

**DESAIN ANTENA MIKROSTRIP *TRIANGULAR*
UNTUK APLIKASI RADAR ALTIMETER**

*THE DESIGN OF TRIANGULAR MICROSTRIP ANTENNA
FOR THE APPLICATIONS OF RADAR ALTIMETER*

ANDI AZIZAH



PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

DESAIN ANTENA MIKROSTRIP *TRIANGULAR*
UNTUK APLIKASI RADAR ALTIMETER

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

ANDI AZIZAH

Kepada

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

TESIS

DESAIN ANTENA MIKROSTRIP *TRIANGULAR* UNTUK APLIKASI RADAR ALTIMETER

Disusun dan diajukan oleh

ANDI AZIZAH
Nomor Pokok P2700211003

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 13 Agustus 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Merna Baharuddin, ST., M.Tel.Eng., Ph.D
Ketua

Elyas Palantei, ST., M.Eng., Ph.D
Anggota

Ketua Program Studi
Teknik Elektro,

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT

Prof. Dr. Ir. Mursalim

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Azizah
Nomor Mahasiswa : P2700211003
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 13 Agustus 2013
Yang menyatakan

Andi Azizah

PRAKATA

Assalamu'alaikum wr.wb

Alhamdulillah, Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga penyusunan hasil penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian ini berjudul **DESAIN ANTENA MIKROSTRIP TRIANGULAR UNTUK APLIKASI RADAR ALTIMETER.**

Penelitian ini diharapkan dapat turut memperkaya khasanah keilmuan dibidang telekomunikasi khususnya mahasiswa Teknik Elektro Teknik Telekomunikasi Program Pasacasarjana Universitas Hasanuddin.

Penyusunan penelitian ini, tentunya tidak terlepas dari berbagai kendala tetapi dapat diselesaikan dengan baik berkat kritik maupun koreksi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT.**, sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
2. Ibu **Merna Baharuddin, ST., M.Tel.Eng., Ph.D.**, selaku pembimbing I yang telah memberikan arahan dan bimbingannya dalam penyelesaian tesis ini.
3. Bapak **Elyas Palantei, ST., M.Eng., Ph.D.**, selaku pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingannya dalam penyelesaian tesis ini.

4. Bapak **Dr. Ir. H. Andani Achmad, MT ; Dr. Ir. Zulfajri B. Hasanuddin, M.Eng** dan **Dr. Ing. Faizal Arya Samman, ST., MT.**, selaku Dosen Penguji.
5. Seluruh staf Administrasi program pascasarjana Universitas Hasanuddin
6. Seluruh sahabat seperjuangan, mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin khususnya angkatan 2011.

Diharapkan agar tulisan ini nantinya dapat bermanfaat bagi setiap mahasiswa yang berkecimpung dalam pengembangan ilmu telekomunikasi. Disadari pula tulisan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu saran dan kritikan yang sifatnya membangun senantiasa kami harapkan untuk memperoleh hasil yang lebih baik. Semoga Allah SWT selalu memberikan Rahmat-Nya kepada kita semua

Makassar, 13 Agustus 2013

Andi Azizah

ABSTRAK

ANDI AZIZAH. *Desain Antena Mikrostrip Triangular Untuk Aplikasi Radar Altimeter* (dibimbing oleh **Merna Baharuddin** dan **Elyas Palantei**)

Penelitian ini bertujuan (1) mendesain antena mikrostrip *triangular array* untuk aplikasi Radar Altimeter sesuai dengan karakteristik antena dengan menggunakan *Software High Frequency Structure Simulator* versi 13 (HFSS v13) yang beroperasi pada frekuensi 4,2 - 4,3 GHz dan mendapatkan karakteristik antena berupa S_{11} , *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *gain* dan *Axial Ratio* (2) mengimplementasikan desain antena mikrostrip *triangular array* ke dalam bentuk fisik dan mengukur S_{11} , S_{21} , VSWR, *gain* berdasarkan karakteristik prototipe yang telah dibuat serta menganalisis karakteristik antena (3) melakukan pengukuran S_{21} , menghitung nilai *Pathloss*, *Delay* dan *Link Budget* (EIRP).

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun untuk desain antena mikrostrip *triangular*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hasil simulasi nilai koefisien refleksi (S_{11}) dari antena mikrostrip nilai return loss sebesar -21,272 dB pada frekuensi 4,25 GHz (range frekuensi 4,20 GHz – 4,30 GHz) dengan nilai VSWR sebesar 1,193. Nilai *axial ratio* sebesar 42,499 dB dengan pola radiasi linier. Hasil pengukuran antena didapatkan nilai koefisien refleksi dari antena mikrostrip nilai return loss sebesar -21,168 dB pada frekuensi 4,25 GHz (range frekuensi 4,176 GHz – 4,302 GHz) dengan nilai VSWR sebesar 1,132. Hasil pengukuran (S_{21}) nilai *gain* sebesar 3,729 dB dan pada jarak 1,5 m perhitungan *pathloss* 48,526 dB, *Delay* 0,000000100069229 s (1×10^{-8} s) dan *link budget* 22,486 dBm. Pada jarak 15 m perhitungan *pathloss* -68,599 dB, *delay* 0,0000001000692286 s (1×10^{-7} s) dan *link budget* 20,428 dBm. Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran antena *mikrostrip triangular array* layak digunakan untuk aplikasi radar altimeter.

Kata kunci: *radar altimeter*, HFSS, Koefisien Refleksi, VSWR, *Pathloss*



ABSTRACT

ANDI AZIZAH. *The Design of Triangular Microstrip Antena for the Applications of Radar Altimeter* (Supervised by **Merna Baharuddin** and **Elyas Palantei**)

This study aims to: (1) design a triangular array microstrip antenna for the applications of radar altimeter based on antenna characteristics by using Software High Frequency Structure Simulator version 13 (HFSS v13) operated at a frequency of 4,2 – 4,3 GHz with some antenna characteristics including S_{11} , *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), radiation pattern and Axial Ratio; (2) implement the triangular array microstrip antenna design into a physical shape, measure the prototype characteristics S_{11} , S_{21} , VSWR, *gain* that has been made, and analyzed the characteristics of the antenna; and (3) conduct the measurement S_{21} to calculate Pathloss, Delay and Link Budget (EIRP) values.

The method used in the study was the design to develop for design triangular microstrip antenna. The simulation reveal that the reflection coefficient value (S_{11}) of microstrip antenna has a return loss value of -21,272 dB at a frequency of 4,25 GHz (frequency range 4,20 GHz – 4,30 GHz) and a VSWR value of 1,193. The Axial ratio value is 42,499 dB with a linear radiation pattern. The results of antenna measurement reveal that the reflection coefficient value of microstrip antenna has a return loss value of -21,168 dB at a frequency of 4,25 GHz (frequency range of 4,176 GHz – 4,302 GHz) and a VSWR value of 1,132. The results of measurement (S_{21}) reveal that the gain value is 3,729 dB; and at a distance of 1,5 m, the calculation reveals pathloss 48,526 dB, delay of 0,0000000100069229 s (1×10^{-8} s) and link budget of 22,486 dBm. At a distance 15 m, the calculation reveals *pathloss* -68,599 dB, *delay* 0,0000001000692286 s (1×10^{-7} s) and *link budget* 20,428 dBm. Based on the results of the simulation and measurement triangular microstrip array antenna is used for a decent applications of radar altimeter.

Keywords: radar altimeter, HFSS, reflection coefficient, VSWR, Pathloss



DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Parameter Antena	5
B. Antena Mikrostrip	14
C. Radar Altimeter	29
D. Prinsip Kerja Radar Altimeter	30
E. Roadmap Penelitian	33

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
A. Metodologi Penelitian	35
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	37
C. Tahapan Penelitian	38
D. Alat dan Bahan	46
E. Perancangan Prototipe Antena Mikrostrip <i>triangular array</i>	47
F. Teknik Pengukuran Prototipe Antena	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	58
A. Hasil dan Analisis Simulasi	58
B. Pengukuran dan Analisis Prototipe Antena	65
BAB V PENUTUP	90
A. Kesimpulan	90
B. Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Daftar permitifitas relatif dari beberapa material	17
2.	Parameter umum FR4	18
3.	Dimensi <i>mickrostrip triangular array</i>	29
4.	Desain awal dimensi fisik antena mikrostrip <i>triangular</i>	43
5.	Dimensi fisik antena mikrostrip <i>triangular</i> yang hasil pengukurannya paling mendekati standar	44
6.	Dimensi <i>microstrip triangular array</i>	45
7.	Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran parameter bandwidth, frekuensi tengah dan koefisien refleksi (S_{11})	68
8.	Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran VSWR	70
9.	Penentuan kelayakan prototipe antena mikrostrip <i>triangular array</i> untuk aplikasi radar altimeter	71
10.	Hasil pengukuran S_{21} , perhitungan pathloss, perhitungan delay pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter	81
11.	Hasil pengukuran S_{21} terhadap air ($\epsilon_r = 80$) dengan volume air tinggi 30 cm dan diameter 35 cm	82

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	<i>Polar plot</i> dari pola radiasi	6
2.	Pancaran antena 3 dimensi dan 2 dimensi	7
3.	Polarisasi linier horizontal	10
4.	Polarisasi linier vertikal	10
5.	Struktur dasar antena mikrostrip	14
6.	Beberapa model <i>patch</i> untuk antena mikrostrip	15
7.	Struktur <i>microstrip line</i>	22
8.	Struktur <i>microstrip line</i> tampak samping	22
9.	Struktur <i>coaxial probe feeding</i>	23
10.	Struktur <i>proximity coupling feed</i>	24
11.	Struktur <i>aperture coupling feed</i>	25
12.	Sistem koordinat untuk <i>equilateral triangular microstrip antenna</i>	26
13.	Konsep dasar radar altimeter (tampak depan)	30
14.	Radar altimeter pada pesawat (tampak samping)	31
15.	<i>Flow Chart</i> kerja perancangan antena mikrostrip	36
16.	Tebal substrat	40
17.	Panjang sisi (a) dan tinggi (t) patch	41
18.	Ilustrasi penempatan Coaxial feed	42
19.	Desain optimasi antena mikrostrip <i>triangular</i>	45

20.	<i>Layout antena mikrostrip dengan software AutoCAT 2010</i>	47
21.	Prototipe antena mikrostrip <i>Triangular Array</i>	49
22.	Prosedur kalibrasi <i>network analyzer</i> 5017C	51
23.	Konfigurasi pengukuran antena pada <i>Network Analyzer</i>	51
24.	Set <i>Antena Trainer System</i> ED-3200	52
25.	Konfigurasi pengukuran port ganda	53
26.	Konfigurasi pengukuran S_{21} pada frekuensi 4,25 GHz	
	Aplikasi Radar Altimeter	55
27.	Grafik representasi power link budget	56
28.	Koefisien Refleksi (S_{11}) antena berdasarkan hasil simulasi	59
29.	<i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i> berdasarkan hasil Simulasi	60
30.	Pola radiasi dua dimensi mikrostrip <i>triangular array</i>	61
31.	Fungsi gain (dB) terhadap sudut elevasi (derajat)	62
32.	Fungsi gain (dB) terhadap sudut azimuth (derajat)	63
33.	Pola radiasi tiga dimensi antena mikrostrip <i>triangular array</i>	64
34.	<i>Axial Ratio</i> antena mikrostrip <i>triangular array</i>	65
35.	Hasil pengukuran parameter koefisien refleksi prototipe antena mikrostrip <i>triangular array</i>	66
36.	Hasil Simulasi dan hasil pengukuran parameter koefisien Refleksi	67
37.	Hasil pengukuran parameter voltage standing wave ratio	68
38.	Hasil simulasi dan hasil pengukuran parameter VSWR	69

39.	Pola radiasi elevasi hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz	72
40.	Pola radiasi azimuthal hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz	72
41.	Perbandingan pola radiasi elevasi hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz	73
42.	Perbandingan gain elevasi hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz	74
43.	Perbandingan pola radiasi azimuthal hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz	75
44.	Perbandingan gain azimuthal hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz	76
45.	Pengukuran S_{21} pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter	77
46.	Pengukuran S_{21} terhadap air pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter	77
47.	Pengukuran S_{21} terhadap air pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter jarak 0-5 cm	78
48.	Pengukuran S_{21} terhadap air pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter jarak 5-50 cm	78
49.	Grafik hasil pengukuran S_{21}	82
50.	Grafik hasil perhitungan Pathloss	83
51.	Grafik S_{21} dan Pathloss	84
52.	Grafik hasil perhitungan delay	84

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor

1. Proses tahapan optimasi desain antena menggunakan software HFSS v13 94
2. Data pengukuran pola radiasi prototipe antena 96

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/ Singkatan	Arti dan keterangan
S_{11}, S_{21}	Parameter S yang menggambarkan perbandingan antara intensitas gelombang pantul dengan gelombang datang dari suatu antena
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio, menunjukkan perbandingan tegangan maksimum dan tegangan minimum gelombang berdiri pada saluran transmisi
HFSS v13	<i>High Frequency System Simulator</i> versi 13
Axial Ratio	Nilai perbandingan axis mayor dengan axis minor, biasa digunakan untuk merepresentasikan polarisasi suatu antena
Bandwidth	Rentang frekuensi kerja
Gain	Perbandingan tegangan keluaran dengan tegangan masukan pada suatu circuit
Directivity	Perbandingan intensitas radiasi sebuah antena pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah
Elevasi	pengarahan vertical antena
Azimut	pengarahan horizontal antena

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Radar altimeter adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur ketinggian atau jarak dari pesawat ke permukaan tanah atau ke permukaan laut. Jarak ini dihitung berdasarkan arah vertikal. Radio altimeter merupakan bagian dari radar. Radar altimeter menggunakan frekuensi kerja 4,2 – 4,3 GHz bandwidth tidak lebih dari 150 MHz dan memiliki gain yang tinggi. Antena menempatkan peran penting untuk mengirimkan gelombang radio dan menerima sinyal gema baik pada frekuensi yang sama atau di sebuah band frekuensi dalam durasi waktu. Ada dua jenis sistem pulsa radar altimeter yaitu frekuensi termodulasi dan gelombang kontinu (FM-CW). Perbedaan fasa (*frequency shift*) ini dijadikan sebagai ukuran untuk menentukan jarak atau ketinggian pesawat terhadap *ground*. Semakin besar beda fasa yang dihasilkan semakin jauh jarak atau ketinggiannya (Vishwakarma dkk.,2006).

Antena Mikrostrip adalah sebuah antena yang difabrikasi dengan menggunakan teknologi *Printed Circuit Board* (PCB) dan digunakan untuk sinyal frekuensi gelombang mikro (*microwave*). Antena Mikrostrip terdiri atas *conducting strip* sebagai *radiating patch* dan *ground plane* dimana keduanya dipisahkan oleh sebuah bahan *dielectric*. Antena Mikrostrip

tunggal umumnya memiliki gain dan directivity yang rendah (Balanis dkk.,2005). Didesain antena mikrostrip dalam bentuk array dengan feeding diberikan hanya satu patch (elemen inti) dan beberapa patch parasit berjarak dekat yang disebut reflector dan director dapat meningkatkan nilai gain (Lee dkk., 1987).

Berdasarkan penjelasan diatas maka akan didesain antena mikrostrip triangular dalam bentuk array dengan feeding diberikan hanya satu patch (elemen inti) dan beberapa patch parasit berjarak dekat yang disebut reflector dan director untuk aplikasi radar altimeter. Antena mikrostrip triangular ini akan disimulasikan dan dirancang sesuai parameter antena aplikasi radar altimeter (S_{11} , S_{21} , VSWR, *gain* dan *axial ratio*) menggunakan software *High Frequency System Simulator* versi 13 (HFSS v13).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang diatas, maka dalam penelitian ini dirumuskan beberapa permasalahan yaitu:

1. Bagaimana menentukan beberapa parameter dari antena Mikrostrip yang bekerja di frekuensi 4,2 - 4,3 GHz untuk aplikasi radar altimeter.
2. Bagaimana mendesain Antena Mikrostrip yang optimal dan cocok untuk aplikasi Radar Altimeter sesuai dengan parameter dan karakteristik yang diinginkan dengan menggunakan *Software* HFSS v13

3. Bagaimana menganalisis parameter S_{11} (pengukuran port tunggal), S_{21} (pengukuran port ganda), VSWR, *gain* dan *axial ratio*.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mendesain antena mikrostrip *triangular array* untuk aplikasi Radar Altimeter sesuai dengan karakteristik antena dengan menggunakan *Software High Frequency Structure Simulator* versi 13 (HFSS v13) yang beroperasi pada frekuensi 4,2 - 4,3 GHz dan mendapatkan karakteristik antena berupa S_{11} , VSWR, *gain* dan *axial ratio*.
2. Mengimplementasikan desain antena mikrostrip *triangular array* ke dalam bentuk fisik dan mengukur S_{11} , S_{21} , VSWR, *gain* berdasarkan karakteristik prototipe yang telah dibuat serta menganalisis karakteristik antena.
3. Melakukan pengukuran S_{21} , menghitung nilai *Pathloss*, *Delay* dan *Link Budget (EIRP)*.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil karakteristik antena mikrostrip Triangular dalam bentuk array sesuai dengan karakteristik untuk aplikasi radar altimeter frekuensi 4,2 – 4,3 GHz.

E. Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan-perumusan masalah dan tujuan penelitian di dalam tahap perancangan antenna ini, dan untuk menentukan arah studi terkait, maka akan dibatasi sejumlah hal dalam penelitian ini yakni diantaranya:

1. Desain antenna mikrostrip *triangular* yang sesuai dengan parameter dan karakteristik yang bekerja di frekuensi 4,2 – 4,3 GHz dengan menggunakan *software* HFSS v13 mendapatkan parameter S_{11} , VSWR, gain dan axial ratio.
2. Parameter yang dianalisis yaitu S_{11} , S_{21} , VSWR, gain dari simulasi dan pengukuran desain antenna mikrostrip *triangular* di frekuensi 4,2 - 4,3 GHz.
3. Pembuatan prototipe menggunakan bahan dan alat yang tersedia umum dipasaran. Untuk antenna Mikrostrip *triangular array* menggunakan PCB dengan bahan FR4 Epoxy dan mempunyai ketebalan 1,6 mm.
4. Experimen pengukuran pada aplikasi radar altimeter untuk permukaan tanah dan air dilakukan pada Laboratorium Telematika Universitas Hasanuddin Makassar.

BAB II

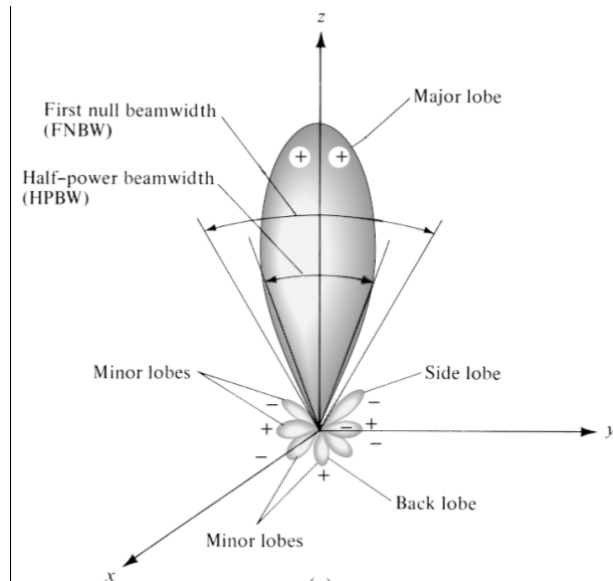
TINJAUAN PUSTAKA

A. Paramater Antena

Untuk menggambarkan unjuk kerja suatu antena, terlebih dahulu sangat penting untuk memahami parameter-parameter antena. Beberapa parameter saling berhubungan dan tidak semua perlu ditentukan untuk gambaran keseluruhan dari kinerja antena. Jenis parameter-parameter antena menurut IEEE *Standard Definition of Terms for Antennas*, yaitu pola radiasi, intensitas radiasi, lebar *beam* (*beamwidth*), keterarahan (*directivity*), penguatan (*gain*), lebar pita (*bandwidth*), polarisasi, dan impedansi *input*. Parameter lain yang turut menentukan keberhasilan unjuk kerja antena yaitu *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), dan koefisien refleksi (S_{11}).

1. Pola radiasi

Pola radiasi antena didefinisikan sebagai fungsi matematika atau representasi grafis dari sifat radiasi antena sebagai fungsi dari koordinat ruang. Sering kali, pola radiasi ditentukan pada daerah *far field* dan direpresentasikan sebagai fungsi dari koordinat arah (Balanis dkk.,2005).



Gambar 1. *Polar plot* dari pola radiasi (Balanis dkk.,2005)

Berbagai bagian dari radiasi disebut sebagai *lobe*, yang dibagi menjadi *major* atau *main lobe*, *minor lobe*, *side lobe* dan *back lobe*. *Lobe* adalah bagian dari pola radiasi yang dibatasi oleh daerah dari intensitas radiasi yang relatif lemah (Balanis dkk.,2005).

2. Intensitas radiasi

Intensitas radiasi didefinisikan sebagai daya yang diradiasikan dari suatu antenna per satuan sudut ruang. Intensitas radiasi merupakan parameter *far field* dan dapat dihasilkan dari mengalikan kerapatan radiasi (*radiation density*) dengan kuadrat jarak. Secara matematis diekspresikan pada persamaan berikut (Balanis dkk.,2005) :

$$U = r^2 W_{rad} \dots\dots\dots (2.1)$$

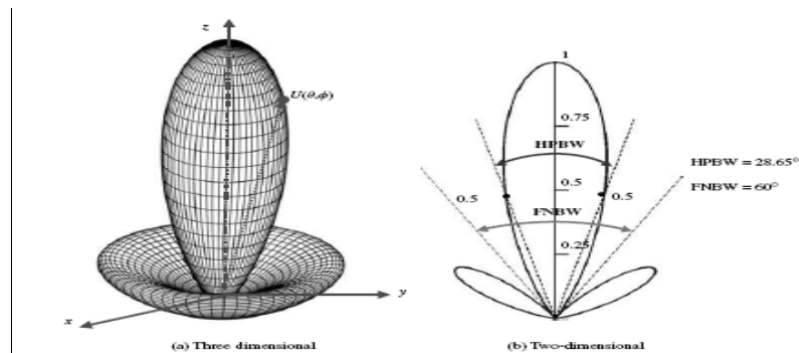
dimana, U = intensitas radiasi (W/satuan sudut ruang)

W_{rad} = kerapatan radiasi (W/m²)

r = radius radiasi (m)

3. Lebar *beam* (*Beamwidth*)

Lebar *beam* dari suatu pola radiasi antenna didefinisikan sebagai sudut pemisahan antara dua titik yang sama dengan sisi yang berlawanan dari pola maksimum. Pada suatu pola radiasi antenna terdapat beberapa lebar *beam*. Salah satu lebar *beam* (*beamwidth*) yang digunakan adalah *Half Power Beamwidth* (HPBW), yang didefinisikan oleh IEEE bahwa pada suatu bidang yang mengandung arah dari *beam* maksimum, sudut antara dua arah yang intensitas radiasinya setengah dari nilai *beam*. Lebar *beam* (*beamwidth*) penting lainnya adalah sudut pemisahan antara titik pertama dari pola yang disebut *First Null Beamwidth* (FNBW). Dalam prakteknya istilah lebar *beam* (*beamwidth*) biasanya ditujukan pada HPBW (Balanis dkk.,2005).



