

Antena Array Mikrostrip Dual Beam Untuk Aplikasi Sensor Radar Doppler

Dual Beam Microstrip Antenna Array for Doppler Radar Sensor Applications

Pamungkas Daud^{a,*} dan Niluh Sri Andayani^b

^aPusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI, Bandung
Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI Gedung 20 Lantai 4, Jl Sangkuriang, Bandung 40135, Indonesia
^bFakultas Elektro dan Komunikasi IT Telkom, Bandung

Abstrak

Sekarang ini jumlah kendaraan meningkat dengan pesatnya, sementara sarana jalan masih tertinggal baik pertambahannya maupun kualitas jalan serta pemeliharaan, menyebabkan kemacetan lalu lintas sering terjadi dan jumlah kecelakaan kendaraan meningkat pula. Pengontrolan lalu lintas yang baik sangat dibutuhkan untuk efisiensi dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan. Sebuah sensor radar doppler dapat digunakan untuk mendeteksi laju kecepatan relatif kendaraan, yakni antara mobil dan *obstacle* sehingga dapat digunakan untuk menghindari terjadinya kecelakaan dan dapat memantau kepadatan lalu lintas yang terjadi. Radar dirancang untuk kemudahan navigasi dan bisa digunakan untuk mendeteksi kecepatan suatu benda yang bergerak dengan cara mendeteksi energi dari suatu benda yang bergerak tersebut sekaligus menentukan posisinya. Dalam tulisan ini dibahas mengenai desain dan implementasi antena yang mampu mendukung aplikasi sensor radar doppler. Antena ini dirancang menggunakan antena mikrostrip *dual beam* yang bekerja pada frekuensi 10 GHz. Software yang digunakan untuk perancangan dan simulasi antena ini adalah Ansoft HFSS 10. Penelitian ini dimulai dengan menghitung dimensi antena sesuai rumus yang ada. Dimensi hasil perhitungan akan digunakan pada proses simulasi. Modifikasi dimensi antena digunakan sebagai cara untuk mendapatkan hasil yang optimum dalam simulasi, kemudian dimensi optimum tersebut digunakan dalam proses pabrikan. Spesifikasi antena yang dibuat memiliki karakteristik bekerja pada frekuensi 10 GHz dengan bandwidth 60 MHz pada $VSWR \leq 1,5$, serta memiliki gain sebesar 12,42 dBi.

Kata kunci: antena mikrostrip, sensor radar doppler, *bandwidth*, VSWR.

Abstract

The number of vehicles is increasing rapidly, while the roads are still lagging behind both increase and quality as well as maintenance of roads, causing traffic jams often occur and the number of vehicle accidents increase as well. Traffic control is needed for good efficiency and to improve the safety of road users. A doppler radar sensor can be used to detect the rate of the relative speed of vehicles, i.e. between car and obstacle so it can be used to avoid accidents and can monitor the traffic that occurs. The radar is designed for ease navigation and can be used to detect the speed of a moving object by detecting the energy of a moving object and to determine their position at any given time. Design and implementation of antenna which is capable in supporting applications of doppler radar sensors, is discussed in this issue. This antenna is designed using a dual beam microstrip antenna that works on a frequency of 10 GHz. Software used for design and simulation of this antenna is the Ansoft HFSS10. This study is begun by calculating the dimensions of the antenna according to the existing formula. The dimensions of the calculation results will be used in the simulation process. Modification of antenna dimensions are used as a way to get optimum results in the simulation, then the optimum dimensions used in the manufacturing process. Specification of the antenna built to work on a frequency of 10 GHz with a bandwidth of 60 MHz at $VSWR \leq 1.5$, and has a gain of 12.42 dBi.

Keywords: microstrip antenna, doppler radar sensors, *bandwidth*, VSWR.

I. PENDAHULUAN

Jumlah kendaraan yang semakin meningkat dengan pesatnya, sementara sarana jalan masih tertinggal baik pertambahannya maupun kualitas serta pemeliharaan, menyebabkan kemacetan lalu lintas sering terjadi dan jumlah kecelakaan kendaraan ikut meningkat.

Pengontrolan lalu lintas yang baik sangat dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan pengguna jalan. Keadaan ini memacu industri otomotif untuk mengembangkan sejumlah sistem aktif maupun pasif untuk meningkatkan keselamatan berkendara di jalan raya. Sebuah sensor radar doppler dapat mengukur kecepatan relatif antara mobil dan *obstacle* sehingga dapat digunakan untuk menghindari kecelakaan dan hanya memantau kepadatan lalu lintas yang tinggi. Penelitian ini mengembangkan antena *array* mikrostrip *dual beam* untuk aplikasi sensor radar doppler yang mampu menghasilkan *gain* 10 dBi, *bandwidth* yang sesuai dengan spesifikasi radar yaitu

* Corresponding Author.

Email: pmkdaud@gmail.com

Received: May 24, 2013; Revised: June 16, 2013

Accepted: June 18, 2013

Published: June 30, 2013

© 2013 PPET - LIPI

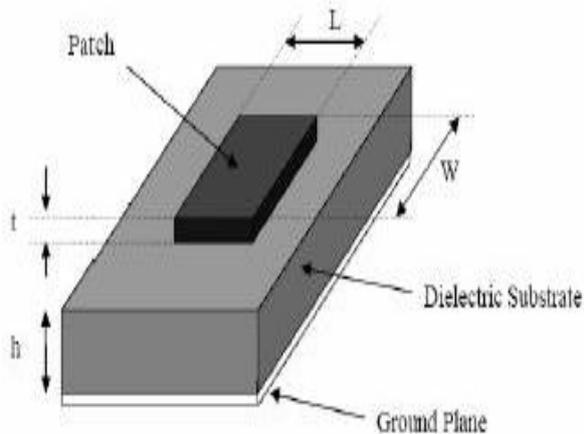
doi : 10.14203/jet.v13.6-13

sebesar 60 MHz dan pola radiasi *bidirectional* pada sudut 30° dan -30° .

