensor Radar Doppler,” *J. Elektron. dan Telekomun.*, vol. 13, no. 1, p. 6, 2016, doi: 10.14203/jet.v13.6-13.
- [5] S. Aulia, S. Tjondronegoro, and R. Kurnia, “Analisis Pengolahan Sinyal Radar Frequency Modulated Continuous Wave untuk Deteksi Target,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 51–64, 2013, doi: 10.20449/jnte.v2i2.86.
- [6] W. Hunsicker, K. Naishadham, and R. Hasse, “Integration of an x-band microstrip patch array and beamformer for a multifunction antenna array,” *IEEE Int. Symp. Phased Array Syst. Technol.*, no. 404, pp. 898–905, 2010, doi: 10.1109/ARRAY.2010.5613256.
- [7] C. a. Balanis, “Previous Page 334,” *Antenna Theory Anal. Des. Third Ed. by Constantine A. Balanis*, pp. 334–384, 2005, doi: 10.1049/el.2016.4541.
- [8] T. Edition *et al.*, “Antennas 1 1.1,” *Antenna Theory Anal. Des. Third Ed. by Constantine A. Balanis*, vol. 45, no. 3, pp. 945–999, 2005, doi: 10.2310/6620.2010.00007.
- [9] T. Ferdous, A. Nayna, and F. Ahmed, “Comparative Study of Rectangular and Circular Microstrip Patch Antennas in X Band,” 2014.
- [10] R. S. Ferreira, M. A. M. Marinho, K. Liu, J. P. C. L. Da Costa, A. V. Amaral, and H. C. So, “Improved landing radio altimeter for unmanned aerial vehicles based on an antenna array,” *Int. Congr. Ultra Mod. Telecommun. Control Syst. Work.*, pp. 105–113, 2012, doi:

10.1109/ICUMT.2012.6459648.

- [11] M. Mathur, A. Vats, and A. Agarwal, "A new design formulae for feed line dimensions of the rectangular microstrip patch antenna by using equivalent design concept," *2015 Int. Conf. Signal Process. Commun. ICSC 2015*, no. 2, pp. 105–110, 2015, doi: 10.1109/ICSPCom.2015.7150629.
- [12] D. V. Radar, G. Duggal, S. S. Ram, and K. V. Mishra, "Micro-Doppler and Micro-Range Detection via," *2019 IEEE Radar Conf.*, pp. 1–6, 2019.
- [13] C. Xu, L. Daniel, E. Hoare, V. Sizov, and M. Cherniakov, "Comparison of speed over ground estimation using acoustic and radar Doppler sensors," *Eur. Microw. Week 2014 "Connecting Futur. EuMW 2014 - Conf. Proceedings; EuRAD 2014 11th Eur. Radar Conf.*, pp. 189–192, 2014, doi: 10.1109/EuRAD.2014.6991239.