Gambar 2. Pancaran antenna 3 dimensi dan 2 dimensi (Balanis dkk.,2005)

4. Penguatan (*Gain*)

Penguatan antenna didefinisikan sebagai perbandingan intensitas pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang akan dihasilkan jika daya yang diterima oleh antenna yang diradiasikan secara isotropik (Balanis dkk.,2005). Untuk menghitung besarnya penguatan (*gain*) suatu antenna (G_t) yang dibandingkan dengan antenna standar (G_s), dapat dinyatakan secara numerik yaitu berupa perbandingan daya antenna yang diukur (P_t) dengan daya antenna isotropik (P_s) seperti Persamaan 2.2 (Nukuhaly dkk.,2012):

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} \times G_s \dots\dots\dots (2.2)$$

dan dinyatakan dengan *decibel* (dB) sebagai berikut (Nukuhaly dkk.,2012):

$$G_t = (P_t - P_s) + G_s \dots\dots\dots (2.3)$$

5. Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan didefinisikan sebagai perbandingan dari intensitas radiasi suatu antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah (Balanis dkk.,2005). Jadi bisa dinyatakan lebih sederhana bahwa, keterarahan dari sumber non isotropik sama dengan perbandingan dari intensitas radiasinya pada arah tertentu dengan intensitas radiasi sumber isotropik. Keterarahan menggambarkan seberapa banyak suatu antenna memusatkan energinya pada suatu arah dibanding ke arah lain.

6. Lebar pita (*Bandwidth*)

Lebar pita dari suatu antena didefinisikan sebagai rentang frekuensi dari kinerja suatu antena yang berhubungan dengan beberapa karakteristik yang sesuai dengan standar yang ditentukan. Pada rentang frekuensi tersebut, antena diusahakan dapat bekerja dengan efektif agar dapat menerima dan memancarkan gelombang elektromagnetik pada *band* frekuensi tertentu. Distribusi arus dan impedansi dari antena pada *range* frekuensi tersebut benar-benar belum mengalami perubahan yang berarti sehingga masih sesuai dengan pola radiasi yang direncanakan dan VSWR yang diijinkan. Secara umum, lebar pita (*bandwidth*) dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 2.4 (Nukuhaly dkk.,2012) :

$$BW = f_U - f_L \dots\dots\dots (2.4)$$

Lebar pita (*bandwidth*) dapat pula dinyatakan dalam bentuk persen sebagai berikut (Nukuhaly dkk.,2012) :

$$BW = \frac{f_U - f_L}{f_C} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan: f_U = frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)

f_L = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

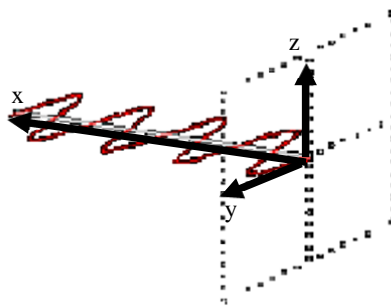
f_C = frekuensi tengah dalam *band* (GHz)

7. Polarisasi antena (*Axial Ratio*)

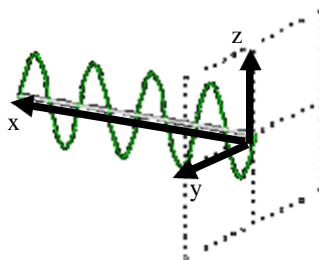
Polarisasi sebuah antena didefinisikan sebagai arah penjalaran dari gelombang yang ditransmisikan oleh antena. Polarisasi menggambarkan *magnitude* relatif dari vektor medan listrik (*E*) sebagai fungsi waktu pada

titik tertentu pada suatu bidang perambatan. Ada beberapa jenis polarisasi yang dapat terjadi pada gelombang elektromagnetik. Suatu polarisasi disebut polarisasi vertikal jika medan listrik dari gelombang yang dipancarkan antenna berarah vertikal terhadap permukaan bumi. Sebaliknya, suatu polarisasi disebut polarisasi horisontal jika medan listrik dari gelombang yang dipancarkan antenna berarah horisontal terhadap permukaan bumi. Kedua jenis polarisasi tersebut sering disebut polarisasi linier (Nukuhaly dkk.,2012).

Untuk melihat perbedaan dari beberapa pola radiasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut.



Gambar 3. Polarisasi linier horisontal



Gambar 4. Polarisasi linier vertikal

8. Impedansi *input*

Impedansi *input* adalah impedansi yang diukur pada gerbang (*port*) RF terminal antenna. Parameter ini merupakan perbandingan tegangan dan arus pada titik tersebut. Impedansi *input* selain ditentukan oleh letak titik catu antenna, juga dipengaruhi oleh antenna lain atau benda-benda yang berada di sekitar antenna serta frekuensi kerjanya. Impedansi *input* antenna dinyatakan dalam bentuk kompleks yang memiliki bagian *real* dan bagian imajiner. Bagian *real* merupakan resistansi masukan (R_{in}) yang menyatakan daya yang diradiasikan oleh antenna pada medan jauh. Sedangkan bagian imajiner merupakan reaktansi masukan (X_{in}) yang menyatakan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna. Impedansi *input* antenna dapat dihitung sebagai berikut (Nukuhaly dkk.,2012) :

$$Z_{in} = R_{in} + j X_{in} \dots\dots\dots (2.6)$$

9. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) merupakan kemampuan suatu antenna untuk bekerja pada frekuensi yang diinginkan. Ketika suatu saluran transmisi diakhiri dengan impedansi yang tidak sesuai dengan karakteristik saluran transmisi, maka tidak semua daya diserap di ujung. Sebagian daya direfleksikan kembali ke saluran transmisi. Sinyal yang masuk bercampur dengan sinyal yang dipantulkan yang menyebabkan suatu gelombang tegak tegangan mempola di saluran transmisi. Perbandingan tegangan maksimum terhadap tegangan minimum disebut *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR).

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk pembuatan antena adalah $VSWR \leq 2$. Praktiknya suatu VSWR 1,2 : 1 adalah yang terbaik. Pada VSWR 2.0, kira-kira 10% dari daya dipantulkan kembali ke sumber. Tingginya VSWR tidak hanya berarti daya terbuang, tetapi juga daya yang dipantulkan akan menyebabkan kabel panas (Balanis dkk.,2005)

Untuk dapat beroperasi secara efisien, perpindahan daya maksimum pada antena harus berlangsung antara pemancar dan antena. Daya maksimum yang ditransferkan dicapai ketika impedansi *input* antena Z_{in} cocok dengan impedansi antena pemancar Z_s , dengan persamaan (Nukuhaly dkk.,2012):

$$Z_{in} = Z_s \dots\dots\dots (2.7)$$

Jika kondisi ini tidak *match*, maka akan menyebabkan suatu gelombang berdiri atau VSWR (*voltage standing wave ratio*). VSWR yang besar berarti besar pula ketidaksepadanannya. Secara matematis VSWR dinyatakan sebagai (Nukuhaly dkk.,2012) :

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana : Γ = koefisien refleksi

Z_{in} = impedansi antena *input*

Z_s = impedansi antena pemancar

10. Koefisien refleksi

Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ). Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnituda dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ adalah nol, maka hal tersebut terjadi.

- $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum (saluran terhubung singkat)
- $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi (saluran dalam keadaan *match* sempurna)
- $\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum (saluran dalam rangkaian terbuka)

Nilai koefisien refleksi dalam satuan dB dapat dihitung secara matematis sesuai Persamaan (2.9) berikut ini :

$$\Gamma_{(dB)} = 10 \log 10 \left(\frac{P_i}{P_r} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

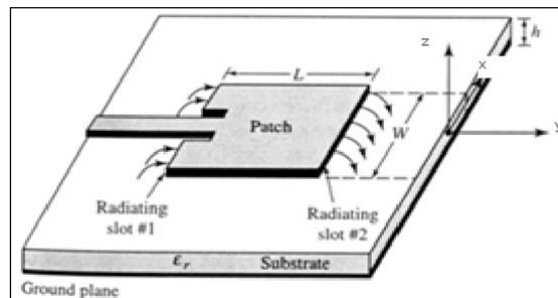
dimana : Γ = koefisien refleksi (dB)

P_i = *incident power* atau daya yang terkirim (*Watt*)

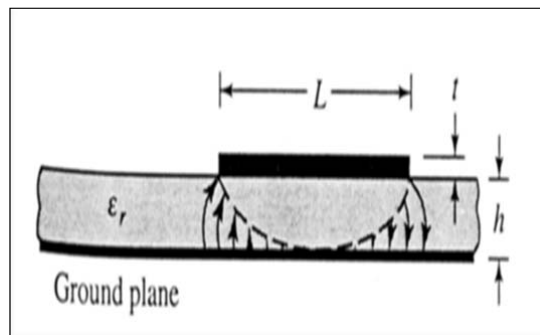
P_r = *reflected power* atau daya yang terefleksi (*Watt*)

B. Antena Mikrostrip

Konsep mengenai Antena Mikrostrip pertama kali diusulkan oleh Deschamps pada tahun 1953 (Nukuhaly dkk.,2012). Namun mulai diimplementasikan dan dikembangkan oleh Munson dan Howell pada tahun 1970 (Nukuhaly dkk.,2012). Struktur dasar dari sebuah Antena Mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 5 berikut (Balanis dkk.,2005) :



(a)

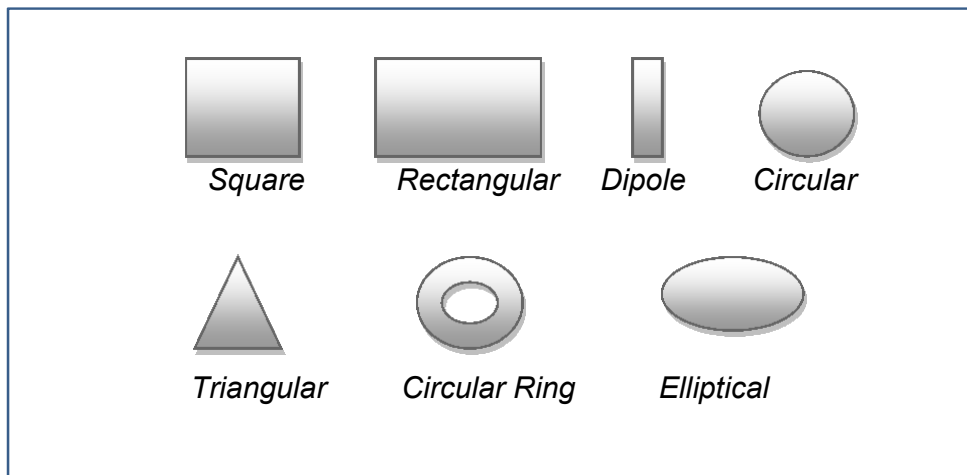


(b)

Gambar 5. Struktur dasar antena mikrostrip
(a) tampak atas (b) tampak samping

Berdasarkan Gambar 6 di atas, dapat diperhatikan struktur dasar dari sebuah Antena Mikrostrip yaitu potongan (*patch*) logam yang biasanya terbuat dari tembaga yang dicetak tipis pada dasar dielektrik

yang ditanahkan. *Patch* sebagai pelat yang meradiasikan daya dari sebuah *dielectric*. *Ground plane* dan *patch* dihubungkan oleh sebuah *center conductor* yang biasanya terbuat dari bahan tembaga (Nukuhaly dkk.,2012). Bentuk Antena Mikrostrip bermacam-macam, umumnya digunakan *rectangular* dan *circular* karena lebih mudah dianalisis.



Gambar 6. Beberapa model *patch* untuk antena mikrostrip (Balanis dkk.,2005).

Antena Mikrostrip banyak digunakan pada *link* komunikasi antara kapal dengan sistem satelitnya (untuk sistem navigasi), *Global System for Mobile Communication* (GSM), *domestic direct broadcast TV*, *telemetry*, *radar*, dan paling banyak digunakan yaitu pada *Global Positioning System* (GPS) (Nukuhaly dkk.,2012).

Dielektrik merupakan komponen penting pada Antena Mikrostrip. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui karakteristik dari dielektrik tersebut dengan mengetahui permitivitas relatif atau konstanta dielektrik. Permitivitas relatif atau konstanta dielektrik adalah sebuah konstanta yang

melambangkan rapatnya fluks elektrostatik dalam suatu bahan bila diberi potensial listrik. Permittivitas relatif merupakan perbandingan energi listrik yang tersimpan pada bahan tersebut jika diberi sebuah potensial relatif terhadap ruang hampa. Permittivitas relatif dilambangkan dengan huruf Yunani ϵ_r atau kadang-kadang k , K , atau Dk . Secara matematis permittivitas relatif suatu bahan didefinisikan sebagai :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana, ϵ_r = permittivitas relatif atau konstanta dielektrik

ϵ = permittivitas suatu bahan

ϵ_0 = permittivitas vakum = $8.854 \cdot 10^{-12}$ Farad/m

Pada Tabel 1. ditunjukkan beberapa bahan dielektrik yang tersedia dalam software Ansoft HFSS v13 yang biasanya digunakan sebagai substrat.

FR-4 adalah singkatan dan *Flame Retardant 4*, merupakan jenis bahan yang paling banyak digunakan untuk membuat *Printed Circuit Board* (PCB). Harga FR4-Epoxy yang murah dan memiliki sifat mekanik yang baik membuatnya sering digunakan untuk produksi massal produk-produk konsumen elektronik, termasuk sistem *microwave* dan antena.

Tabel 1. Daftar permitivitas relatif dari beberapa material

Material	Permitivitas Relatif
Udara	1
Copper	1
RT/Duroid™ 5880	2.2
FR4-Epoxy	4.4
Silicone_Nitrate	7
Mica	5.7
PEC	1
Alumina	9,4
Silicon	11.9
Gallium Arsenide	112.9
Roger 3210	10.2

FR-4 adalah singkatan dari *Flame Retardant 4*, merupakan jenis bahan yang paling banyak digunakan untuk membuat *Printed Circuit Board* (PCB). Harga FR4-Epoxy yang murah dan memiliki sifat mekanik yang baik membuatnya sering digunakan untuk produksi massal produk-produk konsumen elektronik, termasuk sistem *microwave* dan antena (Aguilar dkk., 2005). FR4 memiliki parameter standar dan nilai-nilai umum yang dikenal seperti pada Tabel 1.

Tabel 2. Parameter umum FR4 * (Aguilar dkk.,2005)

Relative Permittivity	3.9 to 4.8
Dielectric Breakdown	39kV/mm
Water Absorption	<1.3%
Dissipation Factor	0.022
Thermal Expansion	16-19ppm/degC

Keterangan : *nilai ini bisa bervariasi untuk setiap pihak manufaktur (pabrik) yang memproduksinya.

Bahan dielektrik lain yang sering dipakai adalah RT/Duroid™ 5880 dengan permitivitas relatif 2.2, dan *loss tangent* 0.0012. Material ini dapat memberikan *bandwidth* yang besar karena permitivitas relatifnya yang rendah.

1. Karakteristik antena mikrostrip

Antena mikrostrip telah terbukti sebagai radiator yang sangat baik untuk berbagai macam aplikasi karena beberapa kelebihan yang dimilikinya (Nukuhaly dkk.,2012). Antena Mikrostrip memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan antena *microwave* biasanya. Kelebihan tersebut mencakup:

- a. Dimensi kecil dan konfigurasi yang *low profile* dibandingkan struktur antena yang lain.
- b. Kemudahan mengintegrasikan dengan *Microwave Integrate Circuit* (MIC) yang lain pada substrat yang sama.
- c. Dapat dibuat pelat yang digunakan untuk *personal mobile communication*.
- d. Dapat beroperasi pada *multiband* frekuensi.

Selain kelebihan-kelebihan yang dimiliki, Antena *Microstrip* juga memiliki beberapa kekurangan (Chandra dkk.,2012), yaitu:

- a. Lebar pita (*bandwidth*) yang dihasilkan relatif lebih sempit dibandingkan antena konvensional. Saat ini dilakukan penelitian untuk peningkatan lebar pita Antena Mikrostrip dari *narrow bandwidth* menjadi *broad bandwidth*. Lebar pita (*bandwidth*) dapat ditingkatkan dengan menggunakan tebal substrat yang konstanta dielektriknya rendah. Cara lain adalah dengan menggunakan teknik *feeding* yang sesuai dengan model desain yang dibuat.
- b. Penguatan (*gain*) yang dihasilkan lebih kecil dibanding dengan antena konvensional
- c. Rendahnya kapasitas pengaturan daya dibandingkan dengan antena konvensional
- d. Efisiensi yang rendah dibandingkan antena konvensional

Unjuk kerja dari sebuah Antena Mikrostrip ditentukan oleh ukuran *patch* dan tebal dielektrik. Ukuran dari dielektrik sangat kecil sebanding dengan panjang gelombang. Oleh karena itu, *patch* antena ditujukan untuk dua hal, yaitu untuk distribusi arus dan tegangan pada *patch*, serta kemampuan meradiasikan gelombang elektromagnetik. Pada dasarnya setiap elemen dari Antena Mikrostrip berpengaruh terhadap unjuk kerja Antena Mikrostrip secara keseluruhan. Misalnya, pengaruh tinggi h dan permitivitas relatif ϵ_r dari substrat, adalah sebagai berikut :

- a. Naiknya h substrat dielektrik akan meningkatkan medan-medan limpahan di sepanjang tepi. Hal ini mengakibatkan perpanjangan panjang efektif L_{eff} sehingga frekuensi resonansi berkurang.
- b. Lebar pita dari Antena Mikrostrip meningkat seiring dengan meningkatnya ketebalan substrat h atau dengan menurunnya konstanta dielektrik ϵ_r .
- c. Keterarahan (*directivity*) antena meningkat karena daerah *effective aperture* meningkat, kaitannya dengan ΔL .
- d. Secara umum, awalnya efisiensi antena naik dengan naiknya ketebalan substrat karena meningkatnya daya yang dipancarkan antena (*radiated power*). Namun setelah itu, akan mulai menurun karena *cross-polar level* yang tinggi dan terjadi eksitasi *surface wave*.

Panjang Antena *Microstrip* L harus disesuaikan, karena apabila terlalu pendek maka lebar pita akan sempit sedangkan apabila terlalu panjang *lebar pita* akan menjadi lebih lebar tetapi efisiensi radiasi akan menjadi kecil. Dengan mengatur lebar dari Antena Mikrostrip W , impedansi *input* juga akan berubah. Semakin lebar W , impedansi *input* berkurang.

Dalam praktiknya, ukuran dari *ground plane* terbatas (*finite ground plane*). Ukuran dari *ground plane* ini dibatasi untuk mengurangi kompleksitas dalam proses komputasi numeriknya. Pola radiasi dari *Rectangular Microstrip Antenna* (RMSA) dengan *finite ground plane* tidak

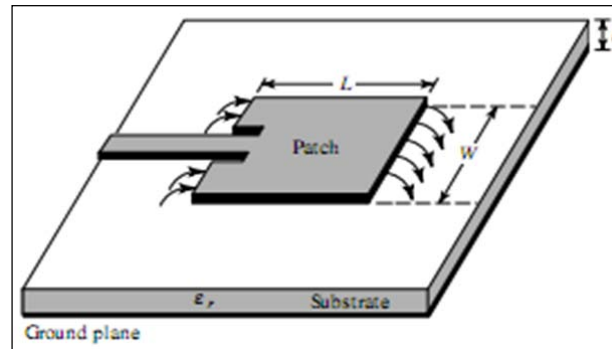
terhindarkan dari efek *back lobe*, sebaliknya pada *infinite ground plane* tidak terdapat *back lobe*.

2. Teknik Feeding

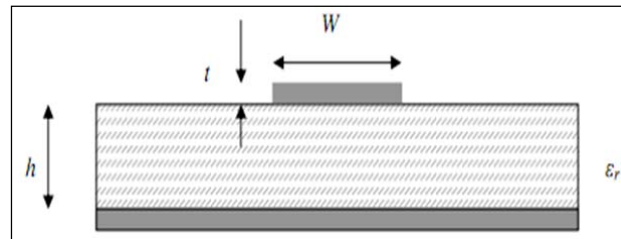
Dalam perancangan Antena Mikrostrip dikenal beberapa teknik *feeding* yang berbeda disertai kelebihan dan kekurangannya masing-masing (Nukuhaly dkk.,2012). Teknik *feeding* mempengaruhi impedansi *input* dan karakteristik antena. Oleh karena itu teknik *feeding* tidak pernah terlepas dari proses perancangan dan desain parameter Antena Mikrostrip.

Secara umum terdapat 4 teknik *feeding* yang populer digunakan yaitu *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling* (Balanis dkk.,2005). *Microstrip line* dan *coaxial probe* biasanya disebut *direct feeding*, sedangkan *aperture coupling* dan *proximity coupling* biasanya disebut *indirect feeding* (Devi dkk.,2012).

Microstrip feed line berupa pelat pengantar yang secara sekilas seperti bagian dari *radiating patch* karena letaknya yang langsung di-*couple* dengan *patch*, hanya saja memiliki lebar yang sangat kecil dibanding *patch*. Struktur *microstrip line* seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8 :

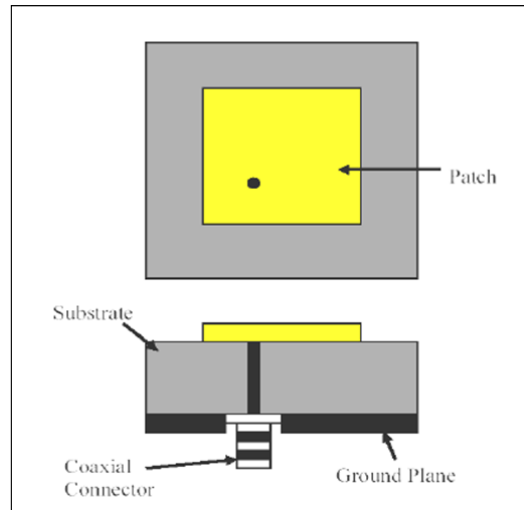


Gambar 7. Struktur *microstrip line* (Balanis dkk.,2005)



Gambar 8. Struktur *Microstrip Line* tampak samping

Microstrip line mudah dalam proses pembuatannya dan tidak terlalu rumit untuk mengintegrasikannya dalam struktur desain (C.A. Balanis, 2005). Sedangkan kekurangannya adalah jika tinjau dari aspek radiasi *feed line*. Struktur *microstrip line* yang langsung ter-*couple* dengan *patch* dapat menimbulkan *cross polarisasi* sehingga dapat mengacaukan radiasi medan listrik dan medan magnet ke *radiating patch*. Selain itu, untuk daerah frekuensi dengan panjang gelombang millimeter, ukuran *feed line* dapat sebanding dengan ukuran *patch* (Devi dkk.,2012). *Coaxial probe* atau *coaxial line feed* tersusun seperti pada Gambar 9 :

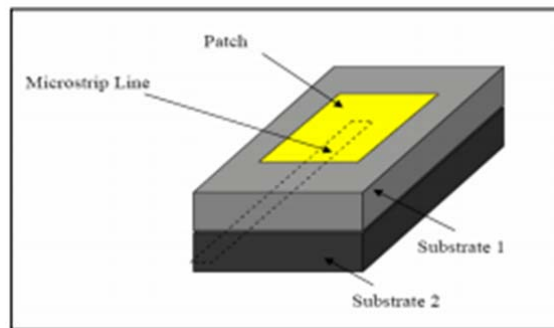


Gambar 9 Struktur *coaxial probe feeding* (Devi dkk.,2012).