II. LANDASAN TEORI

A. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Antena *microstrip* dibuat tiga lapisan bahan, yaitu lapisan *patch*, substrat dielektrik, dan *groundplane*. Pada lapisan *patch* dan *groundplane* terbuat dari bahan konduktor.



Gambar 1. Struktur Antena Mikrostrip.

Menurut teori saluran transmisi, antena mikrostrip empat persegi panjang dapat dimodelkan sebagai dua buah slot peradiasi paralel yang terpisah jarak sebesar setengah panjang gelombang dalam bahan. Ketika gelombang datang dari saluran pencatu menemui perubahan kasar (*discontinue*) pada sisi input konduktor antena mikrostrip, medan listriknya akan menyebar ke udara bebas juga pada sisi berikutnya setelah melewati *patch* atau konduktor yang dianggap sebagai saluran transmisi. Nilai $W \ll \lambda$, jika nilai W diperbesar maka radiasi dari tepi *patch* dapat dikurangi. Untuk rectangular *patch* nilai $W = L$ dan nilainya haruslah $< \lambda/2$, di mana λ adalah panjang gelombang medium dielektrik dengan λ adalah panjang gelombang di ruang hampa.

$$= \frac{c}{f} \quad (1)$$

λ_g adalah panjang gelombang medium dielektrik

$$g = \frac{c}{fr \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2)$$

Berdasarkan formula Jackson dan Alexopolus maka formula W dan L adalah [1]

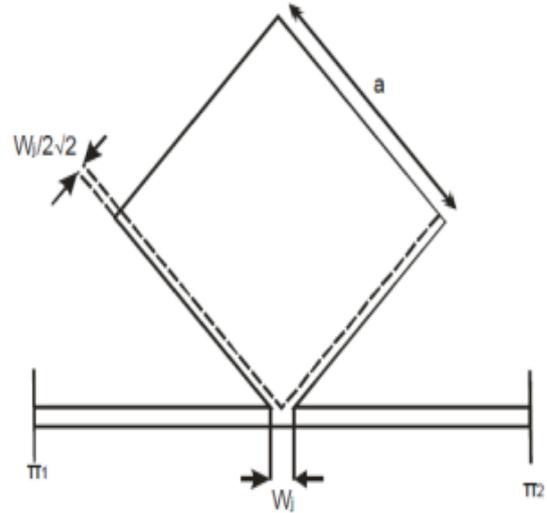
$$W = \frac{0.49\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

ϵ_{eff} adalah konstanta dielektrik efektif *patch* yang dapat diperoleh dari

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12h}{W} \right]^{-1/2} \quad (4)$$

B. Corner Feed Patch Antenna

Corner feed patch antenna adalah antena rectangular yang dicatu di salah satu ujungnya. Pencatuan seperti ini akan menghasilkan adanya lebar *feed junction* (W_j). Perubahan lebar dari *feed junction* ini akan menyebabkan perubahan frekuensi resonansi [1].



Gambar 2. Corner Feed Patch Antenna.

Nilai dari frekuensi resonansi didapatkan dari rumus berikut

$$fr = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_{eff}} \left(a - \frac{W_j}{2\sqrt{2}} + 2\Delta W \right)} \quad (5)$$

W_j merupakan lebar dari sambungan pencatuan antena, di mana lebar sambungan pencatuan antena akan seiring dengan bertambahnya frekuensi resonansi. Pencatuan di ujung antena akan memberikan impedansi input yang tinggi dan sesuai untuk antena susunan seri. Pemodelan ini menunjukkan suatu pemodelan medan dalam yang merupakan penjumlahan dari dua mode amplitudo yang sama yaitu mode (1,0) dan (0,1).

C. Antena Susunan (Array)

Antena *array* terdiri dari konfigurasi elemen yang identik yang disusun sejajar. Ada tiga macam metoda *array* yaitu *linear array*, *circular array* dan *planar array*. Ketiga metoda ini dipergunakan tergantung dari posisi elemen antena. Antena susunan dibuat untuk meningkatkan *gain*, mendapatkan diagram arah dengan pola tertentu (*beam forming*) dan mendapatkan diagram arah dengan pengendalian tertentu (*beam steering*).

Berdasarkan arus catuannya, antena *array* digolongkan menjadi *uniform* dan *non uniform*. Susunan antena akan disebut *uniform* jika setiap elemen susunan dicatu dengan amplitudo arus dan fasa catuan (β) yang sama besar. Sebaliknya susunan antena dikatakan *non uniform* jika amplitudo arus catuannya berbeda dengan fasa catuan [2], [3]. Rumus *array factor* untuk N buah susunan adalah:

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)\phi} \quad (6)$$

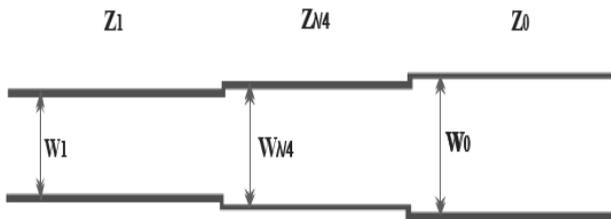
$$\phi = kd \cos \Phi + \beta = \frac{2\pi d}{x} \cos \Phi + \beta \quad (7)$$

di mana:

- k : konstanta pergeseran fasa sebesar $2\pi/\lambda$
- d : jarak antar elemen
- θ : sudut main beam antenna *array*
- β : beda fasa catuan tiap elemen
- a_n : amplitudo elemen tunggal

D. Penyepadan Transformator $\lambda/4$

Ada beberapa jenis teknik penyepadan dengan menggunakan transformator $\lambda/4$ yaitu transformator $\lambda/4$, transformator $\lambda/4$ bertingkat *binomial*, *stub taper* dan lainnya. Teknik penyepadan yang digunakan pada tulisan ini adalah teknik penyepadan dengan menggunakan transformator $\lambda/4$ yang dicetak pada bahan yang sama dengan *line* yang terhubung langsung [4].



Gambar 3. Transformator $\lambda/4$

Syarat *matching* adalah $Z_{in} = Z_0$, sehingga beban dipasang sejauh d dari trafo $\lambda/4$. Untuk memperoleh nilai Z_T , dapat digunakan rumus:

$$Z_T = \sqrt{Z_0 Z_L} \quad (8)$$

E. Sensor Radar Doppler

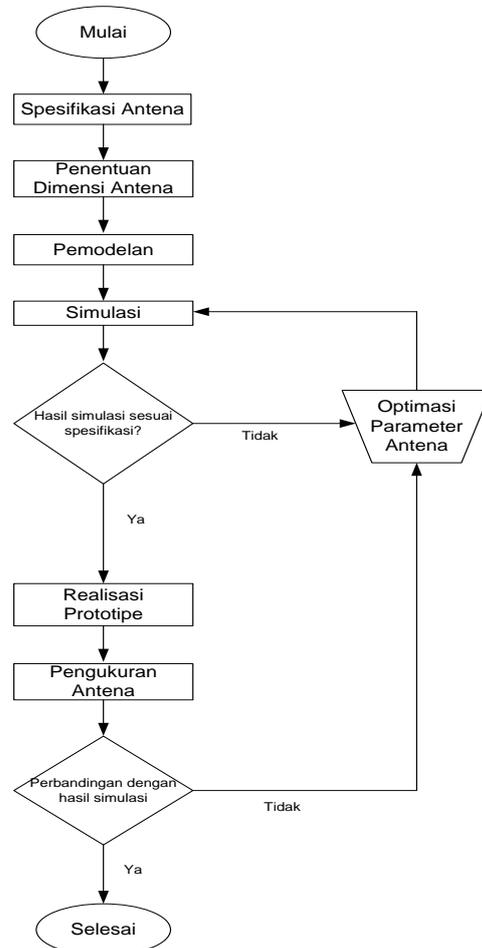
Radar doppler merupakan jenis radar yang mengukur kecepatan radial dari sebuah objek yang masuk ke dalam daerah tangkapan radar dengan menggunakan efek doppler. Hal ini dilakukan dengan memancarkan sinyal *microwave* (gelombang mikro) ke objek lalu menangkap refleksinya, dan kemudian dianalisis perubahannya. Radar doppler merupakan jenis radar yang sangat akurat dalam mengukur kecepatan radial. Contoh radar doppler adalah *weather radar* yang digunakan untuk mendeteksi cuaca.

III. PERANCANGAN, SIMULASI DAN REALISASI

A. Spesifikasi Teknik Antena

Pada perancangan antenna terlebih dahulu ditentukan spesifikasi teknik yang sesuai dengan aplikasi yang diinginkan sebagai berikut:

- Frekuensi kerja : 10 GHz
- *Bandwidth* : 60 MHz
- Impedansi terminal : 50 Ω
- VSWR : $\leq 1,5$
- Pola radiasi : *Bidirectional*
- Polarisasi : Linier
- *Gain* : ≥ 10 dBi



Gambar 4. Diagram Alir Pembuatan Antena.

B. Pemilihan Bahan Substrat, *Groundplane* dan *Patch*

Bahan yang digunakan dalam perancangan antenna *dual beam* ini adalah tembaga (*copper*) pada bagian *groundplane*, *patch* dan *microstrip line* dan RT/Duroid 5880 pada bagian substrat. Pemilihan bahan RT/Duroid 5880 dikarenakan bahan ini bisa bekerja dengan baik pada frekuensi tinggi. Karakteristik dari bahan yang digunakan pada perancangan antenna *dual beam* adalah sebagai berikut:

1. Tembaga
 - a. Permittivitas relatif (ϵ_r) : 1
 - b. Permeabilitas relatif (μ_r) : 0,999991
 - c. Ketebalan : 0,035 mm
2. RT/Duroid 5880
 - a. Permittivitas relatif (ϵ_r) : 2,2
 - b. Permeabilitas relatif (μ_r) : 1
 - c. Ketebalan : 0,93 mm
 - d. Rugi tangensial, ($\tan \delta$) : 0,0012
 - e. Konduktivitas konduktor : $5,8 \cdot 10^7$ S/m

C. Perancangan Dimensi Antena

1) Spesifikasi Satu Patch Rektanguler

a) Langkah 1: lebar patch

Secara umum, *rectangular patch*, lebar dan panjang elemen sama ($W = L$) dapat dihitung dengan formula [1].

$$W = L = \frac{0,49\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (9)$$

$$W = L = 9,91 \text{ mm}$$

b) Langkah 2: konstanta dielektrik efektif

Persamaan untuk konstanta dielektrik efektif di mana $W/h > 1$ adalah

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12h}{W} \right]^{-1/2} \quad (10)$$

$$\epsilon_{eff} = 2,0115$$

c) Langkah 3: panjang gelombang

Panjang gelombang di udara dapat dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (11)$$

$$\lambda = 30 \text{ mm}$$

dan panjang gelombang di dalam bahan/dielektrik :

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (12)$$

$$\lambda_g = 20,23 \text{ mm}$$

2) Spesifikasi Susunan

Antena direksional sederhana yang terdiri dari susunan secara linier dengan elemen antena yang memiliki radiasi kecil, setiap elemennya dicatu dengan sinyal yang identik dari sebuah *transmitter*. Apabila lebar dari elemen antena *array* ditambah, maka *sidelobe* bisa ditekan. Spasi antar elemen d_y pada orientasi sumbu y ditujukan untuk men-*setting* radiasi sirkular dari tiap elemen yang dipancarkan agar sefasa.