Pada Gambar 9 di atas dapat dilihat struktur *coaxial probe feeding* tampak atas dan tampak sampingnya. *Coaxial probe* adalah teknik *feeding* yang paling banyak digunakan. *Center conductor* dari konektor *coaxial* disolder langsung ke bagian *patch* melewati substrat dengan bagian luarnya terhubung ke *ground plane* (Vishwakarma dkk.,2006).

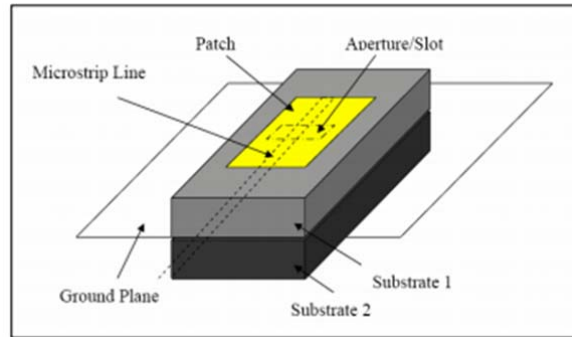
Kelebihan *coaxial probe* adalah kemudahan dalam proses pembuatannya dibandingkan teknik *feeding* yang lain. Selain itu fleksibilitas penempatannya pada *patch*, dimana *coaxial probe* dapat ditempatkan di setiap titik di dalam *patch* untuk memperoleh kesesuaian atau *matching* impedansi *input*nya. Namun kelemahannya adalah *coaxial probe* dihubungkan ke substrat dengan membuat *hole* atau lubang pada *ground plane* sehingga struktur yang demikian dapat menjadikan konfigurasi tidak planar. Selain itu *coaxial probe* dapat menyebabkan impedansi *input* lebih induktif seiring pertambahan panjang *probe*.

Seperti disebutkan di atas bahwa selain teknik *direct feeding*, terdapat pula teknik *indirect feeding* yakni *proximity coupling* dan *aperture coupling*. *Proximity coupling* dibuat dengan menempatkan *feed line* antara dua medium *dielectric* yaitu antara *patch* dengan *ground plane* seperti diperlihatkan pada Gambar 10 :



Gambar 10. Struktur *proximity coupling feed*

Seperti terlihat pada Gambar 10 bahwa teknik *feeding proximity coupling* tersusun atas dua layer, satu layer untuk *patch* dan layer yang lain untuk *feed line*. Teknik ini memberikan peningkatan performansi yaitu meningkatkan lebar *bandwidth*. Akan tetapi membutuhkan ketelitian penyesuaian kedua layernya agar tepat berada pada koordinat yang sama (Devi dkk.,2012). Metode yang keempat adalah *aperture coupling* seperti pada Gambar 11 :



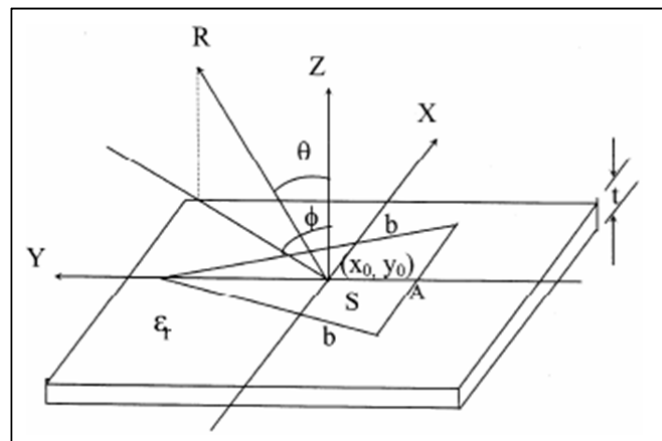
Gambar 11. Struktur *aperture coupling feed* (Devi dkk.,2012)

Aperture coupling adalah teknik *feeding* yang paling sulit dalam proses pembuatan dan tergolong *narrow bandwidth* (Balanis dkk.,2005). *Field* dihubungkan dari *microstrip line feed* ke *radiating patch* melalui *hole* atau semacam *slot cut* pada *ground plane*. *Aperture coupling* biasanya diletakkan pada pertengahan di bawah *patch* sehingga *cross polarisasi* dapat dihindari.

Dari keempat teknik *feeding* di atas, teknik yang dapat menghasilkan *bandwidth* paling lebar adalah *proximity coupling* yaitu sekitar 13% lebih lebar. Akan tetapi kesulitannya adalah pada tahap pembuatannya. Sedangkan *coaxial probe* mudah dalam proses pembuatannya dan fleksibel penempatannya pada *patch*, dimana *coaxial probe* dapat ditempatkan di setiap titik di dalam *patch* untuk memperoleh kesesuaian atau *matching* impedansi *inputnya* (Devi dkk.,2012).

3. Antena microstrip triangular patch

Untuk feed poin yang berbeda (x, y) nilai-nilai E_z , H_x , H_y dan akhirnya input impedansi Z_{in} adalah di kisaran 48-50 Ω . Sebuah sistem koordinat dari segitiga patch antena ditunjukkan pada gambar 1. Sebuah Triangular patch equilateral daerah S pada logam konstan ϵ_r . Biasanya patch diberi feed microstrip line atau coaxial probe. Untuk mendapatkan gelombang CP baik dari MSA dengan single feed, patch harus umumnya feed terletak pada feed location optimum (x_0, y_0) (Chandra dkk.,2012).



Gambar 12. Sistem koordinat untuk *equilateral triangular microstrip antenna* (Chandra dkk.,2012)

Letak feed point adalah dihitung dengan menggunakan model cavity, di mana dinding magnetik yang mengelilingi segitiga. Untuk lebih sederhana digunakan *coaxial feeding*, karena impedansi kabel koaksial pada umumnya adalah 50 Ω . Di sini, titik yang akan menemukan pada konduktor patch yang mana impedansi 50 Ω . Ada sejumlah besar poin dalam patch memiliki impedansi 50 Ω . Titik ini merupakan lokus, disebut

sebagai 50 Ω lokus. Feeding di salah satu poin dalam hasil radiasi maksimal karena sesuai dengan letaknya (Chandra dkk.,2012).

Impedansi input diperoleh dengan menggunakan persamaan bidang tertentu sebagai berikut:

$$E_z = A_{1,0,-1} \left[2 \cos \left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}a} + \frac{2\pi}{3} \right) \cos \frac{2\pi y}{3a} + \cos \frac{4\pi y}{3a} \right] \dots\dots\dots (2.11)$$

$$H_x = -jA_{1,0,-1} \xi_0 \left[\cos \left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}a} + \frac{2\pi}{3} \right) \sin \frac{2\pi y}{3a} + \sin \frac{4\pi y}{3a} \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

$$H_y = j\sqrt{3}A_{1,0,-1} \xi_0 \left[\sin \left(\frac{2\pi x}{\sqrt{3}a} + \frac{2\pi}{3} \right) \cos \frac{2\pi y}{3a} \right] \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana $\xi_0 = 1/120 \pi$ (mhos)

Input impedansi (Z_{in}) adalah :

$$Z_{in} = \frac{2E_z}{H} \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana

$$H = \sqrt{H_x^2} + H_y^2 \dots\dots\dots (2.15)$$

Untuk mencari dimensi *Triangular Patch Microstrip Antenna*, harus diketahui terlebih dahulu parameter bahan yang akan digunakan yaitu frekuensi resonansi (f_0), tebal dielektrik (h), konstanta dielektrik (ϵ_r), dan dimensi *patch* (W dan L). Persamaan matematis yang digunakan untuk menentukan dimensi antenna tersebut adalah sebagai berikut (Nukuhaly dkk.,2012) :

- Tebal substrat minimum

$$h \leq \frac{0,3c}{2\pi f_c \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2.16)$$

- Sisi (a) dan tinggi (t) *microstrip triangular patch antenna* diberikan oleh persamaan sebagai berikut.

$$a = \frac{2c}{3f_0\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$t = 0,5 \times a \times \sqrt{3} \dots\dots\dots (2.18)$$

- Lebar Groundplane (W_g) dan panjangnya (L_g) didapatkan oleh persamaan sebagai berikut (Chandra dkk., 2012)

$$W_g = 6h + a \dots\dots\dots (2.19)$$

$$L_g = 6h + t \dots\dots\dots (2.20)$$

- Sedangkan untuk menentukan titik letak *coaxial feed* (Y_f), didapatkan oleh persamaan sebagai berikut :

$$Y_f = \frac{a}{2} \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana, c = cepat rambat gelombang di udara ($3 \cdot 10^8$ m/s)

f_0 = frekuensi resonansi (Hz)

ϵ_r = permitivitas relatif

h = tinggi substrat (mm)

a = sisi triangular *patch* (mm)

t = tinggi triangular *patch* (mm)

Lebar pita (*bandwidth*) dari Antena *Microstrip* meningkat seiring dengan meningkatnya ketebalan substrat h atau dengan menurunnya permitivitas relatif (ϵ_r). Bagaimanapun, terdapat keterbatasan pada praktiknya dengan bertambahnya ketebalan h .

Dimensi Microstrip Triangular array dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 3. Dimensi *microstrip triangular array* (Devi dkk., 2012)

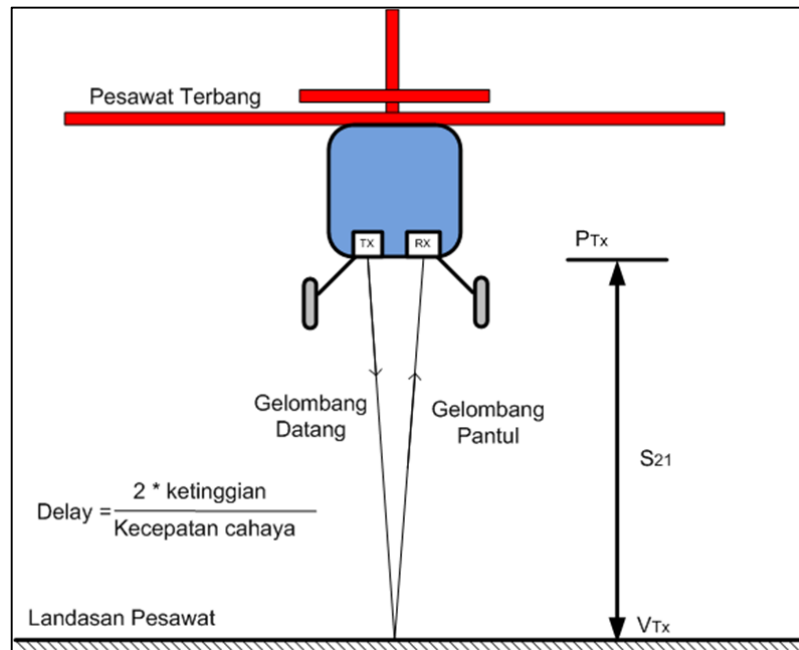
Relative permittivity	$\epsilon_r = 4,4$
Ketebalan substrak	$h = 1,6 \text{ mm}$
Triangular patch driven element	Sisi Triangular $a = \frac{2c}{3f_0\sqrt{\epsilon_r}}$
Ukuran Reflektor	$> 0,3 \text{ cm}$ dari driven element
Ukuran Director	$< 0,1 \text{ cm}$ dari driven element
Jarak antara reflector dan driven element	$D1 = 0,2\lambda$
Jarak antara director 1 dan driven element	$D2 = 0,4\lambda$
Jarak antara director 2 dan director 1	$D3 = 0,8\lambda$
Jarak antara director 3 dan director 2	$D4 = 0,05\lambda$
Jarak antara director 4 dan director 3	$D1 = 0,05\lambda$

C. Radar Altimeter

1. Pengertian radar altimeter

Radar altimeter adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur ketinggian atau jarak dari pesawat ke permukaan tanah atau ke permukaan laut. Jarak ini dihitung berdasarkan arah vertikal. Radio altimeter merupakan bagian dari radar. Radar altimeter menggunakan frekuensi kerja 4,2 – 4,3 GHz bandwidth tidak lebih dari 150 MHz dan memiliki gain yang tinggi. Antena menempatkan peran penting untuk mengirimkan gelombang radio dan menerima gelombang baik pada frekuensi yang sama atau di sebuah band frekuensi (Vishwakarma dkk.,2006).

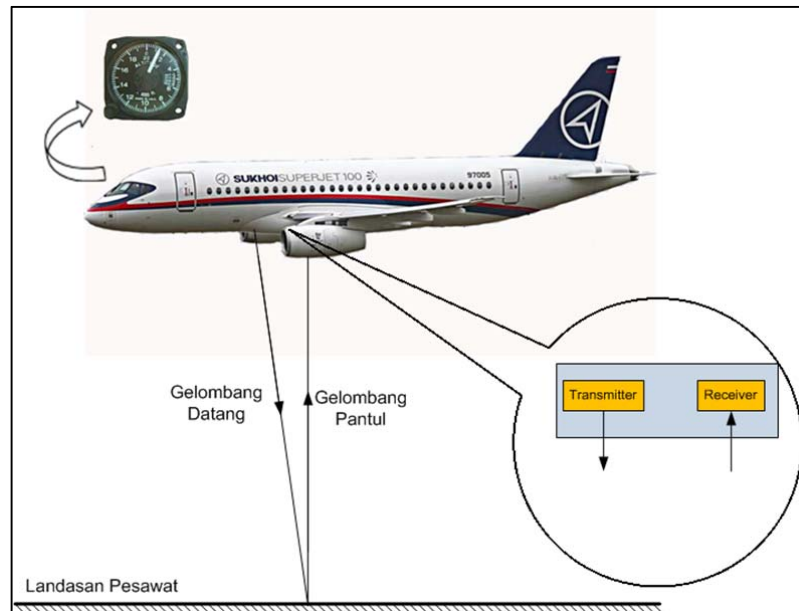
D. Prinsip kerja radar altimeter



Gambar 13. Konsep dasar radar altimeter (tampak depan)

Prinsip kerja radar altimeter adalah mengirimkan gelombang radio ke arah permukaan tanah atau permukaan laut dan menerima sinyal gema setelah durasi waktu. Nilai waktu tergantung pada kecepatan pesawat dan jarak antara pesawat (udara atau ruang) dan tanah. Ada dua jenis system pulsa radar altimeter yaitu frekuensi termodulasi dan gelombang kontinu (FM-CW) Radar altimeter. di mana gelombang radio elektromagnetik dikirim secara terus-menerus dan dipantulkan kembali sehingga terjadi perbedaan fasa dari gelombang radio elektromagnetik yang dikirim dan diterima kembali. Perbedaan fasa (*frequency shift*) ini dijadikan sebagai ukuran untuk menentukan jarak atau ketinggian pesawat terhadap *ground*.

Semakin besar beda fasa yang dihasilkan semakin jauh jarak atau ketinggiannya.



Gambar 14. Radar altimeter pada pesawat (tampak samping)

Terdapat dua antena yang digunakan, satu untuk pengirim (*transmit*) gelombang radio (*radio waves*) dan lainnya sebagai penerima (*receives*) sinyal gema dipantulkan oleh tanah atau permukaan laut. Waktu penerimaan adalah rasio dari dua kali ketinggian antara pesawat dan sinyal yang dipantulkan termodulasi dan ditransmisikan beroperasi pada ketinggian 0-8.000 meter menggunakan antena terpisah untuk mengirim dan menerima. (Vishwakarma dkk.,2006).

Radar Altimeter juga digunakan pada pesawat sipil dan militer :

- Pada pesawat sipil ini digunakan pada kondisi visibilitas rendah (*low visibility*) dan sistem pendaratan otomatis (*automatic landing systems*). Aplikasi altimeter memberikan pembacaan hingga 2.500 meter dan altimeter cuaca untuk 60.000 kaki di atas permukaan tanah (*Above the Ground Level / AGL*).
- Pada pesawat militer digunakan untuk terbang cukup rendah di atas tanah dan laut untuk menghindari deteksi radar dan penargetan oleh senjata pesawat atau rudal pada permukaan tanah ke udara.

Persamaan delay radar altimeter :

$$Delay = \frac{2 \times t}{c} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

t = Ketinggian maksimal radar altimeter = 8000 m

c = kecepatan cahaya = 299.792.458 (m/s) = $3 \cdot 10^8$ m/s

V = kecepatan maksimal pesawat 909 Km/Jam

Didapatkan :

$$D = \frac{2 \times 8000 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$D = \frac{16 \times 10^3 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$D = 5,33 \times 10^{-5} \text{ s}$$

$$D = 0,533 \mu\text{s}$$

E. Roadmap Penelitian

1. ***Design of A Pentagon Microstrip Antenna for Radar Altimeter Application***, K. Rama Devi, A. Mallikarjuna Prasad and A. Jhansi Rani ECE Dept., JNTU College of Engineering, Kakinada, A.P., India, *International Journal of Web & Semantic Technology (IJWest)* Vol.3, No.4, October 2012.

Pada penelitian diatas dititik beratkan pada desain antena mikrostrip berbentuk segi empat, lingkaran dan segi enam pada frekuensi 4,2 - 4,3 GHz untuk aplikasi Radar Altimeter. Kinerja dari semua bentuk dianalisis dalam hal pola radiasi, *half power points*, dan gain dan *bandwidth* impedansi di MATLAB. (Devi dkk.,2012).

2. ***Equilateral Triangular Microstrip Antenna For Circular Polarization dual-band operation***. Rejesh K. Vishwakarma, J.A. Ansari , M. K. Meshram. 2006. Indian Journal of Radio & Space Physics. Vol 35, Agustus 2006, pp 293-296

Pada penelitian diatas dititik beratkan pada desain antena mikrostrip segitiga samasisi mikrostrip antena mengukur karakteristik radiasi dengan dua lapisan patch antena segitiga daya maksimum, VSWR, return loss, pada frekuensi 3 dan 3,5 GHz. Menunjukkan untuk merancang dua lapisan patch antena segitiga samasisi patch antena untuk operasi dual band dengan polarisasi melingkar cukup baik (Vishwakarma dkk.,2006).

3. **“Circular Microstrip Patch Array Antenna for C-Band Altimeter System”**, Asghar Keshtkar, Ahmad Keshtkar, and A. R. Dastkhosh, *International Journal of Antennas and Propagation Volume 2008, Article ID 389418, doi:10.1155/2008/389418,7 pages, 2008.*

Pada penelitian diatas dititik beratkan pada desain antenna mikrostrip untuk memperoleh gain 12 dB, pola radiasi, dan nilai VSWR untuk aplikasi sistem altimeter. Antena disimulasikan dan dianalisa menggunakan software HFSS dan Microwave Office 2006 telah digunakan untuk simulasi dan desain yang optimal (Keshtkar, 2008)

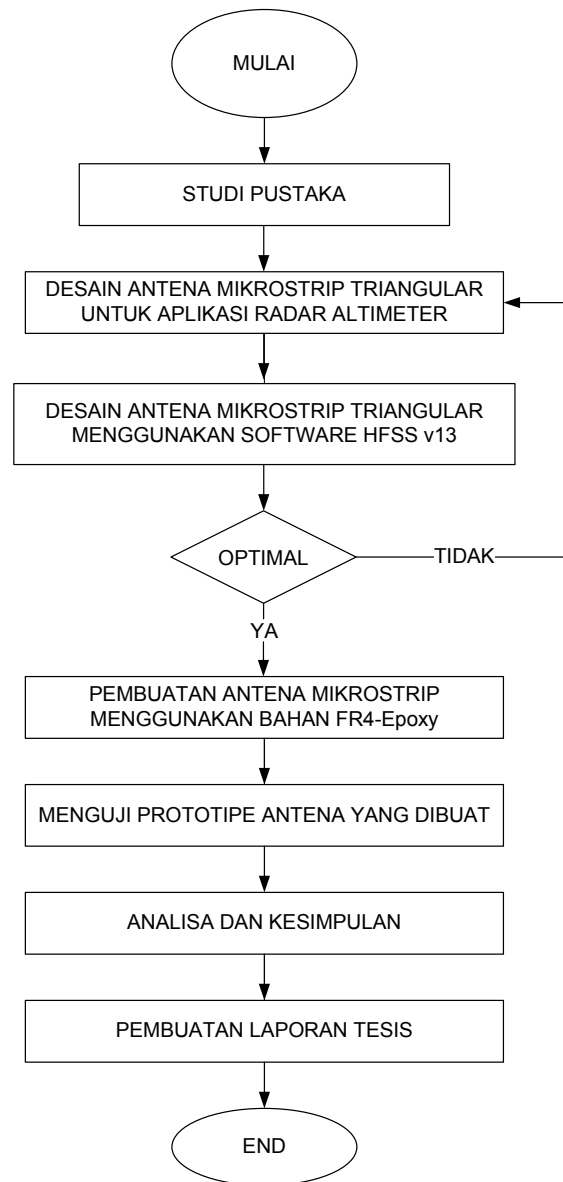
Berdasarkan roadmap penelitian yang ada maka penulis mengambil penelitian lebih dikhususkan bagaimana mendesain antenna mikrostrip *triangular* pada frekuensi 4,2 - 4,3 GHz untuk aplikasi Radar Altimeter menggunakan *Software High Frequency Structure Simulator* versi 13 (HFSS v13) mendapatkan karakteristik antenna berupa S_{11} , *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), gain dan *Axial Ratio*.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Metodologi Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian yang ditempuh dimulai dengan studi pustaka menggunakan beberapa literatur berupa buku-buku teks dan jurnal internasional yang relevan dengan permasalahan yang dikaji dan *software* yang digunakan. Langkah berikutnya adalah menentukan nilai parameter-parameter yang ingin didapatkan sesuai karakteristik antena Radar Altimeter, yakni frekuensi kerja 4,2 – 4,3 GHz, koefisien refleksi (S_{11}) di bawah atau sama dengan -10 dB, dan VSWR antara 1 - 2. Langkah selanjutnya adalah menentukan dimensi antena, yakni menghitung dimensi *patch*, *groundplane*, tebal substrat, dan penempatan *feed point*. Langkah selanjutnya adalah simulasi dengan menggunakan *software* Ansoft *High Frequency Structural Simulator* (HFSS) v13. Hasil simulasi yang optimal selanjutnya dibuat dalam bentuk sebuah prototipe sebagai bahan analisis untuk perbandingan antara simulasi menggunakan *software* HFSS v13 dengan hasil pengujian prototipe. Tahapan akhir yang dilakukan adalah membuat kesimpulan mengenai hasil yang dicapai pada penelitian. Alur kerja perancangan yang dilakukan dalam proses pembuatan antena mikrostrip untuk aplikasi Radar Altimeter ini dapat dilihat pada *flow chart*.