Spasi antar dua elemen terdekat adalah sebagai berikut [1]:

$$\theta_0 = \arcsin \frac{\lambda_g}{2d_s} \quad (13)$$

$$\theta_0 = 30^\circ \text{ maka } d_s = \lambda_g$$

Jadi jarak antar elemen terdekat adalah 20,23 mm.

3) Dimensi Substrat dan Groundplane

Dimensi minimum *groundplane* yang dibutuhkan diberikan melalui persamaan berikut [4]:

$$G_{p_{min}} = 6h + 2W \quad (14)$$

Dengan demikian untuk tebal substrat yang digunakan yaitu $h = 0,93 \text{ mm}$ dan $W = 8,89 \text{ mm}$ maka lebar *groundplane* dari tiap sisi elemen peradiasi adalah $G_{p_{min}} = 23,36 \text{ mm}$, diperoleh dimensi minimum *groundplane* untuk satu *patch* sebesar $23,36 \times 23,36 \text{ mm}^2$. Sedangkan untuk penelitian ini menggunakan antena susunan dengan jumlah 4×2 elemen maka dimensi *groundplane* yang digunakan adalah $110 \times 70 \text{ mm}^2$ dengan tinggi *groundplane* sebesar $0,035 \text{ mm}$.

Sedangkan ukuran dimensi substrat sama dengan ukuran dimensi *groundplane*, yaitu sebesar $110 \times 70 \text{ mm}^2$ dengan tinggi sebesar $0,93 \text{ mm}$. Pemilihan bahan substrat didasari atas keperluan karakteristik antena.

4) Rancangan Hasil Perhitungan

Berikut ini adalah tabel mengenai ukuran dimensi berdasarkan perhitungan.

TABEL I
DIMENSI ANTENA HASIL PERHITUNGAN

Komponen	Dimensi
Lebar <i>Patch</i>	9,91 mm
Panjang Gelombang (λ_d)	20,23 mm
L1	80,92 mm
L2	5 mm
W1	1,1 mm
W3	1,8 mm
Panjang <i>Groundplane</i>	110 mm
Lebar <i>Groundplane</i>	70 mm
Tebal <i>Groundplane</i> dan <i>Patch</i>	0,035 mm
Tebal Substrat	0,93 mm

5) Jarak Patch dengan Saluran Mikrostrip

Untuk jarak antara *patch* dengan saluran mikrostrip dilakukan dengan proses *trial and error* sehingga didapatkan hasil simulasi terbaik, yaitu memiliki *gain* yang besar dan *sidelobe* yang kecil. Optimasi ini dilakukan untuk mendapatkan pola radiasi *dual beam* sesuai dengan spesifikasi. Optimasi jarak antara *patch* dengan saluran mikrostrip dilakukan dengan cara membandingkan 3 jarak yang berbeda yaitu: tanpa saluran (0), $\lambda_g/8$, dan $\lambda_g/4$.

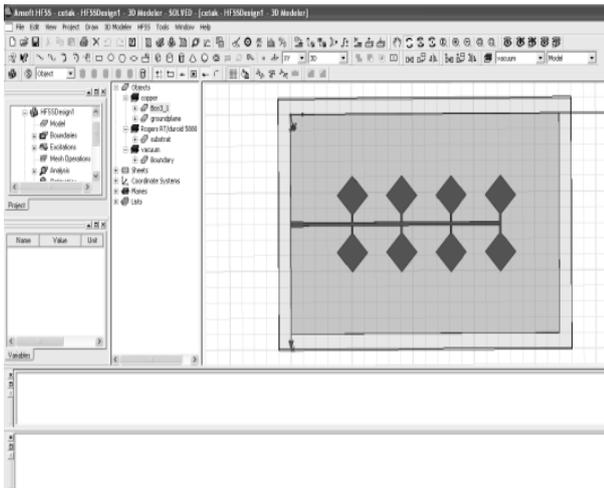
TABEL II
PERBANDINGAN POLA RADIASI HASIL OPTIMASI

Jarak	Gain	Pola Radiasi
0	9,01 dBi	
$\lambda_g/8$ (2,528 mm)	12,38 dBi	
$\lambda_g/4$ (5,507 mm)	10,06 dBi	

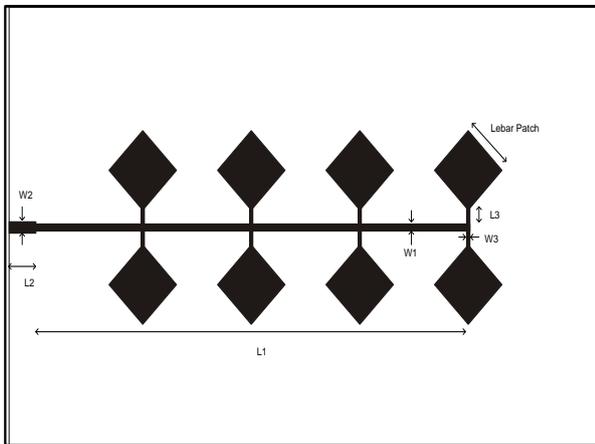
Dari hasil pada ketiga hasil di atas terlihat bahwa hasil terbaik adalah dengan menggunakan saluran sepanjang $\lambda_g/8$, selain *gain* yang dihasilkan besar, bentuk pola radiasi sudah memenuhi kriteria *dual beam*

yang cukup baik. Hasil yang ditunjukkan pada bagian $\lambda_g=0$ atau tanpa saluran kurang baik bentuk *dual beam*-nya, karena arahnya tidak sesuai dengan spesifikasi dan pada saluran $\lambda_g/4$ *sidelobe* yang dihasilkan cukup besar.