Gambar 15. *Flow Chart* kerja perancangan antenna mikrostrip

Dari gambar 15 *flow chart* di atas terlihat bagaimana alur kerja dari perancangan antenna mikrostrip yang akan dibuat. Dalam perancangan ini yang pertama kali dilakukan adalah menentukan karakteristik kerja antenna Radar altimeter, yakni nilai standar frekuensi kerjanya, koefisien refleksi,

dan VSWR. Kemudian menentukan jenis substrat yang dipakai. Dalam hal ini yakni menggunakan jenis FR-4 Epoxy. Tahap berikutnya mendesain antenna menggunakan *software* Ansoft HFSS v13 dan mensimulasikannya. Hasil dari simulasi ini kemudian ditentukan apakah perlu dioptimasi atau tidak. Optimasi ini berupa pengaturan ukuran *substrat*, *patch*, *groundplane*, dan penempatan *feed point*. Tahap selanjutnya yakni melakukan pembuatan prototipe antenna mikrostrip, dan mengukurnya berdasar parameter koefisien refleksi (S_{11}), VSWR, pola radiasi, *gain* dan *Axial Ratio*. Hasil pengukuran ini lalu ditentukan apakah prototipe perlu dioptimasi atau tidak, untuk mendapatkan karakteristik antenna yang diinginkan. Prototipe yang hasil pengukurannya paling mendekati karakteristik antenna mikrostrip untuk aplikasi Radar altimeter kemudian dibandingkan dengan hasil simulasinya dan dianalisis.

B. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama bulan Februari 2013 sampai dengan bulan Juni 2013 bertempat di Laboratorium Telematika Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

C. Tahapan Penelitian

1. Menentukan spesifikasi antena mikrostrip *triangular* untuk aplikasi radar altimeter

Antena yang akan direalisasikan memiliki spesifikasi desain sebagai berikut:

a. Jenis antena = Mikrostrip *Triangular*

Pemilihan jenis antena mikrostrip *Triangular* adalah karena pada jenis ini, dimensi *patch* dapat ditentukan berdasarkan perhitungan secara matematis sesuai frekuensi yang diinginkan.

b. Frekuensi kerja = 4,2 GHz sampai dengan 4,3 GHz

c. Pola radiasi = directional

d. *Insertion loss* < 2, idealnya 0 yang artinya tidak ada daya yang hilang selama perambatan di saluran

e. *Return loss* \leq -10 dB. Semakin besar nilai *return loss*, semakin banyak daya yang dipantulkan kembali

f. Bahan yang digunakan pada perancangan antena ini yaitu PCB (*Printed circuit board*) *double layer* jenis FR4-Epoxy, dimana memiliki spesifikasi bahan sebagai berikut :

- Permittivitas relatif bahan (ϵ_r) = 4,4
- Tebal dielektrik (h) = 1,6 mm
- Tebal konduktor (t) mendekati 0 (bisa diabaikan)
- Rugi-rugi tangent = 0,02

- g. Dimensi *patch* (a, t) : *Patch* terbentuk dari beberapa bentuk *patch* yang di-*unite* dan di-Subtrat. Dimensi *patch* diperoleh dari hasil perhitungan matematis pada Persamaan (2.15) sampai pada Persamaan (2.20), kemudian dilakukan langkah modifikasi untuk memperoleh hasil yang optimal.
- h. Impedansi : Impedansi *Input* yang digunakan dalam perancangan Antena *Microstrip* ini sebesar 50 Ω .
- i. Metode atau teknik *feeding* menggunakan *coaxial probe feed*.

2. Menentukan tebal substrat maksimum

Untuk jalur yang beroperasi pada frekuensi tengah (f_c), maka ketebalan (h) maksimum dapat dihitung secara matematis. Dengan menentukan frekuensi tengah maksimum = 4.25 GHz, dapat menentukan nilai h maksimum sesuai perhitungan berdasarkan Persamaan (2.16) :

$$h \leq \frac{0,3c}{2\pi f c \sqrt{\epsilon r}}$$

$$h \leq \frac{0,3 \times 3 \cdot 10^8}{2 \times 3,14 \times 4,25 \times 10^8 \times \sqrt{4,4}}$$

$$h \leq 1,53 \text{ mm}$$

Nilai h (ketebalan substrat) maksimum adalah 1,53 mm. Penelitian ini menggunakan substrat jenis FR-4 Epoxy dengan h sebesar 1,6 mm. Maka nilai ini sesuai dengan syarat substrat tersebut dapat digunakan sebagai bahan penyusun antena, seperti ditunjukkan ilustrasinya pada gambar 16 di bawah ini.



Gambar 16. Tebal substrat h

3. Menentukan dimensi (ukuran) patch

Berdasarkan rumus perhitungan (2.17) dan (2.18), diperoleh ukuran sisi *Triangular patch* (a) dan tinggi (t). Nilai f_o (frekuensi resonansi) yang diinginkan sebesar 4,25 GHz, kecepatan gelombang elektromagnetik di udara c senilai 3×10^8 m/s, dan konstanta dielektrik ϵ_r sebesar 4.4, didapatkan nilai alas (a) dari antenna mikrostrip *triangular* sesuai perhitungan :

$$a = \frac{2c}{3f_o\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$a = \frac{2 \times 3 \times 10^8}{3 \times 4,25 \sqrt{4,4}}$$

$$a = 32,08 \text{ mm}$$

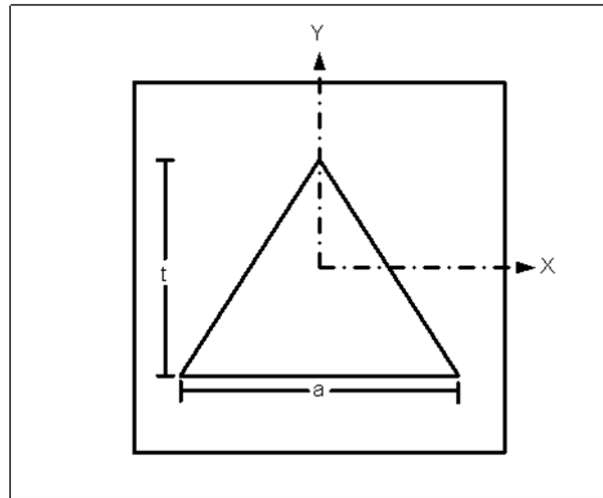
Tinggi antenna mikrostrip *triangular patch* (t) diberikan sebagai :

$$t = 0,5 \times a \times \sqrt{3}$$

$$t = 0,5 \times 32,08 \times \sqrt{3}$$

$$t = 24,06 \text{ mm}$$

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat dimensi a dan t pada gambar berikut :



Gambar 17. Panjang sisi (a) dan tinggi (t) patch

4. Menentukan dimensi (ukuran) ground plane

Sesuai dengan persamaan (2.19) dan (2.20), nilai W_g dan L_g di dapatkan sesuai perhitungan :

$$W_g = 6h + a$$

$$W_g = (6 \times 1,6 \text{ mm}) + 32,08 \text{ mm} = 41,69 \text{ mm}$$

$$L_g = 6h + t$$

$$L_g = (6 \times 1,6 \text{ mm}) + 24,06 \text{ mm} = 33,66 \text{ mm}$$

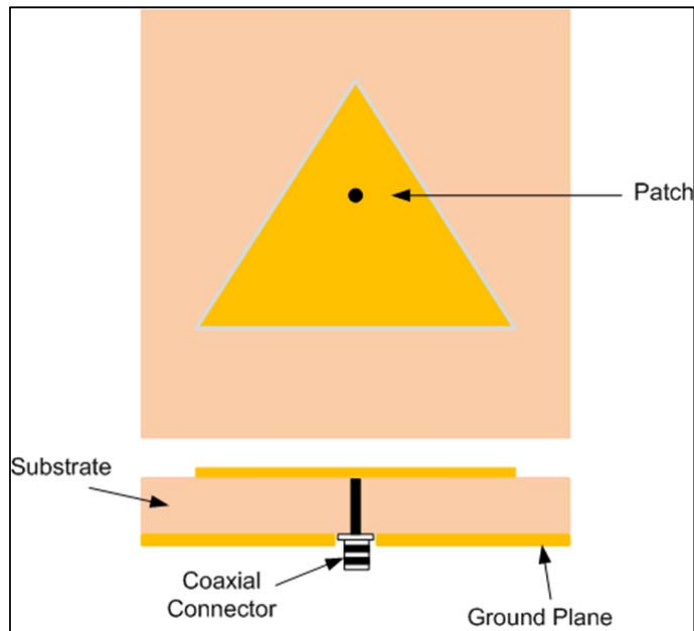
5. Menentukan titik letak Coaxial Feed

Sesuai dengan persamaan (2.21), peletakan posisi coaxial feed didapat sesuai perhitungan :

$$X_f = \frac{a}{2}$$

$$X_f = 32,08 \text{ mm} / 2 = 16,04 \text{ mm sepanjang } t$$

Ilustrasi posisi *feed point* dapat dilihat pada gambar 18 berikut ini :



Gambar 18. Ilustrasi penempatan *Coaxial feed*

6. Optimasi rancangan antena mikrostrip *triangular*

Perancangan antena mikrostrip menggunakan *software* Ansoft HFSS v13 bertujuan mendapatkan desain antena yang memiliki nilai standar untuk diaplikasikan pada Radar altimeter. Nilai standar ini adalah :

Frekuensi tengah : Frekuensi yang berada antara rentang 4,2–4,3 GHz.

Bandwidth : Minimum 100 MHz (*band* 4200 – 4300 MHz).

VSWR : Antara 1 - 2

Koefisien Refleksi : ≤ 10 dB

Berdasarkan perancangan yang dilakukan pada desain sesuai perhitungan menggunakan rumus pada persamaan (2.15) sampai (2.20), dihasilkan nilai-nilai dimensi antena mikrostrip yang tertera pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 4. Desain awal dimensi fisik antena mikrostrip *triangular*

No.	Bagian Dimensi	Ukuran (mm)
1	h (height) substrat	1.6
2	a (sisi <i>triangular</i>) patch	32,08
3	t (tinggi <i>triangular</i>) patch	24,06
4	W_g (width) groundplane	41,69
5	L_g (length) groundplane	33,66
6	d (diameter) feed point hole	1.27

Data pada tabel 4. dimasukkan ke dalam rancangan desain antena menggunakan *software* Ansoft HFSS v13. Desain tersebut kemudian disimulasikan untuk mengetahui nilai frekuensi tengah, *bandwidth*, koefisien refleksi dan VSWR.

Hasil yang diperoleh berdasar simulasi menunjukkan bahwa nilai frekuensi tengah belum memenuhi kriteria, yakni berada pada 3,143 GHz dan 5,102 GHz. Nilai koefisien refleksi sudah memenuhi kriteria, yakni bernilai -12,687 dB dan -14,898 dB. Begitu pula dengan nilai VSWR bernilai 1,604 dan 1,438.

Karena hasil simulasi rancangan berdasarkan rumus belum memenuhi nilai standar, maka perlu dilakukan optimasi untuk memperbaiki desain sesuai karakteristik antena mikrostrip *triangular* yang diinginkan. Proses tahapan optimasi desain menggunakan *software* Ansoft HFSS terlampir pada Lampiran A. Optimasi dilakukan dengan memodifikasi dimensi, *groundplane*, *patch*, dan peletakan *feed point* sampai diperoleh

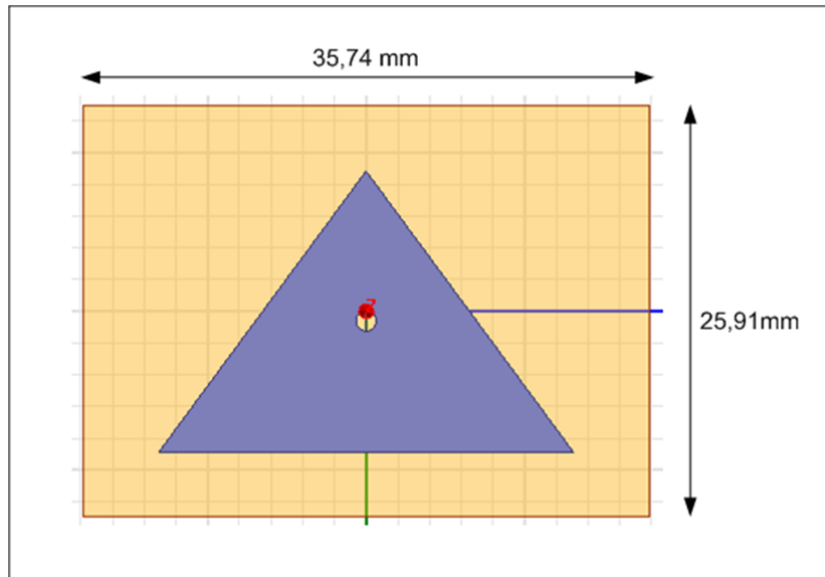
rancangan desain yang sesuai nilai standar. Hasil simulasi yang memenuhi standar kemudian dibuat prototipe untuk dilakukan pengujian.

Hasil pengujian prototipe yang nilai paling mendekati standar kemudian dibandingkan dengan hasil simulasinya menggunakan *software* Ansoft HFSS v13. Berikut ini adalah tabel hasil optimasi desain yang pengukurannya paling mendekati standar antena mikrostrip *triangular* untuk aplikasi Radar altimeter.

Tabel 5 Dimensi fisik antena mikrostrip *triangular* yang hasil pengukurannya paling mendekati standar

No.	Bagian Dimensi	Ukuran (mm)
1	h (height) substrat	1.6
2	a (sisi <i>triangular</i>) patch	26,14
3	t (tinggi <i>triangular</i>) patch	18,01
4	W_g (width) groundplane	35,74
5	L_g (length) groundplane	25.91
6	d (diameter) feed point hole	1.27

Untuk lebih jelasnya, bentuk desain hasil optimasi pada Tabel 3.2 di atas secara simulasi dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 19. Desain optimasi antenna mikrostrip *triangular*

7. Microstrip *Triangular* Array

Dimensi Mikrostrip triangular array dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 6. Dimensi mikrostrip *triangular* array (Devi dkk., 2012)

Relative permittivity	$E_r = 4.4$ (FR4 Epoxy)
Ketebalan substrak	$h = 1,6$ mm
<i>Triangular patch driven element</i>	Sisi <i>triangular</i> (a) = 26,14 mm, Tinggi (t) = 18,01 mm
Ukuran Reflektor	Lebih besar 0,3 cm dari <i>driven element</i> Sisi <i>Triangular</i> (a) = 32,14 mm, Tinggi (t) = 21,01 mm
Ukuran Director	Lebih kecil 0,1 cm dari <i>driven element</i> Sisi <i>Triangular</i> (a) = 24,14 mm, Tinggi (t) = 17,01 mm
Jarak antara <i>reflector</i> dan <i>driven element</i>	$D1 = 0,2\lambda = 14,117$ mm
Jarak antara <i>director 1</i> dan <i>driven element</i>	$D2 = 0,4\lambda = 28,235$ mm
Jarak antara <i>director 2</i> dan <i>director 1</i>	$D3 = 0,8\lambda = 56,470$ mm
Jarak antara <i>director 3</i> dan <i>director 2</i>	$D4 = 0,05\lambda = 3,529$ mm
Jarak antara <i>director 4</i> dan <i>director 3</i>	$D1 = 0,05\lambda = 3,529$ mm

D. Alat dan bahan

Perancangan antena mikrostrip *triangular array* menggunakan beberapa alat dan bahan sebagai berikut :

a. Alat :

1. Solder dan timah
2. Penghisap timah
3. Penggaris
4. Bor PCB
5. Amplas halus

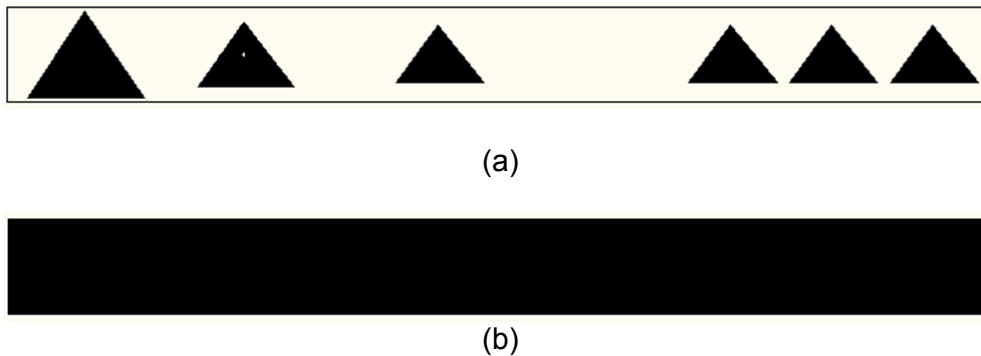
b. Bahan :

1. *Printed Circuit Board (PCB) Double Layer FR-4 Epoxy*
2. *Software Ansoft High Frequency Structural Simulator v13*
3. *Software AutoCAD 2010*
4. Konektor SMA PCB 50 ohm

E. Perancangan Prototipe Antena Mikrostrip *Triangular Array*

1. Perancangan Layout

Software yang digunakan dalam perancangan *layout* prototipe antena mikrostrip ini adalah AutoCAT 2010. Adapun gambar *layout* antena mikrostrip seperti terlihat pada Gambar 19.



Gambar 20. *Layout* antena mikrostrip dengan software AutoCAT 2010
(a) Layer bagian atas (b) Layer bagian bawah

Software yang digunakan dalam perancangan *layout* prototipe antena mikrostrip ini adalah AutoCAT 2010. Adapun gambar *layout* antena mikrostrip seperti terlihat pada Gambar 20.

2. Perancangan Prototipe Antena Mikrostrip *Triangular Array*

Berdasarkan hasil perancangan pada *software* Ansoft HFSS v13, maka dibuat prototipe antena mikrostrip. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada perancangan *prototipe* ini adalah :

1. Bahan dan alat yang digunakan untuk proses pembuatan prototipe meliputi PCB FR4-Epoxy *double layer*, tinta sablon, *software* AutoCAT

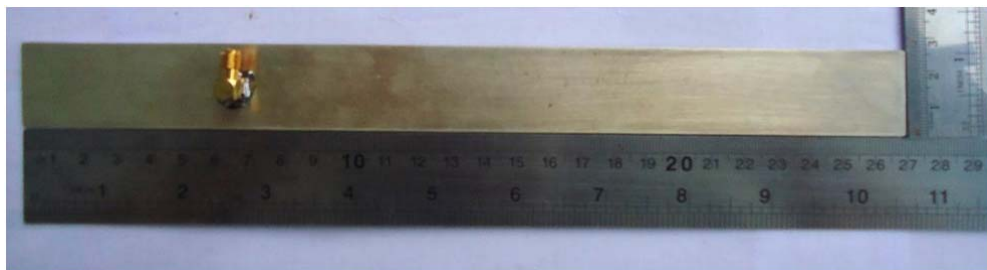
2010, SMA Connector 50 ohm, timah, *Ferrite Chloride*, alat bor pcb, amplas halus, dan solder.

2. Desain yang diperoleh berdasarkan hasil perancangan pada *software* Ansoft HFSS v13 selanjutnya dibuat *layout* pada *Printed circuit board* (PCB) untuk membangun prototipe. Adapun tahap-tahap yang dilakukan adalah sebagai berikut :
 - a. Membuat model prototipe sesuai desain yang telah dibuat pada HFSS v13 menggunakan *software AutoCAT 2010*.
 - b. Men-sablon PCB sesuai model yang telah dibuat dengan menggunakan *software AutoCAT 2010*.
 - c. Mengeringkan PCB yang telah di sablon.
 - d. Setelah hasil sablon didapatkan, maka dilakukan tahap pembuatan prototipe.
 - e. Tahap pertama yakni dengan melarutkan *Ferrite Chloride* dengan menggunakan air panas dalam suatu wadah.
 - f. Kemudian merendam desain yang telah tersablon dalam larutan tersebut selama ± 15 menit hingga daerah yang tidak tersablon terangkat.
 - g. Mengangkat PCB dari larutan kemudian mencucinya dengan air hangat. Selanjutnya, menggosok bagian PCB yang tersablon dengan menggunakan amplas halus.
 - h. Melubangi *feed* pada bagian yang telah ditentukan untuk masukan SMA Connector dengan menggunakan bor berdiameter 1 mm.

- i. Memasukkan SMA Connector pada lubang yang telah dibuat pada PCB, kemudian menyolder bagian atas dan bawah PCB untuk dilekatkan dengan SMA Connector. Hasilnya seperti pada Gambar 21 berikut :



(a)



(b)

Gambar 21. Prototipe antena mikrostrip Triangular Array
(a) Layer bagian atas (b) Layer bagian bawah

F. Teknik Pengukuran Prototipe Antena

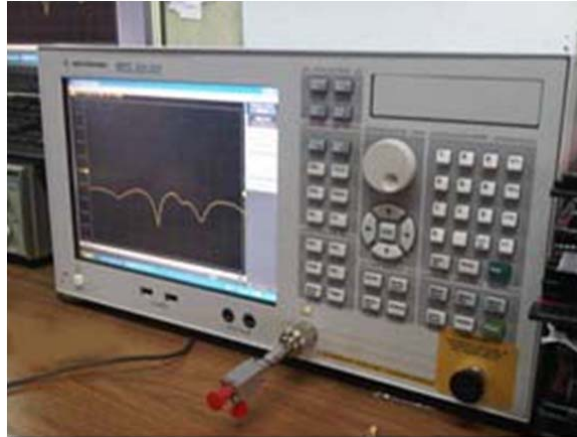
Pengukuran prototipe antena dilakukan setelah terlebih dahulu prototipe antena tersebut dirancang dan dibuat dalam bentuk jadi. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui keberhasilan dari perancangan dan pembuatan antena mikrostrip *triangular array* untuk aplikasi Radar altimeter. Pada pengukuran antena ini meliputi pengukuran port tunggal (pengujian koefisien refleksi (S_{11}) dan *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), serta pengukuran port ganda (pola radiasi). Pengukuran dilakukan bukan di dalam ruangan yang bebas interferensi (*anechoic chamber*) sehingga pengaruh interferensi tidak dapat dihindari pada saat melakukan pengujian kinerja prototipe. Pengukuran prototipe antena mikrostrip *triangular array* menggunakan bantuan *Antenna Trainer System* ED-3200 dan *Network Analyzer* Agilent 5017C. Pengukuran ini dilakukan di dalam ruangan Laboratorium Telematika Jurusan Teknik Elektro Universitas Hasanuddin Makassar.

1. Pengukuran port tunggal

Pengukuran ini meliputi pengujian koefisien refleksi (S_{11}) dan *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). Pengukuran parameter-parameter tersebut menggunakan alat ukur *Network Analyzer* Agilent 5017C. Adapun prosedur pengukuran adalah sebagai berikut.

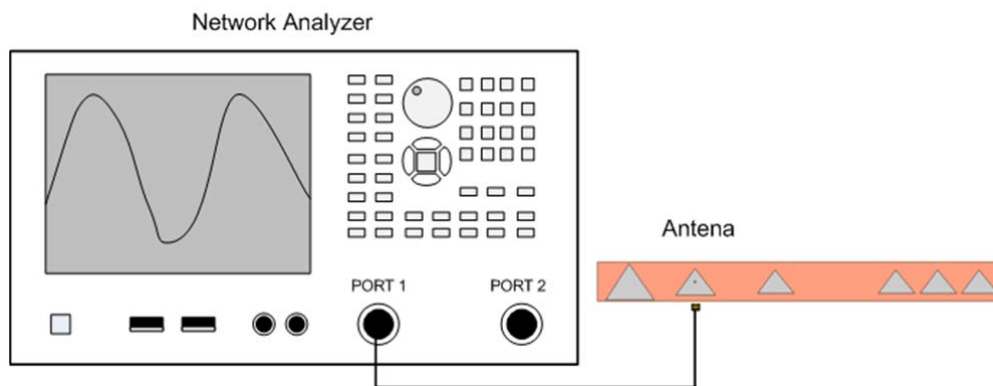
1. Pasang *probe* 50 ohm pada port 1 *network analyzer*. Kemudian melakukan prosedur kalibrasi *network analyzer* untuk keadaan *open*

circuit, short circuit, dan load. Prosedur kalibrasi dapat dilihat pada gambar 21.