D. Simulasi



Gambar 5. Rancangan Antena Simulasi.



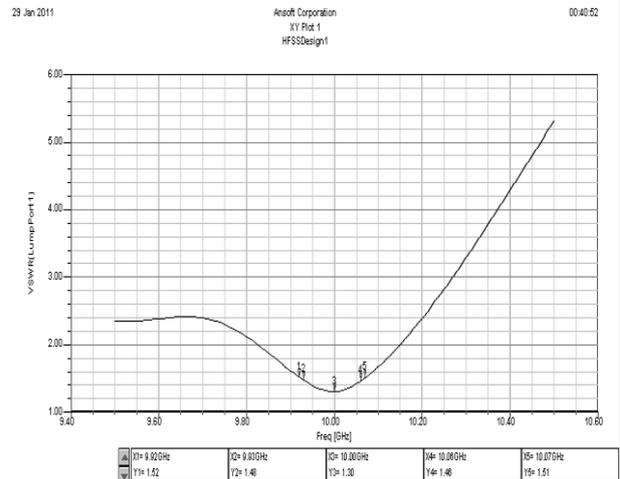
Gambar 6. Konfigurasi Antena Simulasi.

TABEL III
DIMENSI ANTENA HASIL OPTIMASI

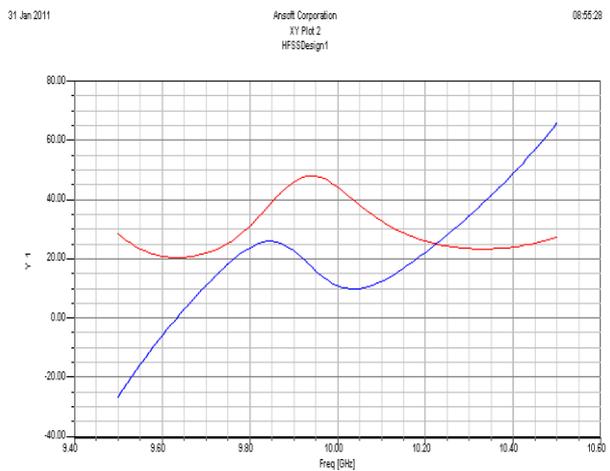
Komponen	Dimensi
Lebar Patch	8,89 mm
Panjang Gelombang (λ_0)	20,23 mm
L1	80,92 mm
L2	5 mm
L3	2,528 mm
W1	1,1 mm
W2	1,8 mm
W3	0,6 mm
Panjang Groundplane	110 mm
Lebar Groundplane	70 mm
Tebal Groundplane dan Patch	0,035 mm
Tebal Substrat	0,93 mm

E. Hasil Simulasi

1) *VSWR, Bandwidth dan Impedansi*



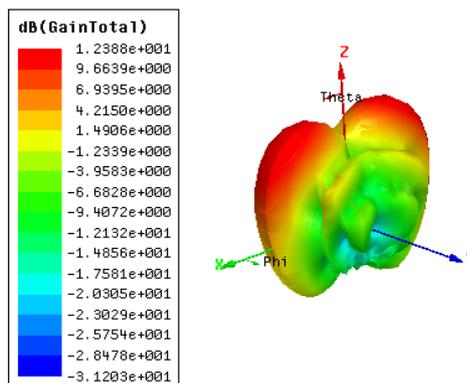
Gambar 7. VSWR Hasil Simulasi.



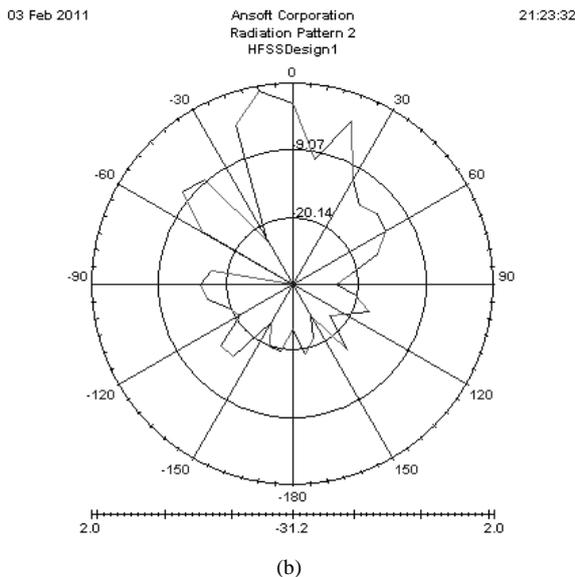
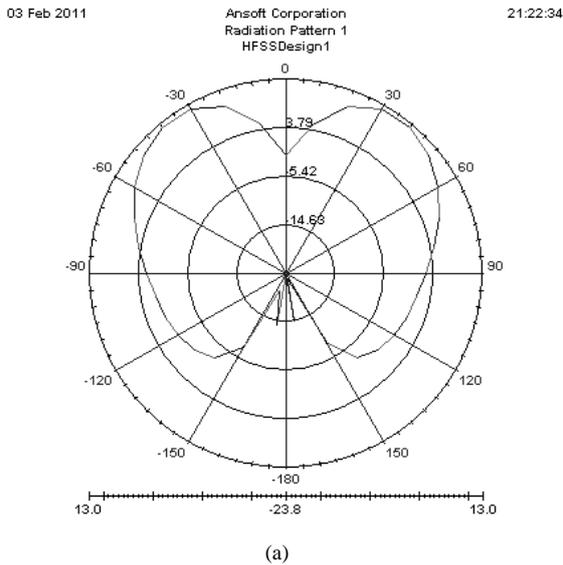
Gambar 8. Impedansi Hasil Simulasi

Hasil simulasi menunjukkan bahwa *bandwidth* 60 MHz pada frekuensi 9,97 GHz – 10,03 GHz dicapai pada $VSWR < 1,35$ dan impedansi sebesar $44,47 + j11,28 \Omega$ atau $45,88 \angle 14,23 \Omega$.

2) *Gain dan Pola Radiasi*



Gambar 9. Gain Hasil Simulasi.



Gambar 10. Pola Radiasi Hasil Simulasi, (a) Bidang XZ dan (b) Bidang YZ.

Gain hasil simulasi didapatkan sebesar 12,42 dBi dan pola radiasi sudah terlihat sudah berbentuk *dual beam*. Kedua *beam* bernilai maksimum saat sudut 30° (*bidirectional*). Pola radiasi bidang YZ terlihat bahwa *sidelobe* cukup besar dan *backlobe* kecil.

IV. PENGUKURAN DAN ANALISIS

A. Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur antenna pada penelitian ini adalah alat yang mampu digunakan untuk mengukur spesifikasi antenna.

1. *Network Analyzer*, merk: *Advantest* tipe R3770 (300 KHz - 20 GHz), *Network Analyzer* digunakan dalam pengukuran *VSWR*, *bandwidth*, dan impedansi antenna.
2. *Spectrum Analyzer*, merk: *HP* tipe 8563E (30 Hz - 26,5 GHz) dan *Sweep Oscillator*, merk: *HP* 8350 B, alat ukur ini digunakan dalam pengukuran *gain*, pola radiasi, dan polarisasi dari *prototype* antenna yang akan diukur.

3. Profile Projektor (Nikon V-12B)

Alat ukur ini digunakan untuk pengukuran dimensi fisik antenna. Prinsip kerjanya menggunakan efek cahaya untuk mendapatkan bayangan obyek yang diukur.

B. Pengukuran Antena

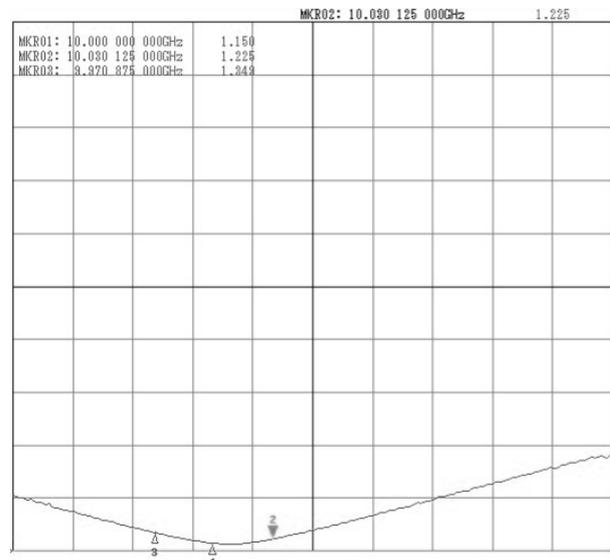
1) Pengukuran *VSWR*, *Bandwidth* dan *Impedansi*

Pengukuran *VSWR* menggunakan *Network Analyzer* yaitu dengan membaca parameter S_{11} yang merepresentasikan perbandingan daya yang dikirim ke beban dengan daya yang dipantulkan kembali.



Gambar 11. Konfigurasi Pengukuran *VSWR*, *Bandwidth* dan Impedansi.

a) Hasil pengukuran *VSWR* dan *bandwidth*

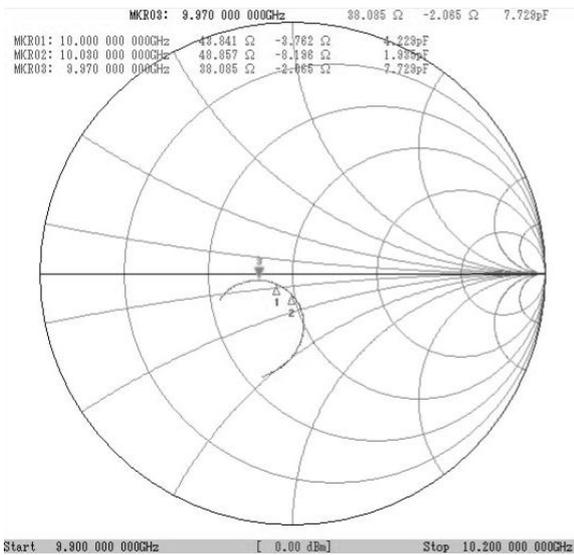


Gambar 12. Hasil Pengukuran *VSWR* dan *Bandwidth*.

Bandwidth 60 MHz berada pada frekuensi 9,97 GHz – 10,03 GHz dicapai pada $VSWR \leq 1,343$ dengan demikian spesifikasi awal di mana *bandwidth* 60 MHz dicapai pada $VSWR \leq 1,5$ telah tercapai. Frekuensi tengah yaitu pada frekuensi 10 GHz, *VSWR* yang terukur adalah 1,150.

b) Hasil pengukuran impedansi

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa impedansi pada frekuensi tengah 10 GHz dengan impedansi 43,841-j3,762 Ω.