Gambar 22. Prosedur kalibrasi *network analyzer* 5017C.

2. Setelah kalibrasi selesai dilakukan, hubungkan konektor antenna ke konektor port *network analyzer*. Konfigurasi dapat dilihat pada gambar 22.



Gambar 23. Konfigurasi pengukuran antenna pada *Network Analyzer*

3. *Network Analyzer* ini mampu menampilkan rentang frekuensi antara 100 KHz sampai dengan 8,5 GHz. Untuk menampilkan rentang frekuensi sebagai pengamatan, tekan tombol *start* dan *stop* pada *network analyzer*.
4. Tampilkan parameter-parameter yang akan dilihat pada *network analyzer* dengan memilih tanda S_{11} untuk mengukur koefisien refleksi dan SWR untuk mengukur nilai VSWR.

2 Pengukuran port ganda

Pengukuran ini meliputi pengujian pola radiasi dan S_{21} dari prototipe antenna mikrostrip triangular array yang telah dibuat. Pengukuran parameter-parameter tersebut menggunakan alat ukur *Network Analyzer* Agilent 5017C dan *Antenna Trainer System* ED-3200.

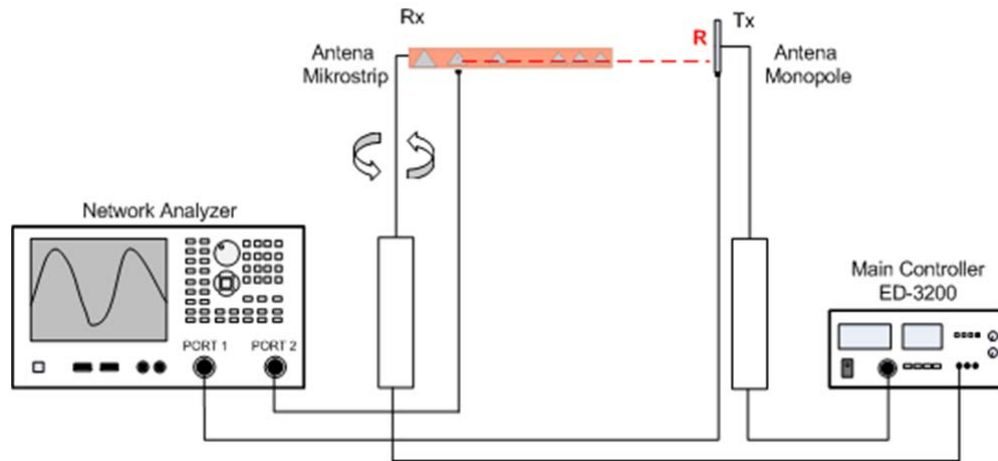


(a) *Antenna Trainer System* (b) *Main Controller*
Gambar 24. *Set Antenna Trainer System* ED-3200

Pada pengukuran pola radiasi ini, dibutuhkan dua buah antenna yang memiliki frekuensi kerja yang sama. Satu antenna digunakan sebagai pengirim, dan satu antenna sebagai penerima.

Adapun prosedur pengukuran adalah sebagai berikut.

1. Melakukan kalibrasi *Network Analyzer* terlebih dahulu.
2. Melakukan konfigurasi pengukuran port ganda seperti pada gambar berikut.



Gambar 25. Konfigurasi pengukuran port ganda

3. Antena Tx yang digunakan berjenis *antena Horn*.
4. Kedua buah antena dipisahkan dengan jarak sejauh r . Jarak pisah ini memenuhi syarat dimana antena bekerja pada medan jauhnya (*far field*). Agar dapat bekerja pada medan jauhnya, dibutuhkan jarak pisah minimum (r_{min}). Yang besarnya dapat dihitung sesuai persamaan 3.1 :

$$r_{min} = \frac{2D^2}{\lambda} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana : r_{min} = jarak minimum pemancar dan penerima (cm)

D = dimensi terbesar dari antena (cm)

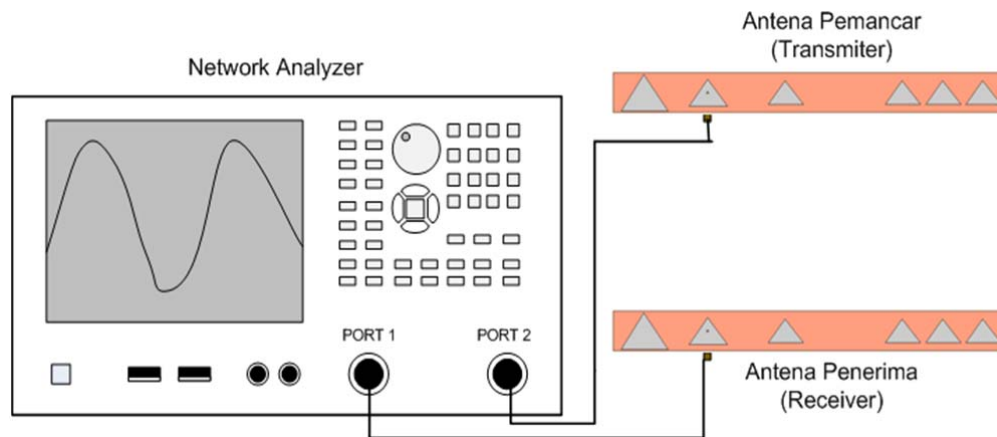
λ = panjang gelombang (cm)

Dimensi terbesar antenna yang akan diukur adalah 27 cm. Pengukuran pola radiasi pada frekuensi 4,25 GHz. Frekuensi 4,25 GHz dengan panjang gelombang sebesar 7 cm didapat r_{min} sebesar 206 cm.

5. Langkah berikutnya adalah memilih mode pengukuran S_{21} pada *network analyzer*. Pola radiasi diukur secara elevasi dan azimuthal yang merepresentasikan bidang E dan bidang H yang saling tegak lurus sehingga mendapatkan bentuk radiasi dalam ruang. Untuk pengukuran pola radiasi antenna secara elevasi, maka antenna mikrostrip ini diposisikan secara tegak atau vertikal. Kemudian diputar melalui *main controller* ED-3200 dengan posisi sudut sejauh 0 sampai dengan 360 derajat dengan interval 1 derajat. Sedangkan untuk mengukur pola radiasi secara azimuthal, maka antenna diposisikan secara horizontal, kemudian diputar melalui *main controller* ED-3200 dengan posisi sudut sejauh 0 sampai dengan 360 derajat dengan interval 1 derajat.
6. Data hasil pengukuran kemudian diolah menggunakan *Microsoft Excel* 2010 yang selanjutnya dibuat grafik pola radiasi melalui Ansoft HFSS v13.

3. Pengukuran Perbandingan Level Sinyal (dB) S_{21} Pada Frekuensi 4,25 Ghz.

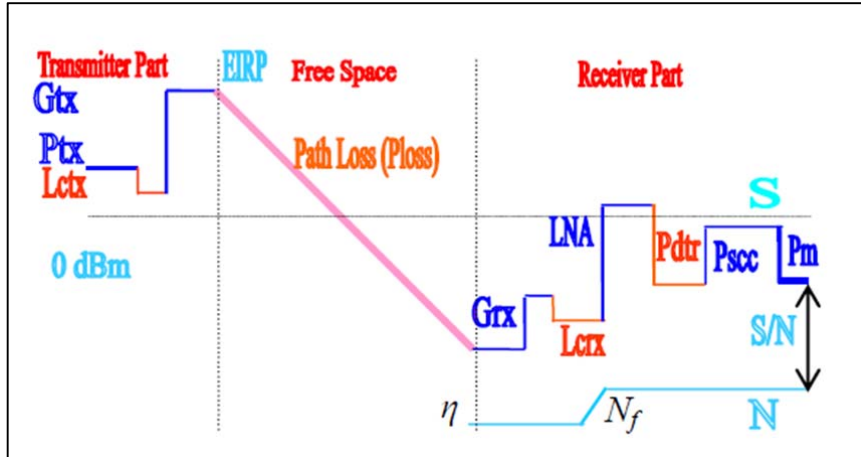
Pengukuran ini meliputi pengujian pola radiasi (S_{21}) frekuensi dari prototipe antenna yang telah dibuat. Pengukuran parameter-parameter tersebut menggunakan alat ukur *Network Analyzer* Agilent 5017C.



Gambar 26 Konfigurasi pengukuran S_{21} pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter

Pathloss adalah suatu metode yang digunakan untuk mengukur suatu loss yang disebabkan oleh cuaca, kontur tanah dan lain-lain, agar tidak mengganggu pemancaran antar 2 buah antenna yang saling berhubungan. Nilai pathloss menunjukkan level sinyal yang melemah (mengalami attenuation) yang disebabkan oleh propagasi free space seperti refleksi, difraksi, dan scattering. Path loss sangat penting dalam perhitungan Link Budget, ukuran cell, ataupun perencanaan frekuensi. faktor-faktor yang mempengaruhi nilai level daya dan pathloss adalah jarak pengukuran antara Tx dan Rx, tinggi antenna (Tx dan Rx), serta jenis area pengukuran.

G. Parameter Power Link Budget



Gambar 27. Grafik representasi power link budget (Palantei, 2010)

EIRP (equivalent Isotropic Radiated Power) merupakan parameter yang menunjukkan nilai efektif daya yang dipancarkan dari antenna yang memiliki penguatan sendiri. Bila terdapat rugi-rugi feeder, maka akan mengurangi nilai dari EIRP.

$$EIRP = P_{tx} + G_{tx} - L_{tx} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

P_{tx} = daya pancar (dBm)

G_{tx} = penguatan antenna pemancar (dB)

L_{tx} = rugi-rugi pada pemancar / feeder loss (dB)

Persamaan Receive Signal Level :

$$RSL = EIRP - L_{Propagasi} + G_{RX} - L_{RX} \dots\dots\dots (3.3)$$

Nilai Free Space Loss ($L_{Propagasi}$) adalah

$$L_{Propagasi} = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 92.44 \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana :

f = frekuensi kerja (GHz)

d = panjang lintasan propagasi (Km)

Persamaan *pathloss* :

$$P_{loss} = 20 \log \left\{ \frac{\lambda}{4\pi D} \right\} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana :

P_{loss} = pathloss (dB)

f = Frekuensi (Hz)

λ = Panjang gelombang (m)

D = Jarak antara pemancar dan penerima (m)

Persamaan S_{21} :

$$S_{21} = P_{Loss}^{dB} + G_t^{dB} + G_r^{dB} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dimana :

P_{Loss}^{dB} = pathloss (dB)

G_t^{dB} = gain antenna transmit

G_r^{dB} = gain antenna receive

BAB IV

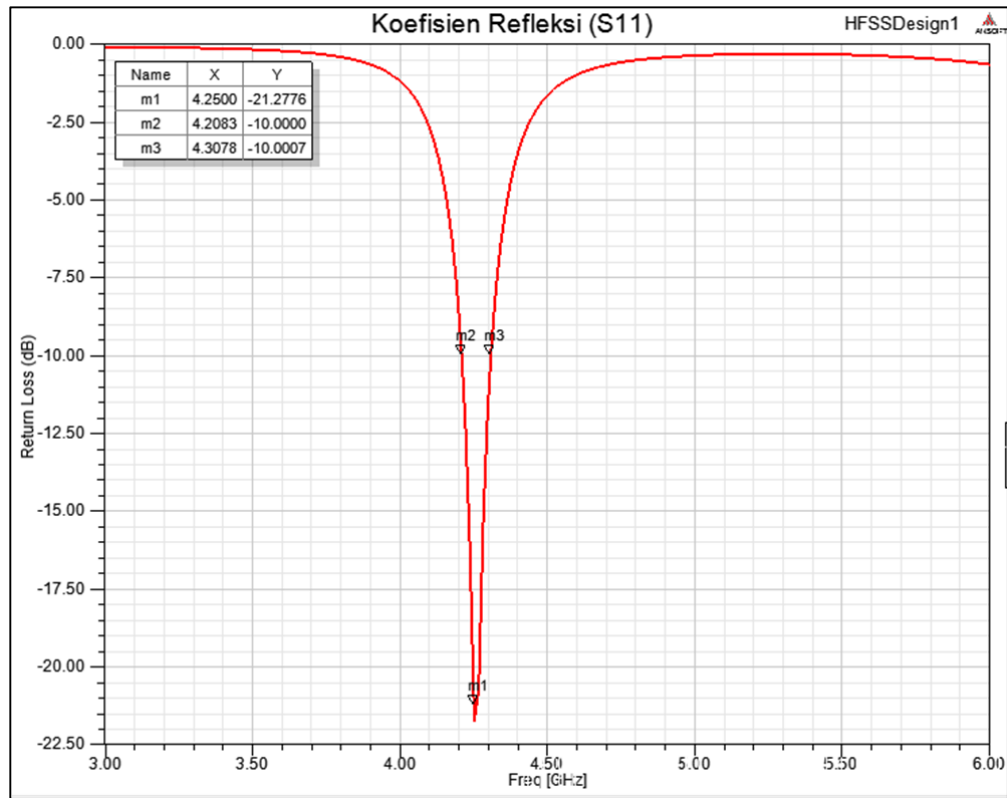
HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode teori dan simulasi merupakan penyederhanaan dan idealisasi dari kenyataan. Untuk mengetahui kehandalan atau kedekatan teori pada simulasi, maka harus dibandingkan dengan hasil pengukuran yang sebenarnya. Dalam menentukan unjuk kerja keberhasilan perancangan antenna, perlu ditinjau beberapa parameter. Parameter tersebut adalah koefisien refleksi (S_{11}), *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *gain* dan *Axial Ratio* berdasarkan tata ruang dua dimensi (2D) serta pola radiasi berdasarkan tata ruang tiga dimensi (3D).

A. Hasil Dan Analisis Simulasi

1. Parameter koefisien refleksi (S_{11})

Pada penelitian ini, perancangan dilakukan menggunakan bantuan *software* Ansoft HFSS v13. Diperoleh hasil simulasi koefisien refleksi (S_{11}) yang paling mendekati karakteristik antenna mikrostrip untuk aplikasi Radar Altimeter seperti terlihat pada Gambar 28 berikut.



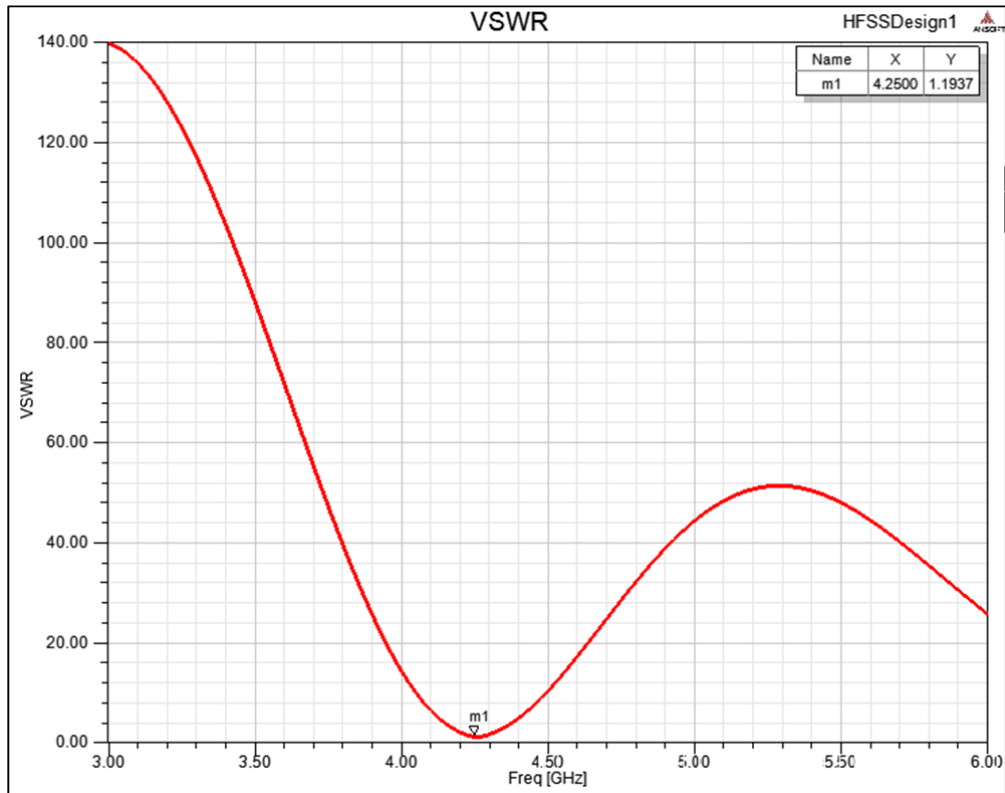
Gambar 28. Koefisien Refleksi (S_{11}) antenna berdasarkan hasil simulasi

Berdasarkan Gambar 28, terlihat bahwa nilai koefisien refleksi dari antenna mikrostrip ini bernilai sebesar -21,27 dB pada frekuensi 4,25 GHz (range frekuensi 4,20 GHz – 4,30 GHz). Hal ini sudah sangat baik karena melebihi acuan standar koefisien refleksi, yaitu lebih rendah atau sama dengan -10 dB.

Begitu pula pada *bandwidth*, yang juga telah memenuhi acuan minimal sebesar 100 MHz. *Bandwidth* frekuensi hasil simulasi adalah 100 MHz.

2. Paramater *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*

Hasil simulasi parameter VSWR ditunjukkan pada gambar 29 berikut.

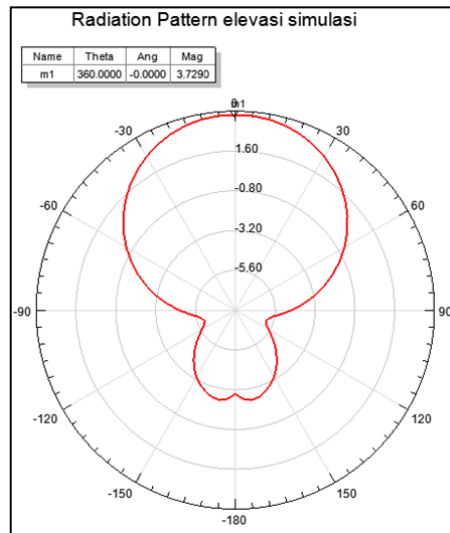


Gambar 29. *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)* Antena berdasarkan hasil simulasi

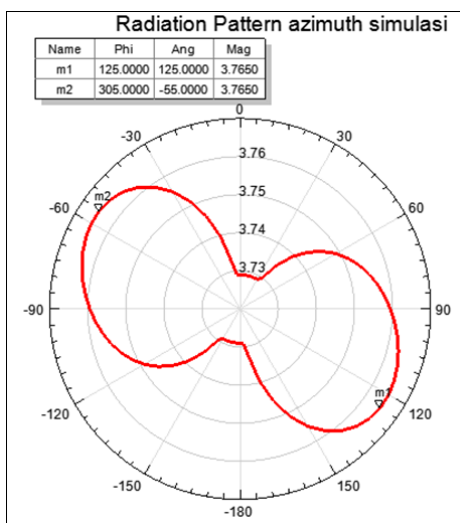
VSWR yang terlihat pada Gambar 28 menunjukkan nilai yang sudah sangat baik dimana nilai dari VSWR yang ideal adalah bernilai ≤ 2 . Pada frekuensi 4,25 GHz, nilai VSWR adalah 1,193.

3. Parameter pola radiasi dan *gain*

Berikut ini pada gambar 29 menunjukkan pola radiasi dua dimensi dari antena mikrostrip untuk aplikasi radar altimeter pada frekuensi 4,25 GHz, baik secara *elevation pattern* maupun *azimuthal pattern*.



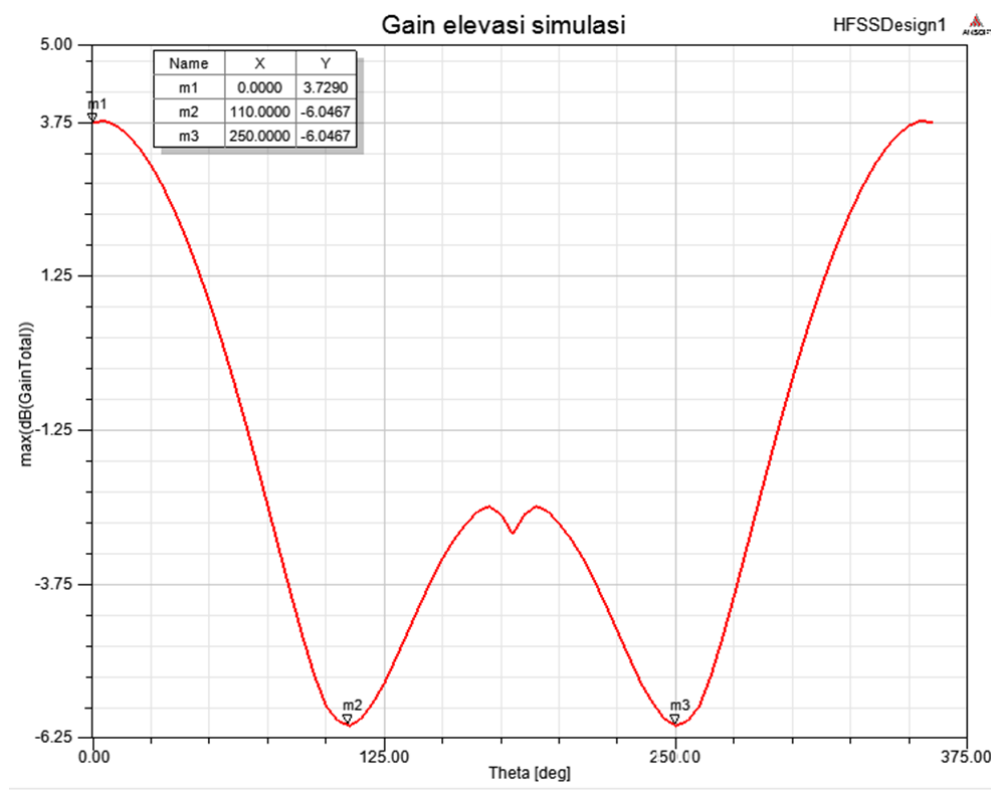
(a)



(b)

Gambar 30. Pola radiasi dua dimensi antena mikrostrip *triangular array*
(a) *Elevation pattern* (b) *Azimuthal pattern*

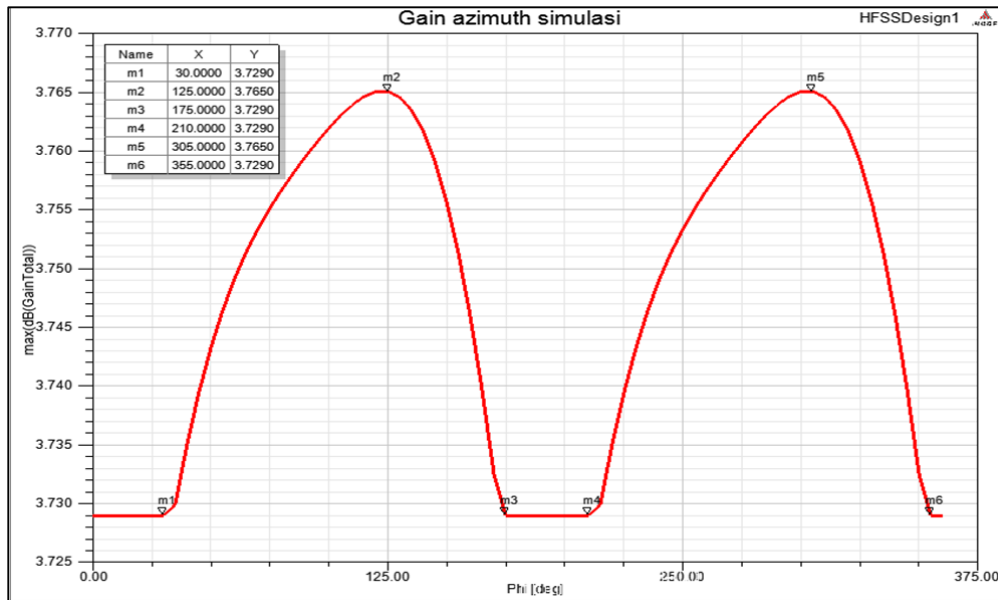
Pada pola radiasi *elevation pattern* atau pola radiasi yang terbentuk pada medan listrik atau *electric field (E)* ditunjukkan pada gambar 30.(a), dimana bentuk yang didapat merupakan representasi pola radiasi elevasi berdasarkan sudut 360 derajat. Nilai yang terukur secara simulasi ini adalah *gain* dalam satuan *decibel (dB)*. Pada gambar 31 berikut ini merupakan tampilan *gain* elevasi frekuensi 4,25 GHz.



Gambar 31. Fungsi *Gain* (dB) terhadap sudut elevasi (derajat)

Berdasar gambar 31 nilai puncaknya sebesar 3.729 dB pada sudut 0 derajat di bagian *main lobe*. Sedangkan bernilai paling minimum di sudut 110 derajat dan 250 derajat sebesar -6,046 dB.

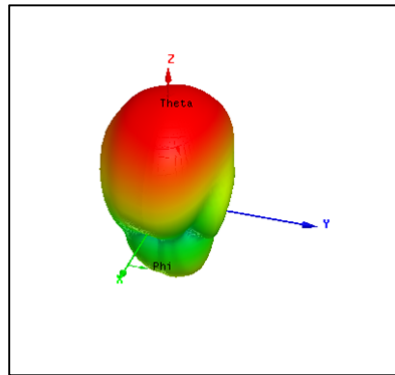
Pada gambar 30.(b), pola radiasi terbentuk pada medan magnetik atau *magnetic field* (H). Yakni, pola radiasi azimuthal berdasar sudut 0 sampai dengan 360 derajat. Gambar di bawah ini merupakan representasi besarnya *gain* azimuthal terhadap sudut 0 sampai dengan 360 derajat.



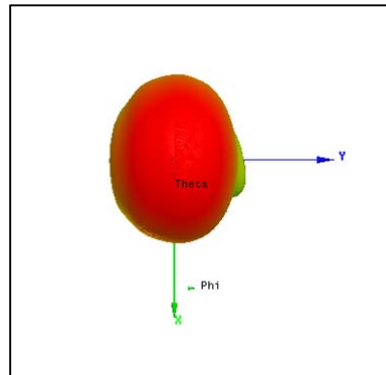
Gambar 32. Fungsi *Gain* (dB) terhadap sudut azimuth (derajat)

Sesuai gambar 32, *gain* maksimum berada pada radial 125 dan 305 derajat yakni bernilai 3.765 dB. Sedangkan sudut 0 sampai 30, 175 sampai 210, dan 355 sampai 360 bernilai 3.729 dB. Secara umum dari hasil simulasi ini, besarnya *gain* di hampir seluruh radial dalam azimuth tidak terlalu bervariasi.

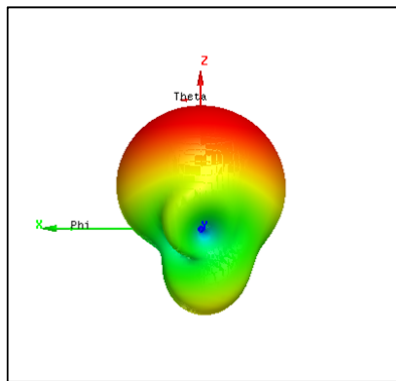
Gambar 33 memperlihatkan pola radiasi tiga dimensi frekuensi 4,25 GHz dengan tampilan tampak atas, tampak samping, dan tampak depan.



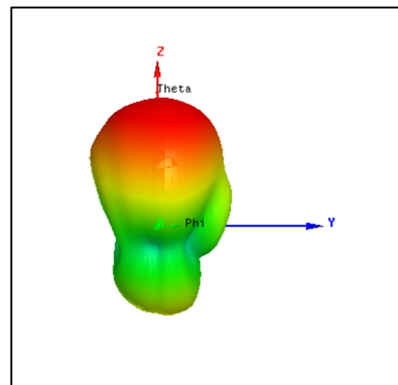
(a)



(b)



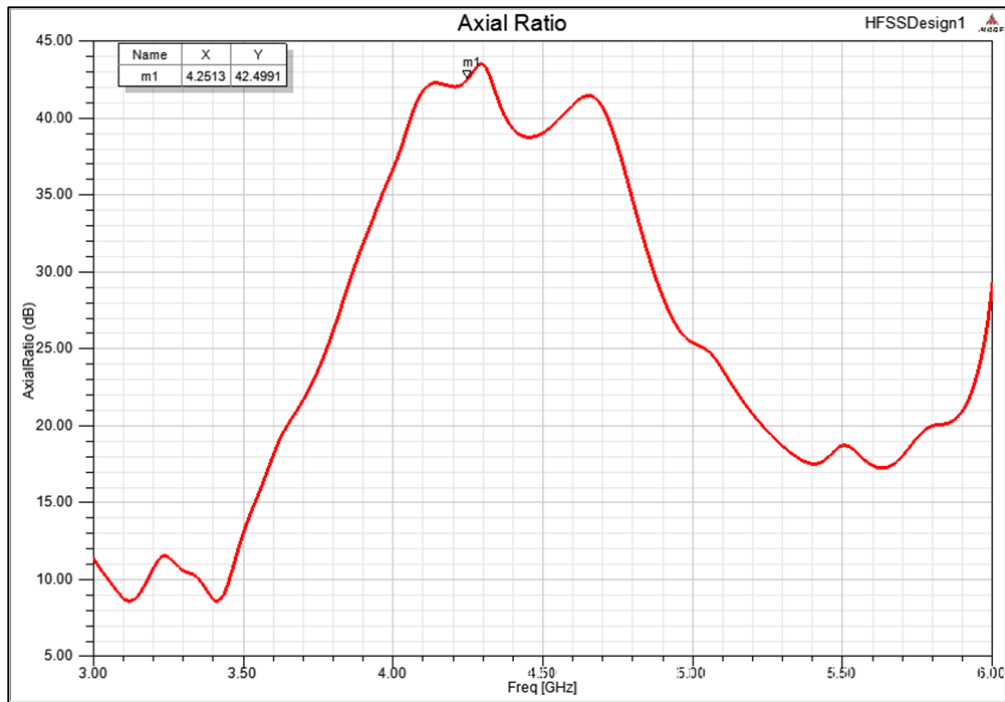
(c)



(d)

Gambar 33. Pola radiasi tiga dimensi antena mikrostrip *triangular array*
 (a) tampak 3D (b) tampak atas
 (c) tampak samping (d) tampak depan

Gambar 32 memperlihatkan bahwa antena mikrostrip untuk Aplikasi Radar Altimeter pada frekuensi 4,25 GHz merupakan antena direksional. Warna yang bervariasi tersebut merepresentasikan kekuatan sinyal (*signal strength*). Kekuatan sinyal paling lemah diindikasikan dengan warna biru, kemudian naik ke warna hijau, kuning, dan yang paling kuat adalah merah.



Gambar 34. *Axial Ratio* antenna mikrostrip *triangular array*

B. Pengukuran dan Analisis Prototipe Antena

Pengukuran terhadap prototipe antena dilakukan setelah terlebih dahulu prototipe antena tersebut dirancang dan dibuat dalam bentuk jadi. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui keberhasilan dari perancangan dan pembuatan prototipe antena mikrostrip *Triangular* untuk aplikasi Radar Altimeter. Pada pengukuran antena ini meliputi pengukuran port tunggal (pengujian koefisien refleksi (S_{11}) dan *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), pengukuran port ganda (pola radiasi), pengukuran S_{21} , serta pengukuran jarak ketinggian pemancar (Transmitter) dan penerima (Receiver). Pengukuran ini dilakukan di dalam ruangan Laboratorium Telematika Jurusan Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.

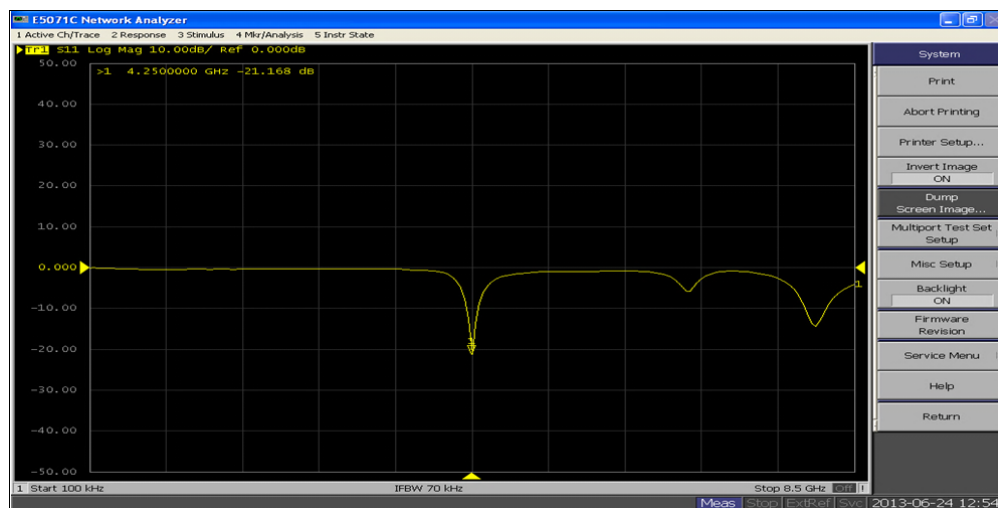
Pengukuran dilakukan beberapa kali terhadap prototipe yang dibuat sampai diperoleh hasil pengukuran prototipe yang paling mendekati karakteristik antena yang diinginkan. Hasil pengukuran prototipe yang paling mendekati standar untuk aplikasi Radar Altimeter kemudian dianalisis pada subbab berikut ini.

1. Pengukuran port tunggal

Pengukuran ini meliputi pengujian koefisien refleksi (S_{11}) dan *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). Pengukuran parameter-parameter tersebut menggunakan alat ukur *Network Analyzer* Agilent 5017C. Prosedur pengukuran telah dijelaskan pada Bab 3 Subbab Teknik Pengukuran Prototipe Antena.

a. Pengukuran koefisien refleksi prototipe antena mikrostrip *triangular array*

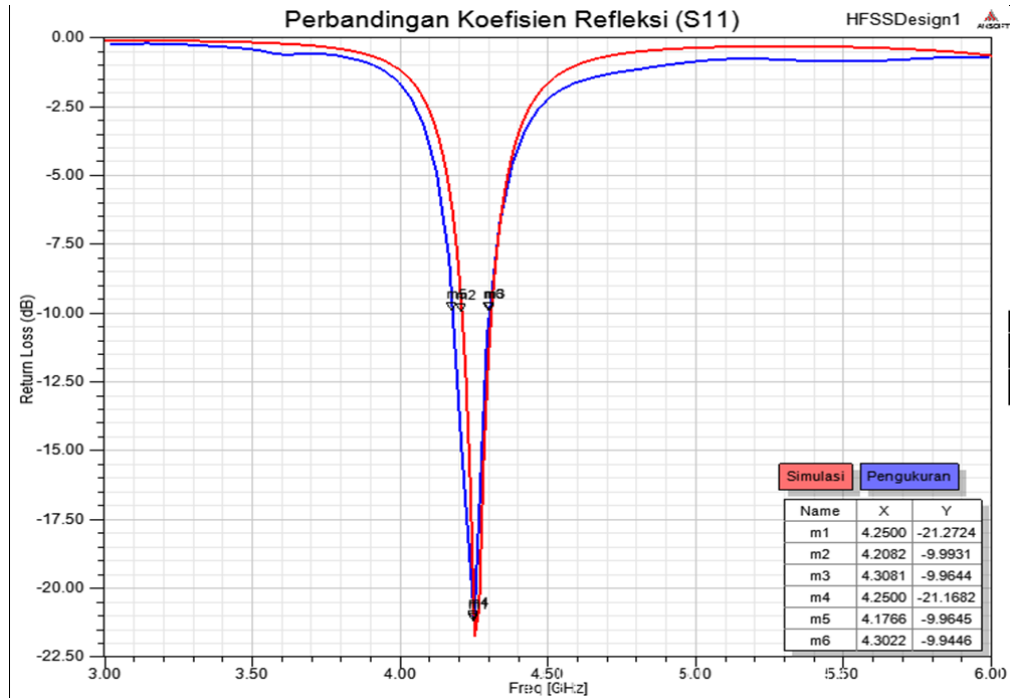
Berikut ini merupakan hasil pengukuran parameter koefisien refleksi (S_{11}) prototipe antena mikrostrip untuk aplikasi Radar Altimeter.



Gambar 35. Hasil pengukuran parameter koefisien refleksi prototipe antena mikrostrip *triangular array*

b. Analisis hasil simulasi dan hasil pengukuran Koefisien Refleksi S_{11}

Berikut ini adalah gambar perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran koefisien refleksi terhadap frekuensi.



Gambar 36. Hasil simulasi dan hasil pengukuran parameter koefisien refleksi

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa tidak terjadi pergeseran yang jauh pada *bandwidth* dan frekuensi kerja antenna antara hasil simulasi terhadap hasil pengukuran. Frekuensi yang didapat pada hasil pengukuran berada pada daerah frekuensi kerja Radar Altimeter. Analisis perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran untuk gambar di atas akan diperlihatkan pada tabel 7 berikut ini.

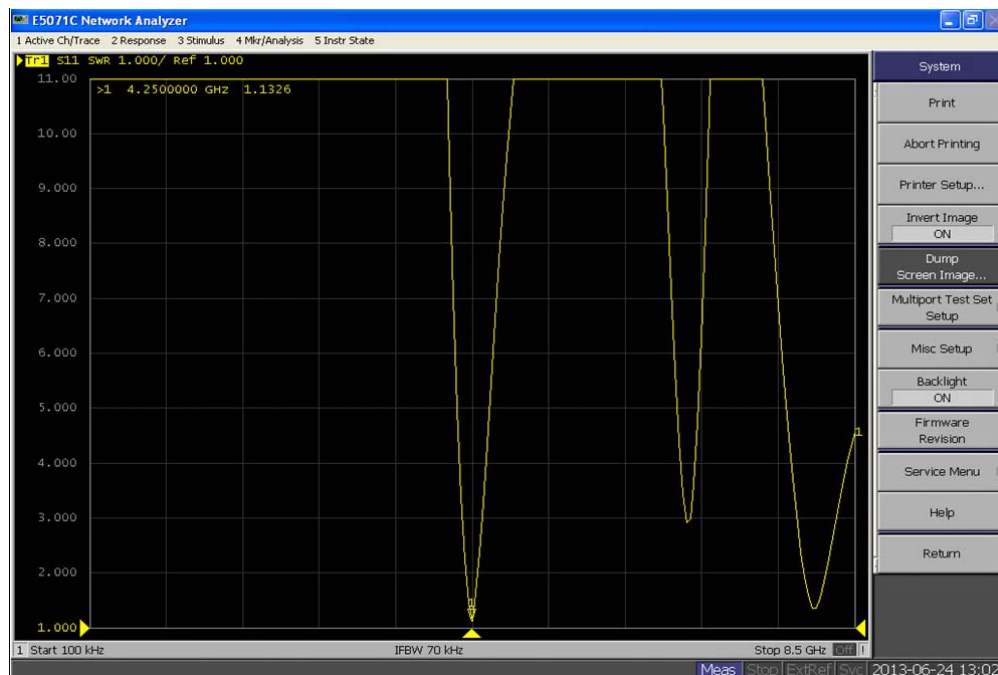
Tabel 7. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran parameter *bandwidth*, frekuensi tengah, dan koefisien refleksi (S_{11})

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
<i>Bandwidth</i>	4208 – 4308 MHz (100 MHz)	4176 – 4302 MHz (126 MHz)
Frekuensi Tengah	4,25 GHz	4,25 GHz
Return Loss	-21,272 dB	-21,168 dB

Berdasarkan tabel 7 di atas, diketahui bahwa pada hasil simulasi koefisien refleksi yang didapat untuk frekuensi 4,25 adalah -21,272 dB, sedangkan hasil pengukuran -21,606 dB.

c. Pengukuran VSWR prototipe antenna mikrostrip *triangular array*

Berikut ini merupakan hasil pengukuran VSWR terhadap frekuensi pada prototipe antenna yang telah dibuat.

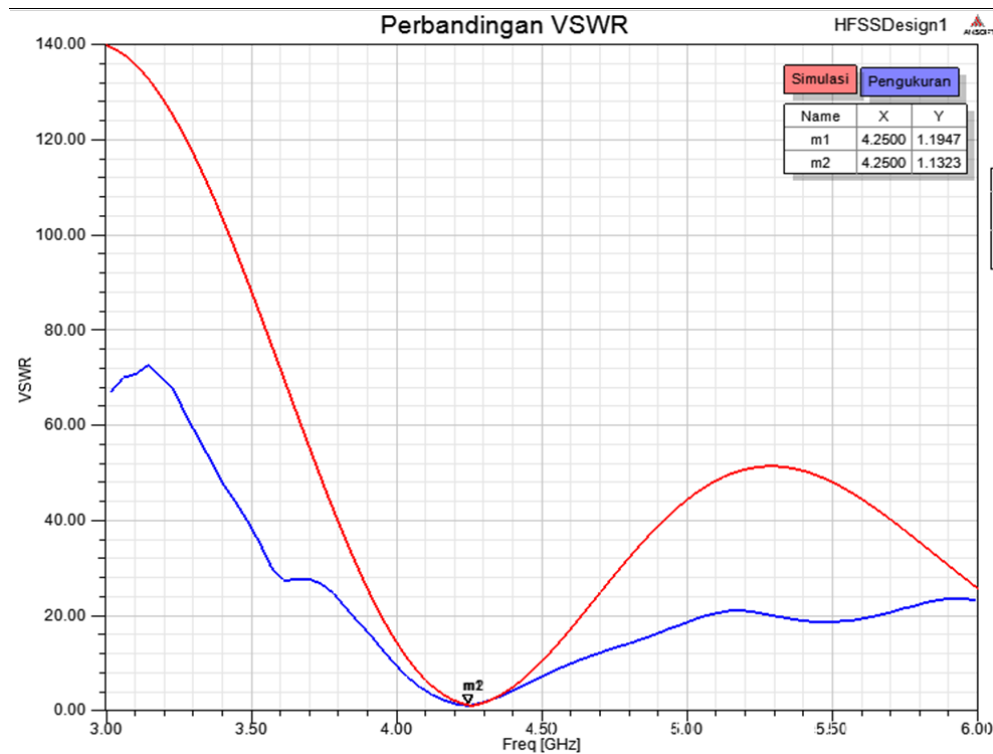


Gambar 37. Hasil pengukuran parameter *voltage standing wave ratio*

Seperti dijelaskan pada subbab sebelumnya mengenai pergeseran nilai frekuensi tengah, maka berdasarkan gambar 37, nilai VSWR paling minimum atau paling baik adalah pada frekuensi 4,25 GHz yakni sebesar 1,132.

d. Analisis hasil simulasi dan hasil pengukuran VSWR

Berikut ini adalah gambar hasil simulasi dan hasil pengukuran VSWR terhadap frekuensi.



Gambar 38. Hasil simulasi dan hasil pengukuran parameter VSWR

Berdasarkan pada gambar 38 tersebut di atas menunjukkan bahwa nilai VSWR hasil simulasi terhadap VSWR hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 hampir sama, dimana pada hasil simulasi nilai VSWR

maksimum berada pada 1,193. Sedangkan pada hasil pengukuran, VSWR maksimum bernilai 1,132 pada frekuensi 4,25 GHz. Hasil perbandingan nilai VSWR dari hasil simulasi maupun hasil pengukuran akan ditampilkan pada tabel 8 berikut.

Tabel 8. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran VSWR

Parameter	Hasil simulasi	Hasil pengukuran
Frekuensi	4,25	4,25
VSWR	1,193	1,132

Berdasarkan perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran pada tabel 8. di atas, dapat diketahui bahwa VSWR untuk frekuensi resonan pada hasil simulasi menunjukkan nilai 1,193 hampir sama daripada VSWR pada frekuensi resonansi hasil pengukuran. Pada frekuensi yang diinginkan, yakni di kisaran 4,25 GHz, diperoleh hasil pengukuran yang menunjukkan nilai 1.132.

e. Penentuan kelayakan prototipe antena *triangular array* untuk aplikasi radar altimeter

Untuk mengetahui apakah prototipe antena mikrostrip *triangular array* yang dibuat layak atau tidak untuk diaplikasikan pada teknologi Radar Altimeter, maka harus diketahui batasan standar nilai parameter yang terdiri dari batas *bandwidth* frekuensi, koefisien refleksi, dan VSWR.

Untuk batas *bandwidth*, Radar Altimeter berada pada rentang 4,2 GHz sampai dengan 4.3 GHz. Untuk batas koefisien refleksi senilai ≤ -10 dB. Sedangkan batas nilai VSWR adalah antara 1 - 2.

Tabel 9. Penentuan kelayakan prototipe antena mikrostrip *triangular array* untuk diaplikasikan pada Radar Altimeter.

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran	Standar radar altimeter	Layak / Tidak
Batas bandwidth	4,208 – 4,308 GHz (100 MHz)	4,176 – 4,302 GHz (126 MHz)	4,20 – 4,30 GHz (100MHz)	Layak
Frekuensi Tengah	4,25 GHz	4,25 GHz	4,25 GHz	Layak
Koefisien refleksi	-21,272 dB	-21.168 dB	≤ -10 dB	Layak
VSWR	1,194	1,132	1 – 2	Layak

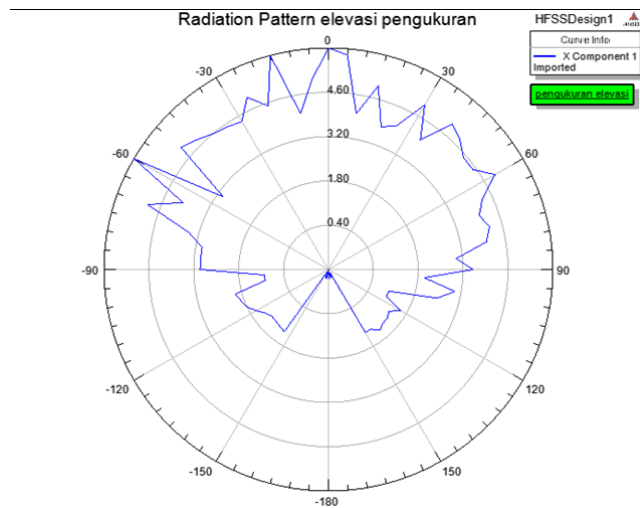
Berdasarkan tabel 9 di atas, dapat diketahui bahwa parameter batas *bandwidth*, koefisien refleksi, dan VSWR hasil pengukuran prototipe antena mikrostrip *triangular array* menunjukkan bahwa prototipe tersebut telah memenuhi standar untuk diaplikasikan pada Radar Altimeter.