Gambar 13. Hasil Pengukuran Impedansi.

2) Pengukuran Pola Radiasi

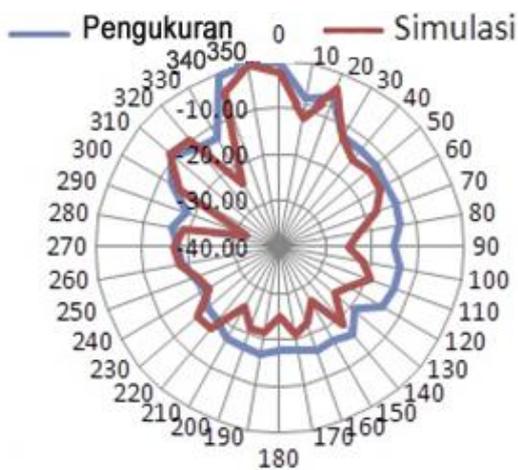
Pola radiasi antenna diukur pada daerah medan jauh antenna, karena pada daerah tersebut gelombang elektromagnetik yang terpancar tidak bergantung jarak dari antenna. Nilai *D* dari antenna *array* mikrostrip *dual beam* ini adalah diagonal dari *groundplane* sebesar 13,04 mm, sedangkan

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10 \times 10^9} = 0,03 \text{ m.}$$

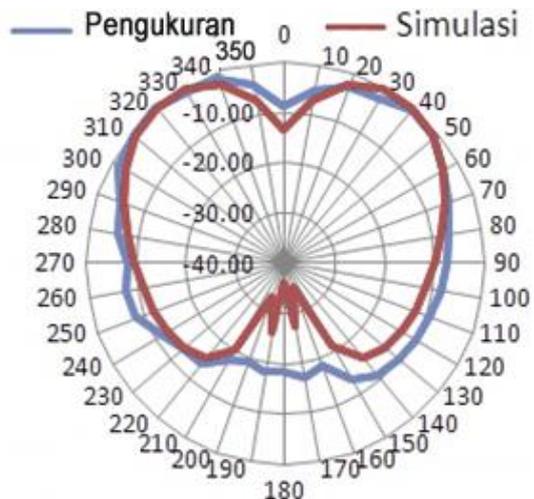
Medan jauh dari antenna adalah $2xR$

$$\frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2(0,13)^2}{0,03} = 1,12m$$

Jadi jarak $\geq 2,24 \text{ m.}$



Gambar 14. Pola Radiasi Azimuth YZ antara Hasil Simulasi dan Pengukuran.



Gambar 15. Pola Radiasi Elevasi XZ antara Hasil Simulasi dan Pengukuran.

3) Pengukuran Pola Polarisasi

Polarisasi penting karena jika polarisasi antenna penerima dan pemancar tidak match maka daya yang diterima akan kecil, atau disebut juga dengan PLF (*polarization loss factor*). Telah didapatkan data sebagai berikut:

- Daya terima maksimum (sumbu mayor) = -62,17 dBm = 7.94×10^{-8} Watt.
- Daya terima minimum (sumbu minor) = -74,33 dBm = 19.18×10^{-10} Watt

Dengan analisis rasio kuat medan elektrik, maka dapat diketahui tipe polarisasinya.

Hubungan daya dengan kuat medan elektrik adalah

$$P_{watt} = \frac{E^2}{377} x A_e$$

Maka

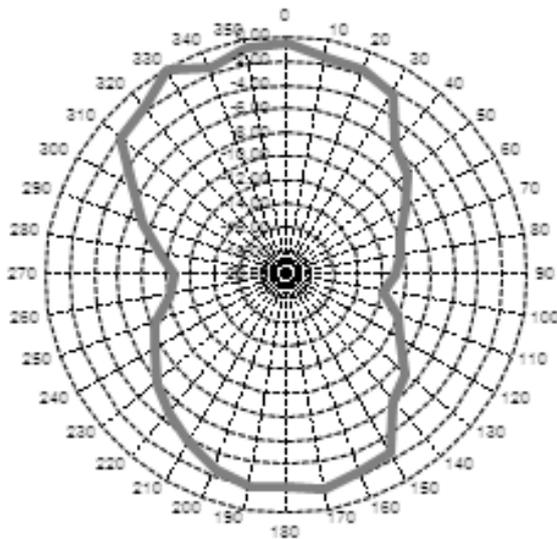
$$E^2 = \frac{P_{watt} x 377}{A_e} \rightarrow E = \sqrt{\frac{P_{watt} x 377}{A_e}}$$

Rasio kuat medan elektrik (numerik) =

$$\begin{aligned} \frac{Major}{Minor} &= \frac{\sqrt{P_{watt\ major} x 377}}{\sqrt{P_{watt\ minor} x 377}} \\ &= \frac{\sqrt{6,06 \times 10^{-10} x 377}}{\sqrt{3,68 \times 10^{-11} x 377}} \\ &= \frac{47,8 \times 10^{-5}}{11,8 \times 10^{-5}} = 4,05 \end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio kuat medan} &= 10 \log(47,8 \times 10^{-5}) - 10 \log(11,8 \times 10^{-5}) \\ &= -33,2 + 39,28 = 6,08 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusikan nilai sumbu mayor dan minor ke persamaan (4.3) dan (4.4) maka didapatkan rasio kuat medan elektrik adalah 4,05 atau 6,08 dB. Karena $1 < \text{Rasio kuat medan elektrik (numerik)} < \infty$ maka AUT berpolarisasi elips. Hasil ini berbeda dengan polarisasi awal yang diharapkan yaitu polarisasi linear. Perbedaan ini disebabkan oleh ruang pengukuran yang ideal yang mengakibatkan banyaknya sinyal penginterferensi. Selain itu penggeseran antenna setiap 10° tidak presisi dalam perpindahannya, sehingga mengakibatkan adanya perbedaan level daya yang diterima.