2. Pengukuran port ganda

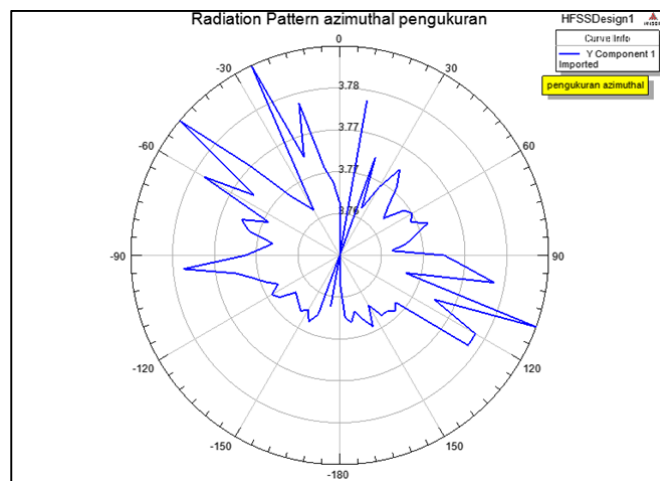
Pengukuran ini meliputi pengujian pola radiasi (S_{21}) dari prototipe antena yang telah dibuat. Pengukuran parameter-paramater tersebut menggunakan alat ukur *Network Analyzer Agilent 5017C* dan *Antenna Trainer System ED-3200*. Prosedur pengukuran telah dijelaskan pada Bab 3 Subbab Teknik Pengukuran Prototipe Antena.

a. Pengukuran pola radiasi prototipe antenna pada frekuensi 4,25 GHz

Berikut ini adalah gambar hasil pengukuran pola radiasi prototipe antenna mikrostrip *triangular array* pada frekuensi 4,25 GHz.



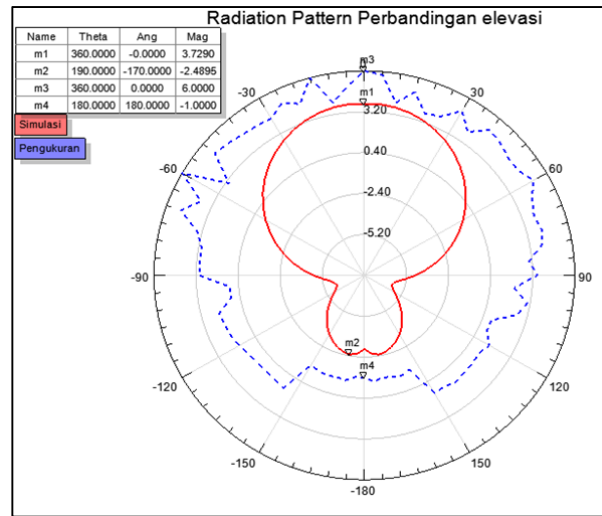
Gambar 39. Pola radiasi elevasi hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz



Gambar 40. Pola radiasi azimuthal hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz

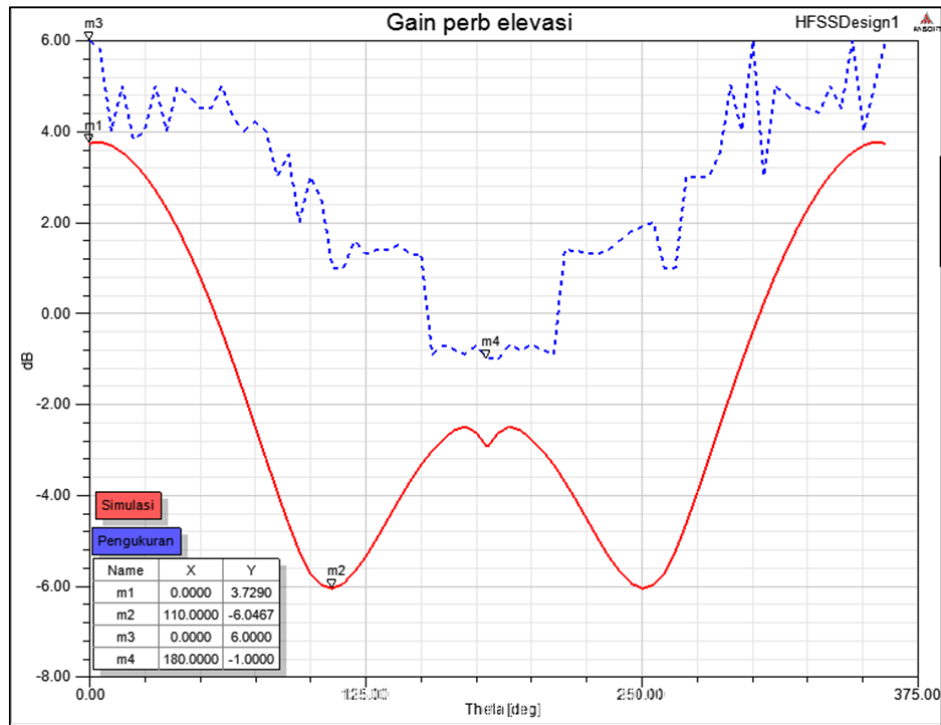
b. Analisis hasil simulasi dan hasil pengukuran pola radiasi dan gain pada frekuensi 4,25 di bidang elevasi

Berikut ini adalah gambar hasil simulasi dan hasil pengukuran pola radiasi elevasi pada frekuensi 4,25 GHz.



Gambar 41. Perbandingan pola radiasi elevasi hasil simulasi dan hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz

Berdasarkan gambar 40 di atas, hasil pengukuran pola radiasi elevasi prototipe antena mikrostrip *triangular array* pada frekuensi 4,25 GHz berbeda cukup signifikan dibandingkan dengan hasil simulasi. Dimana *gain* pada hasil pengukuran sesuai pola radiasi ini bervariasi pada tiap radial. Gain *maksimum* mencapai 6 dB pada radial sudut 0 derajat. Sedangkan pada hasil simulasi *gain* maksimumnya sebesar 3.729 dB pada radial sudut 0 derajat. Berikut ini gambar perbandingan *gain* elevasi hasil pengukuran dan hasil simulasi pada frekuensi 4,25 GHz.

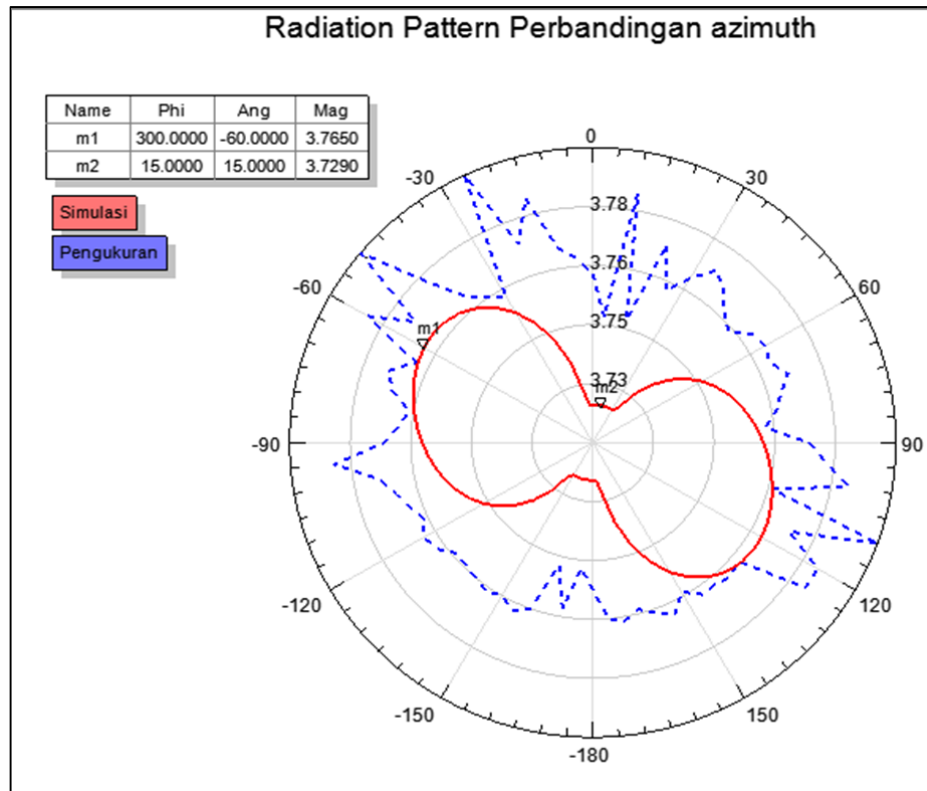


Gambar 42. Perbandingan *gain* elevasi hasil simulasi dan hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa hasil pengukuran *gain* elevasi pada frekuensi 4,25 GHz ini memiliki nilai yang cukup bervariasi dan lebih besar dibandingkan terhadap hasil simulasi. Pengukuran yang dilakukan di ruang *echoic chamber* atau ruangan yang tidak memiliki kemampuan menyerap gelombang elektromagnetik frekuensi tertentu kemungkinan besar sangat mempengaruhi *gain* dari hasil pengukuran. Sedangkan simulasi pemetaan pola radiasi dilakukan pada kondisi udara yang sangat ideal tanpa adanya pengaruh atau interferensi dari gelombang lain.

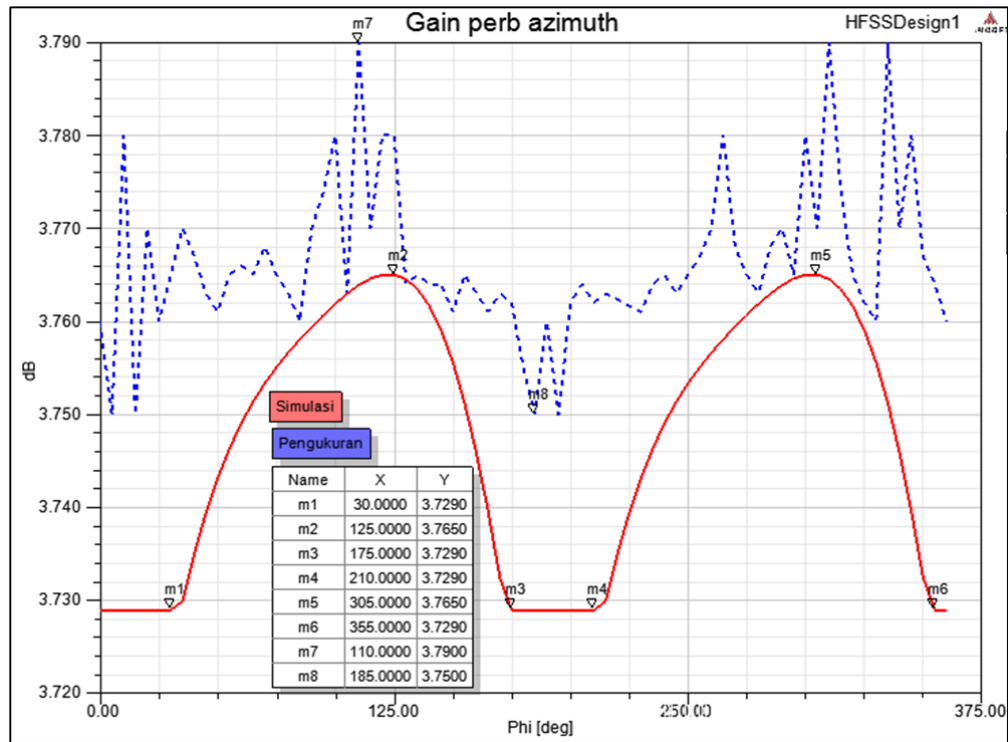
c. Analisis hasil simulasi dan hasil pengukuran pola radiasi dan gain pada frekuensi 4,25 pada bidang azimuth

Berikut ini adalah gambar hasil simulasi dan hasil pengukuran pola radiasi azimuthal pada frekuensi 4,25 GHz.



Gambar 43. Perbandingan pola radiasi azimuthal hasil simulasi dan hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz

Dari gambar 43, hasil simulasi pola radiasi azimuthal ini memiliki bentuk atau pola yang hampir merata di seluruh radial atau sudut dalam 360 derajat. Sedangkan pada hasil pengukuran, didapatkan pola radiasi yang besaran *gain*nya lebih bervariasi di radial sudut tertentu. Perbedaan yang lain yakni cukup besar perbedaan nilai *gain* yang didapatkan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran.

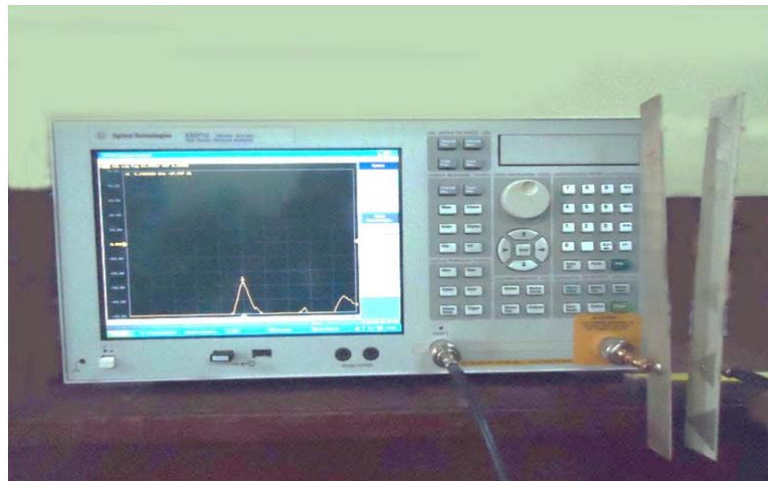


Gambar 44. Perbandingan *gain* azimuthal hasil simulasi dan hasil pengukuran pada frekuensi 4,25 GHz

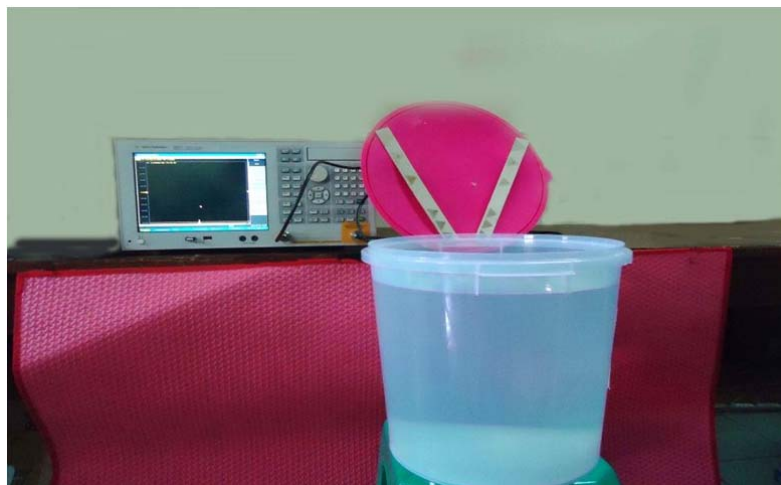
Sesuai gambar 44. besaran nilai *gain* azimuthal di seluruh radial pada hasil pengukuran cukup bervariasi. Nilai *gain* maksimum berada pada sudut 110 derajat, yakni sebesar 3,79 dB. Sedangkan pada hasil simulasi *gain* maksimal berada pada sudut 125 derajat, yakni sebesar 3.765 dB.

d. Pengukuran perbandingan level sinyal (dB) S_{21} pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter.

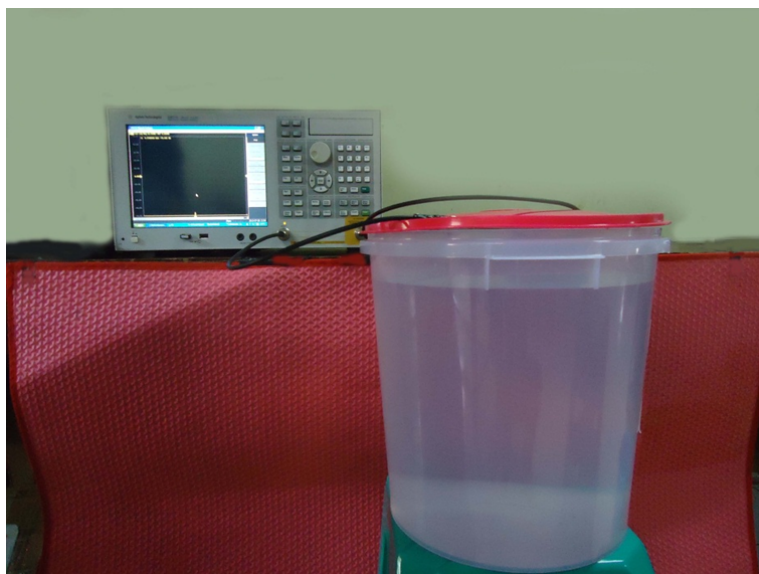
Pengukuran ini meliputi pengujian pola radiasi (S_{21}) frekuensi dari prototipe antena yang telah dibuat. Pengukuran parameter-parameter tersebut menggunakan alat ukur *Network Analyzer* Agilent 5017C.



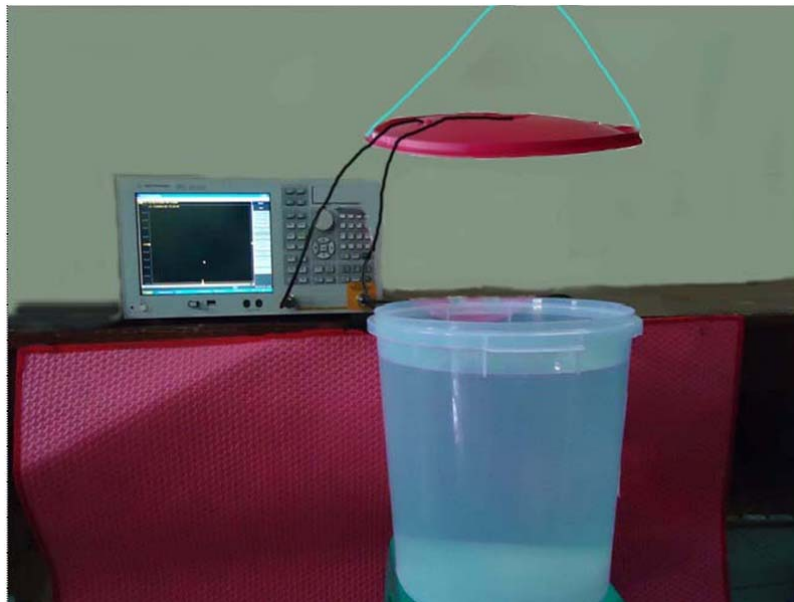
Gambar 45. Pengukuran S_{21} pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter.



Gambar 46. Pengukuran S_{21} terhadap air pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter.



Gambar 47. Pengukuran S_{21} terhadap air pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter jarak 0-5 cm.



Gambar 48. Pengukuran S_{21} terhadap air pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter jarak 5-50 cm.

✚ Perhitungan pathloss pada jarak 1,5 m

Pada persamaan (3.5) dan (3.6) maka nilai Pathloss pada pengukuran S_{21} pada jarak 1,5 m :

$$S_{21} = P_{Loss}^{dB} + G_t^{dB} + G_r^{dB}$$

Nilai Pathloss adalah :

$$P_{loss} = 20 \log \left\{ \frac{\lambda}{4\pi D} \right\}$$

$$P_{loss} = 20 \log \left\{ \frac{0,07}{4 \times 3,14 \times 1,5} \right\}$$

$$P_{loss} = -48,526 \text{ dB}$$

Maka nilai S_{21} :

$$S_{21} = P_{Loss}^{dB} + G_t^{dB} + G_r^{dB}$$

$$S_{21} = -48,526 + 3,729 + 3,729$$

$$S_{21} = -40,068 \text{ dB}$$

Sesuai dengan persamaan (2.22) maka delay pada radar altimeter pada jarak 1,5 m :

$$Delay = \frac{2 \times t}{c}$$

$$Delay = \frac{2 \times 1,5}{299792458}$$

$$Delay = 0,0000000100069229 \text{ s}$$

$$Delay = 1 \times 10^{-8} \text{ s}$$

✚ Perhitungan pathloss pada jarak 15 m

Pada persamaan (3.5) dan (3.6) maka nilai Pathloss pada pengukuran S_{21} pada jarak 15 m :

$$S_{21} = P_{Loss}^{dB} + G_t^{dB} + G_r^{dB}$$

Nilai Pathloss adalah :

$$P_{loss} = 20 \log \left\{ \frac{\lambda}{4\pi D} \right\}$$

$$P_{loss} = 20 \log \left\{ \frac{0,07}{4 \times 3,14 \times 15} \right\}$$

$$P_{loss} = -68,599 \text{ dB}$$

Maka nilai S_{21} :

$$S_{21} = P_{Loss}^{dB} + G_t^{dB} + G_r^{dB}$$

$$S_{21} = -68,599 + 3,729 + 3,729$$

$$S_{21} = -61,1417 \text{ dB}$$

Sesuai dengan persamaan (2.22) maka delay pada radar altimeter pada jarak 15 m :

$$Delay = \frac{2 \times t}{c}$$

$$Delay = \frac{2 \times 15}{299792458}$$

$$Delay = 0,0000001000692286 \text{ s}$$

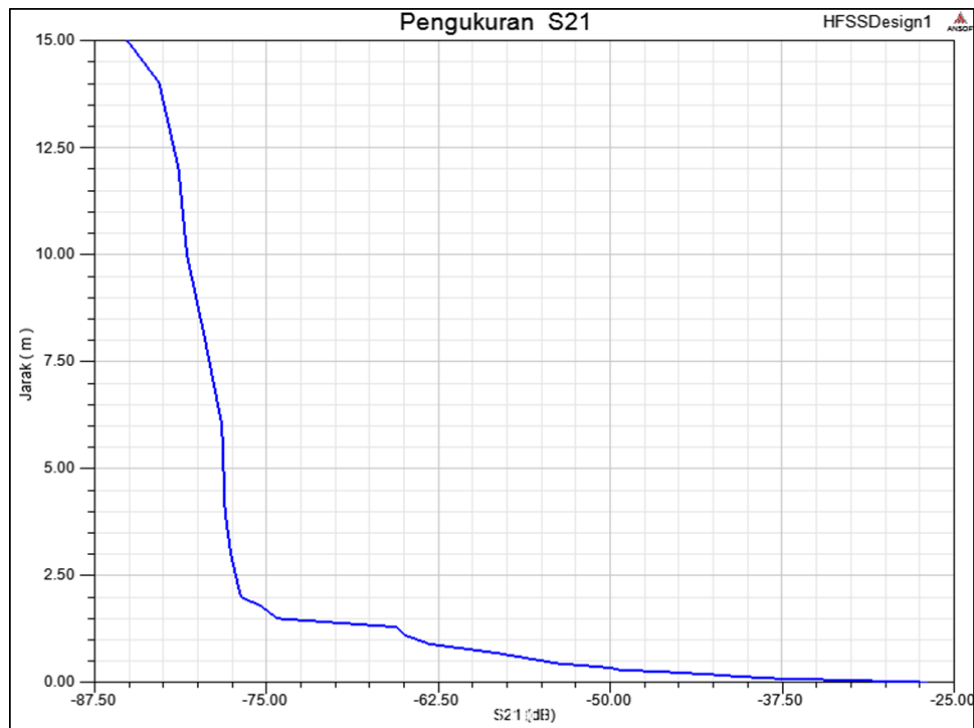
$$Delay = 1 \times 10^{-7} \text{ s}$$

Tabel 10. Hasil pengukuran S_{21} dan perhitungan *pathloss* pada frekuensi 4,25 GHz Aplikasi Radar Altimeter