Gambar 16. Pola Polarisasi Hasil Pengukuran

4) Pengukuran Gain

Pengukuran gain antenna menggunakan metode dua antenna, di mana kedua antenna merupakan antenna yang identik. Besarnya gain antenna dinyatakan dalam satuan dBi dengan menghitung menggunakan persamaan Friss [5].

$$G_t \cdot G_r = \frac{W_r}{W_t} \left(\frac{4\pi R}{\lambda_0} \right)^2 \tag{17}$$

dimana:

$$G_t = G_r = \frac{1}{2} \left(20 \log \frac{4\pi R}{\lambda_0} + 10 \log \frac{W_r}{W_t} \right) \tag{18}$$

G_t = gain antenna Tx

G_r = gain antenna Rx

W_r = level daya terima pada Rx

W_t = level daya terima pada Tx

R = jarak antara kedua antenna saat pengukuran

λ_0 = panjang gelombang yang merambat di udara

Pengukuran gain menggunakan power transmit (W_t) sebesar 15 dBm. Perbandingan gain antara antenna prototype dengan antenna simulasi adalah saat simulasi didapatkan gain sebesar 12,28 dBi sedangkan pada pengukuran didapatkan gain sebesar 10,65 dBi. Walaupun terdapat selisih sebesar 1,63 dBi masih bisa ditarik kesimpulan bahwa keduanya sudah memenuhi spesifikasi awal yaitu ≥ 10 dBi.

TABEL IV
GAIN HASIL PENGUKURAN

Level Daya Terima (-dBm)	Level Daya Terima (-dBm)	Rata-rata (-dBm)	Gain (dBi)
52.50	53.00	52.76	9.90
53.17	52.83	53.00	9.78
52.83	52.67	52.75	9.91
53.00	53.00	53.00	9.78
52.50	53.17	52.85	9.86
53.17	52.83	53.00	9.78
52.00	52.17	52.09	10.24
53.50	53.17	53.34	9.61
53.17	52.83	53.00	9.78
52.83	53.00	52.92	9.82
	Gain Pengukuran		9,85

5) Pengukuran Fisik

Pengukuran dilakukan dengan melihat nilai yang tertera pada monitor profile projector. Pengukuran dilakukan dengan menggerakkan dua buah rotor untuk menggerakkan ke arah sumbu X atau sumbu Y dan satu buah rotor untuk memperjelas bayangan gambar yang buram.

TABEL V
PERBANDINGAN DIMENSI HASIL SIMULASI DENGAN HASIL PENGUKURAN

Komponen	Simulasi (mm)	Prototype (mm)	Selisih (mm)
Lebar Pacht	8,89	9,076	0,186
L1	80,92	79,74	1,18
L2	5	5,149	0,149
L3	2,528	2,327	0,201
W1	1,1	1,205	0,105
W2	1,8	1,851	0,051
W3	0,6	0,699	0,099
Panjang GP	110	110,231	0,231
Lebar GP	70	70,344	0,344

TABEL VI
PERBANDINGAN SPESIFIKASI AWAL, HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

Parameter	Spesifikasi Awal	Hasil simulasi	Hasil prototipe	Catatan
BW	60 MHz	60 MHz	60 MHz	Tercapai
VSWR	≤ 1.5	$\leq 1,35$	$\leq 1,349$	Tercapai
Pola Radiasi	Bidirectional	Bidirectional	Bidirectional	Tercapai
Polarisasi	Linear	-	Elips	Tidak
Gain	≥ 10 dBi	12,18 dBi	9,85 dBi	Tercapai
Z	50 Ω	44,47 + j11,28 Ω	43,481 - j8,196 Ω	Tercapai

KESIMPULAN

Antena dapat bekerja pada frekuensi 10 GHz dengan VSWR ≤ 1.5 sehingga dapat diimplementasikan untuk aplikasi RADAR. Gain yang didapat berdasarkan hasil pengukuran yaitu 9,85 dBi pada frekuensi 10 GHz dengan impedansi hasil pengukuran untuk frekuensi 10 GHz diperoleh 43,841-j3,762 Ω bersifat kapasitif, sedangkan pada simulasi diperoleh impedansi sebesar 44,47 + j11,28 Ω bersifat induktif. Karakteristik pola radiasi yang diperoleh adalah bidirectional, polarisasi antenna yang diperoleh adalah elips dengan axial ratio sebesar 8,09 dB. Ketepatan dan ketelitian pabrikan, serta proses pengukuran antenna sangat mempengaruhi karakteristik antenna yang menyebabkan perbedaan dari hasil simulasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. M. Pozar. and D. H. Schaubert, *Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays*, New York, IEEE Press, 1995.
- [2] I. O. William and D. C. Stuart, *The Radio Amateur Antenna Handbook*, United States of America, 1978.
- [3] J. M. Robert, *Phased Array Antenna Handbook*, Artech House inc., 1994..
- [4] M. A. A. Putrawan, "Perancangan dan Implementasi Antena Mikrostrip Susunan Linier Lempeng Persegi pada Frekuensi 2,3-2,4 GHz", Tugas akhir, Institut Teknologi Telkom, Bandung, 2010.
- [5] J. Henry, *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill Inc., 1961.