No.	Jarak (m)	Perbandingan level sinyal / S_{21} (dB)	<i>Pathloss</i> (dB)	<i>Delay</i> (s)
1.	0,01	-26,954	-5,005	0,000000000667128
2.	0,05	-31,728	-18,984	0,0000000003335641
3.	0,10	-38,004	-25,005	0,0000000006671282
4.	0,15	-40,846	-28,526	0,0000000010006923
5.	0,20	-43,036	-31,025	0,0000000013342564
6.	0,25	-45,914	-32,963	0,0000000016678205
7.	0,30	-49,322	-34,547	0,0000000020013846
8.	0,35	-50,032	-35,886	0,0000000023349487
9.	0,40	-51,931	-37,046	0,0000000026685128
10.	0,45	-53,829	-38,069	0,0000000030020769
11.	0,70	-58,385	-41,907	0,0000000046698973
12.	0,90	-63,103	-44,089	0,0000000060041537
13.	1,10	-64,865	-45,833	0,0000000073384101
14.	1,30	-65,512	-47,284	0,0000000086726665
15.	1,50	-74,201	-48,526	0,0000000100069229
16.	1,80	-75,413	-50,110	0,0000000120083074
17.	2	-76,846	-51,025	0,0000000133425638
18.	3	-77,570	-54,547	0,0000000200138457
19.	4	-77,994	-57,046	0,0000000266851276
20.	6	-78,218	-60,568	0,0000000400276914
21.	8	-79,442	-63,066	0,0000000533702552
22.	10	-80,766	-65,005	0,0000000667128190
23.	12	-81,375	-66,588	0,0000000800553828
24.	14	-82,781	-67,927	0,0000000933979467
25.	15	-85,124	-68,526	0,0000001000692286

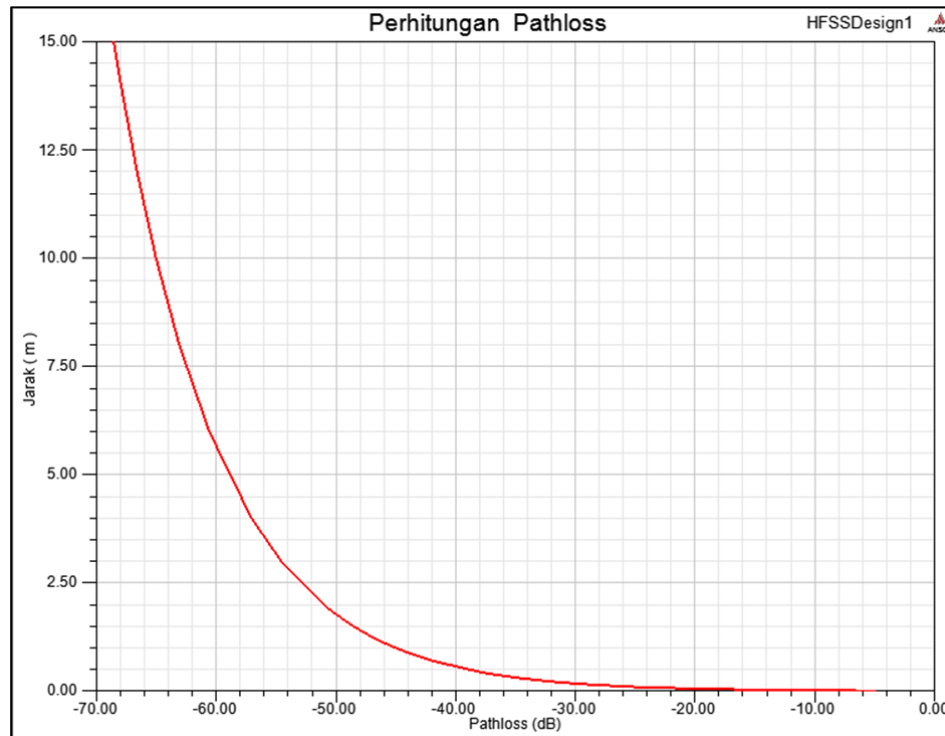
Tabel 11. Hasil pengukuran S_{21} terhadap air ($\epsilon_r = 80$) dengan volume air tinggi 30 cm dan diameter 35 cm.

No.	Jarak(m)	Perbandingan level sinyal / S_{21} (dB)
1.	0,01	-72,396
2.	0,05	-73,589
3.	0,10	-75,367
4.	0,15	-77,094
5.	0,20	-78,156
6.	0,25	-79,572
7.	0,30	-80.148
8.	0,35	-82,532
9.	0,40	-83,437
10.	0,45	-84,529
11.	0,50	-85,111



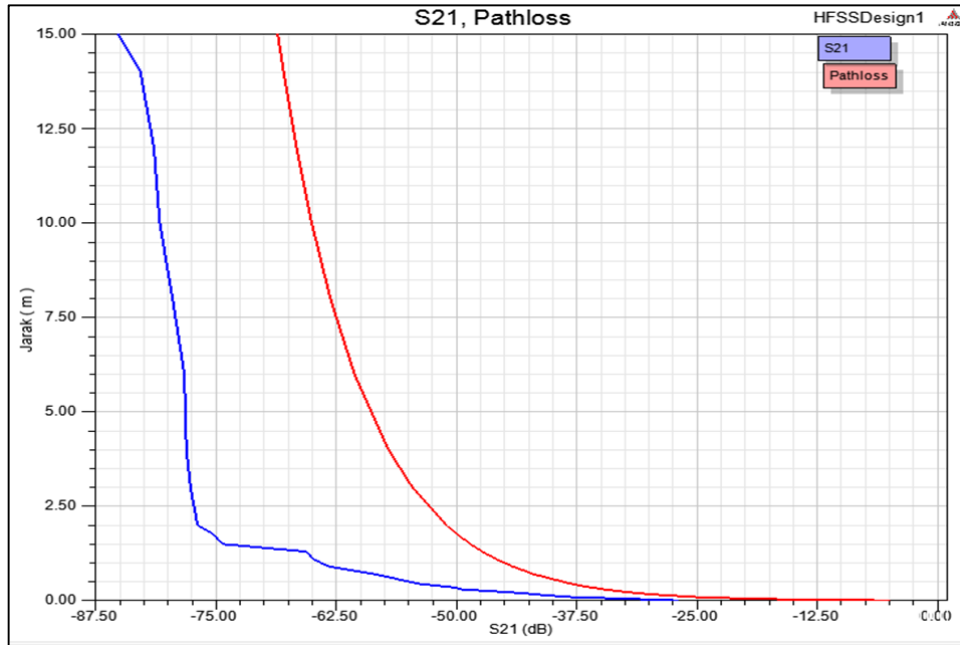
Gambar 49. Grafik hasil pengukuran S_{21}

Gambar 49 menunjukkan grafik perbandingan ketinggian terhadap nilai S_{21} (dB) pada jarak 0.01 sampai 15 m dengan nilai dB berkisar antara -26,952 sampai dengan -85.124.

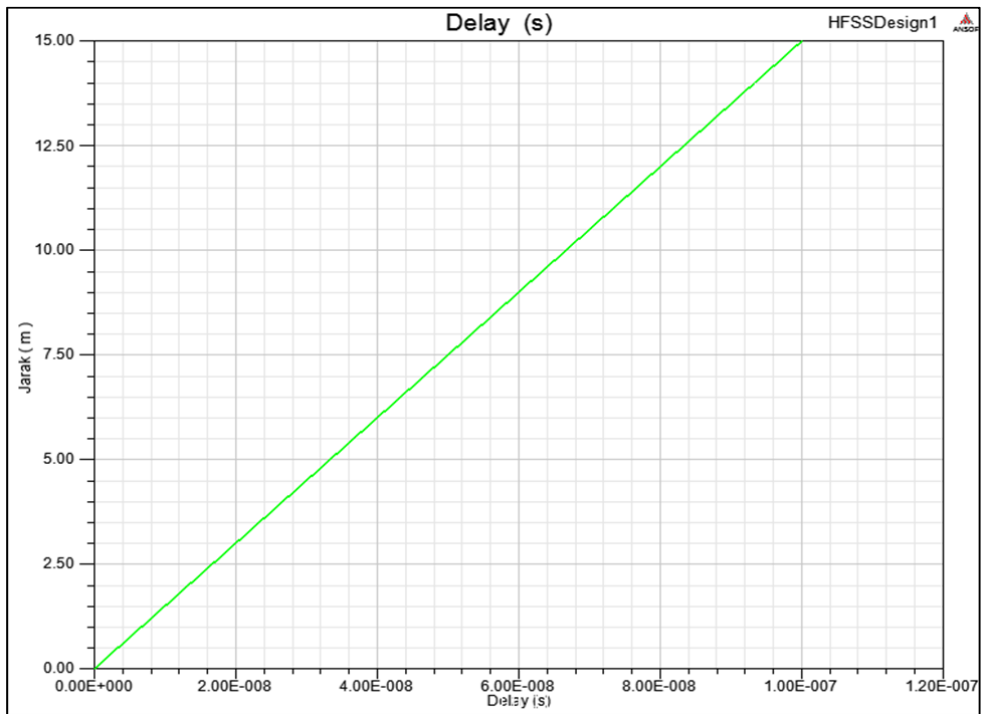


Gambar 50. Grafik hasil perhitungan Pathloss

Gambar 50 menunjukkan grafik hasil perhitungan Pathloss pada jarak 0,01 sampai 15 m dengan nilai dB berkisar antara -5,005 sampai dengan -68.526.



Gambar 51. Grafik S_{21} dan Pathloss



Gambar 52. Grafik hasil perhitungan Delay

Berdasarkan persamaan (2.22) delay radar altimeter :

$$Delay = \frac{2 \times t}{c}$$

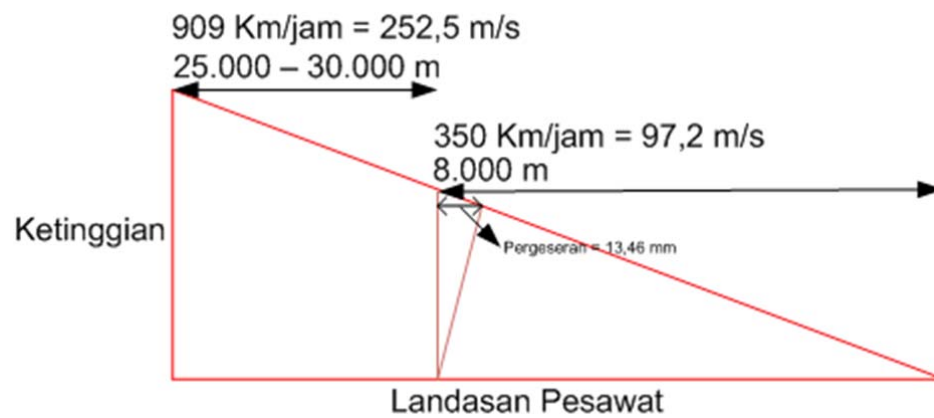
Dimana:

t = Ketinggian maksimal radar altimeter = 8.000 m

c = kecepatan cahaya = 299.792.458 (m/s) = $3 \cdot 10^8$ m/s

V_{max} = kecepatan maksimal pesawat 909 Km/Jam

V_{min} = kecepatan minimum pesawat 350 Km/Jam



$$D = \frac{2 \times 8000 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$D = \frac{2 \times 8000 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$D = \frac{16 \times 10^3 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$D = 5,33 \times 10^{-5} \text{ s}$$

$$D = 0,533 \mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Pergeseran} &= 252,5 \text{ m/s} \times 5,33 \times 10^{-5} \text{ s} = 0,01346 \text{ m} \\ &= 13,46 \text{ mm} \end{aligned}$$

🚧 **Perhitungan Link Budget (EIRP) pada jarak 1,5 m**

Berdasarkan Persamaan (3.2) nilai EIRP :

$$EIRP = P_{tx} + G_{tx} - L_{tx}$$

Redaman pada kabel 100 Mhz = 4,65 dB/30,48 m

Panjang kabel = 7,5 m

Maka redaman (L_{tx}) pada panjang kabel 7,5 m :

$$L_{tx} = \frac{4,65 \times 7,5}{30,48}$$

$$L_{tx} = 1.144 \text{ dB}$$

$$P_{tx} = 17 \text{ dBm}$$

$$G_{tx} = 10 \text{ Log } 3,729 = 5,716 \text{ dB}$$

Maka EIRP :

$$EIRP = 17 \text{ dBm} + 5,716 \text{ dB} - 1,144 \text{ dB}$$

$$EIRP = 21,572 \text{ dBm}$$

🚧 **Perhitungan RSL (Receive Signal Level) pada jarak 1,5 m**

Berdasarkan Persamaan (3.3) dan (3.4):

$$RSL = EIRP - L_{Propagasi} + G_{RX} - L_{RX}$$

Nilai Free Space Loss ($L_{Propagasi}$) adalah

$$f = \text{frekuensi kerja (GHz)} = 4,25 \text{ GHz}$$

$$d = \text{panjang lintasan propagasi (Km)} = 0,0015 \text{ Km}$$

Maka :

$$L_{Propagasi} = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 92,44$$

$$L_{Propagasi} = 20 \log(0,0015) + 20 \log(4,25) + 92,44$$

$$L_{Propagasi} = -56,48 + 12,568 + 92,44$$

$$L_{Propagasi} = 48,528 \text{ dB}$$

Maka nilai Receiver Signal Level

$$RSL = EIRP - L_{Propagasi} + G_{RX} - L_{RX}$$

$$RSL = 21,572 \text{ dBm} - 48,528 \text{ dB} + 5,716 \text{ dB} - 1,144 \text{ dB}$$

$$RSL = -22,384 \text{ dBm}$$

🚧 **Perhitungan Link Budget (EIRP) pada jarak 15 m**

Berdasarkan Persamaan (3.2) nilai EIRP :

$$EIRP = P_{tx} + G_{tx} - L_{tx}$$

Redaman pada kabel 100 Mhz = 4,65 dB/30,48 m

Panjang kabel = 15 m

Maka redaman (L_{tx}) pada panjang kabel 15 m :

$$L_{tx} = \frac{4,65 \times 15}{30,48}$$

$$L_{tx} = 2,288 \text{ dB}$$

$$P_{tx} = 17 \text{ dBm}$$

$$G_{tx} = 10 \text{ Log } 3,729 = 5,716 \text{ dB}$$

Maka EIRP :

$$EIRP = 17 \text{ dBm} + 5,716 \text{ dB} - 2,288 \text{ dB}$$

$$EIRP = 20.428 \text{ dBm}$$

🚧 **Perhitungan RSL (Receive Signal Level) pada jarak 15 m**

Berdasarkan Persamaan (3.3) dan (3.4):

$$RSL = EIRP - L_{Propagasi} + G_{RX} - L_{RX}$$

Nilai Free Space Loss ($L_{Propagasi}$) adalah

$$f = \text{frekuensi kerja (GHz)} = 4,25 \text{ GHz}$$

$$d = \text{panjang lintasan propagasi (Km)} = 0,015 \text{ Km}$$

Maka :

$$L_{Propagasi} = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 92,44$$

$$L_{Propagasi} = 20 \log(0,015) + 20 \log(4,25) + 92,44$$

$$L_{Propagasi} = -36,478 + 12,568 + 92,44$$

$$L_{Propagasi} = 68,529 \text{ dB}$$

Maka nilai Receiver Signal Level

$$RSL = EIRP - L_{Propagasi} + G_{RX} - L_{RX}$$

$$RSL = 20,428 \text{ dBm} - 68,529 \text{ dB} + 5,716 \text{ dB} - 2,288 \text{ dB}$$

$$RSL = -44,675 \text{ dBm}$$

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil simulasi dan hasil pengukuran prototipe antenna mikrostrip *triangular array* untuk aplikasi Radar Altimeter yang telah dilaksanakan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi nilai koefisien refleksi dari antenna mikrostrip *triangular array* nilai return loss sebesar -21,272 dB pada frekuensi 4,25 GHz (range frekuensi 4,208 GHz – 4,308 GHz) dengan nilai VSWR sebesar 1,194. Nilai *axial ratio* sebesar 42,499 dB memiliki pola radiasi linier.
2. Hasil pengukuran antenna didapatkan nilai koefisien refleksi dari antenna mikrostrip *triangular array* nilai return loss sebesar -21,168 dB pada frekuensi 4,25 GHz (range frekuensi 4,176 GHz – 4,302 GHz) dengan nilai VSWR sebesar 1,132.
3. Hasil pengukuran (S_{21}) dari antenna mikrostrip *triangular array* nilai *gain* sebesar 3,729 dB dan pada jarak 1,5 m perhitungan *pathloss* 48,526 dB, *delay* 0,0000000100069229 s (1×10^{-8} s) dan *link budget* 22,486 dBm. Pada jarak 15 m perhitungan *pathloss* -68,599 dB, *delay* 0,0000001000692286 s (1×10^{-7} s) dan *link budget* 20,428 dBm.

Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran antenna *mikrostrip triangular array* layak digunakan untuk aplikasi radar altimeter

B. Saran

1. Untuk kesempurnaan dalam perancangan antena mikrostrip *triangular array* untuk aplikasi radar altimeter perlu adanya pengetahuan yang lebih mendalam mengenai teori antena mikrostrip dan *software* yang digunakan, sehingga diharapkan teknologi antena mikrostrip bisa terus dikembangkan.
2. Proses pengukuran prototipe antena mikrostrip *triangular array* sebaiknya dilakukan dalam ruangan *anechoic chamber*, sehingga tidak terdapat interferensi atau gangguan berupa pantulan dari gelombang lain di udara.
3. Untuk pengujian lebih lanjut dapat dilakukan penelitian mengenai radar altimeter pada pesawat terbang.

Lampiran 1a. Proses Tahapan Optimasi Desain Antena Mikrostrip Triangular menggunakan Ansoft HFSS v13.

No	Dimensi (mm)				Parameter hasil simulasi				Keterangan			
	a	t	W_g	L_g	Frekuensi (GHz)	Bandwidth (MHz)	VSWR	Koef. Refleksi (dB)	Dimensi yg diubah	Hasil optimasi simulasi	Pembuatan prototype	Hasil ukur prototype
1	32,08	24,06	41,69	33,66	3,142 & 5,102	58	1,604 & 1,438	-12,687	-	-	Tidak	-
2	26,14	24,06	41,69	33,66	3,306	26	1,742	-11,349	a	-	Tidak	-
3	26,14	18,01	41,69	33,66	4,285	127	1,280	-18,194	t	-	Tidak	-
4	26,14	18,01	35,74	33,66	4,285	129	1,277	-18,293	W_g	Standar	Tidak	-
5	26,14	18,01	35,74	25,91	4,250	105	1,332	-16,926	L_g	Standar	Ya	Standar

Keterangan :

a = Sisi segitiga

t = Tinggi segitiga

L_g = Panjang Ground

W_g = Lebar Ground

Lampiran 1b. Proses Tahapan Optimasi Desain Antena Mikrostrip Triangular Array menggunakan Ansoft HFSS v13.

No	Array	Parameter hasil simulasi						
		Frekuensi (GHz)	Bandwidth (MHz)	VSWR	Koef. Refleksi (dB)	Gain (dB)		Axial Ratio (dB)
						Max >0	Min	
1	-	4,250	(4206 - 4311) 105	1,332	-16,926	4,306	>125 = -7,551 >235	59,412
2	4	4,250	(4206 - 4311) 105	1,211	-20,373	4,202	>115 = -5,707 >245	23,645
3	5	4,250	(4206 - 4311) 105	1,206	-20,577	4,220	>110 = -5,388 >250	36,190
4	6	4,250	(4206 - 4311) 105	1,178	-21,738	3,729	>110 = -6,046 >250	42,4991
5	7	4,250	(4206 - 4311) 105	1,182	-21,588	3,807	>110 = -6,183 >250	27,7655

Lampiran 2a. Pengukuran E-Plane (Elevation Pattern) Frekuensi 4,25 GHz
 Prototype Antena

Tetha [deg]	Microstrip E-Plane [dB]
0	6
5	5,8
10	4
15	5
20	3,8
25	4
30	5
35	4
40	5
45	4,8
50	4,5
55	4,5
60	5
65	4,3
70	4
75	4,2
80	4
85	3
90	3,5
95	2,5
100	3
105	2,5
110	1
115	1

120	1,6
125	1,3
130	1,4
135	1,4
140	1,5
145	1,3
150	1,3
155	-0,9
160	-0,7
165	-0,8
170	-0,9
175	-0,7
180	-1
185	-1
190	-0,7
195	-0,8
200	-0,7
205	-0,8
210	-0,9
215	1,4
220	1,3
225	1,4
230	1,3
235	1,4
240	1,6

245	1,8
250	1,9
255	2
260	1
265	1
270	3
275	3
280	3
285	3,5
290	5
295	4
300	6
305	3
310	5
315	4,8
320	4,6
325	4,5
330	4,4
335	5
340	4,5
345	6
350	4
355	5
360	6

Lampiran 2b. Pengukuran H-Plane (Azimuth Pattern) Frekuensi 4.25 GHz
 Prototype Antena

Phi [deg]	Microstrip H-Plane [dB]
0	3,760
5	3,750
10	3,780
15	3,750
20	3,770
25	3,760
30	3,765
35	3,770
40	3,767
45	3,763
50	3,761
55	3,765
60	3,766
65	3,765
70	3,768
75	3,765
80	3,763
85	3,760
90	3,770
95	3,774
100	3,780
105	3,763
110	3,790
115	3,770

120	3,780
125	3,780
130	3,764
135	3,765
140	3,764
145	3,764
150	3,761
155	3,765
160	3,763
165	3,762
170	3,755
175	3,750
180	3,760
185	3,750
190	3,762
195	3,750
200	3,762
205	3,764
210	3,762
215	3,763
220	3,762
225	3,763
230	3,761
235	3,764
240	3,765

245	3,763
250	3,765
255	3,767
260	3,770
265	3,780
270	3,768
275	3,765
280	3,763
285	3,768
290	3,770
295	3,765
300	3,780
305	3,770
310	3,790
315	3,774
320	3,765
325	3,762
330	3,760
335	3,790
340	3,770
345	3,780
350	3,767
355	3,764
360	3,760