

# Modul Antena dengan Susunan *Uniform* untuk Sistem Antena Radar Generasi Kedua

## *Antenna Module with Uniform Array for 2<sup>nd</sup> Generation Radar Antenna System*

Folin Oktafiani , Yussi Perdana Saputera, Yudi Yuliyus Maulana, Yuyu Wahyu  
Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Komplek LIPI Gd 20, Jl Sangkuriang 21/54D, Bandung 40135, Indonesia  
Email: oktafiani@gmail.com

### Abstract

The purpose of this research is to design an antenna module with uniform array for 2nd generation radar antenna system. The designed antenna module comprises of four sub-modules, which are arranged vertically. Each antenna sub-module consists of eight rectangular patches that are arranged horizontally using coaxial feed as the feeding technique located at the center of the sub-module. Each antenna patch is given the same power so that the antenna is uniformly arranged. The antenna module is printed on a duroid material with the  $\epsilon_r$  value of 2.2 and a thickness of 1.57mm. The measurement result shows that antenna module can operate at a frequency of 9.4 GHz with Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) less than 1.5. An antenna gain of 20.08dBi can be obtained with a horizontal beamwidth of  $10^\circ$  degrees and a vertical beamwidth of  $20^\circ$ .

**Keywords:** antenna, module, patch, uniform array, radar

### Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan fabrikasi modul antena dengan susunan *uniform* untuk sistem antena radar generasi kedua. Modul antena yang dirancang terdiri dari empat buah sub-modul yang disusun secara vertikal. Sub-modul terdiri dari susunan delapan *patch* berbentuk persegi yang diatur sejajar ke arah horizontal dengan metode pencatuan *coaxial feed* pada titik tengah sub-modul. Setiap *patch* antena diberi daya yang sama sehingga susunan berbentuk *uniform* (seragam). Antena dicetak pada bahan duroid dengan nilai  $\epsilon_r$  2,2 dengan ketebalan 1,57 mm. Hasil pengukuran antena menunjukkan bahwa antena dapat bekerja pada frekuensi 9,4 Ghz dengan nilai VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)  $\leq 1,5$ . *Gain* antena yang didesain sebesar 20.08 dBi dengan *beamwidth* horizontal  $10^\circ$  dan *beamwidth* vertikal  $20^\circ$ .

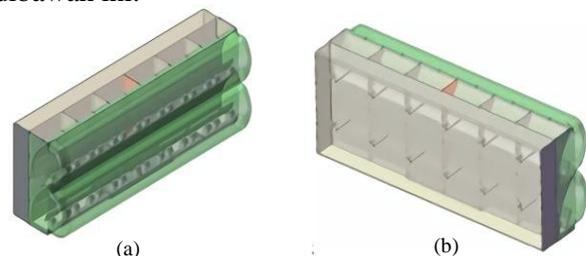
**Kata kunci :** antena, modul, *patch*, susunan uniform, radar

## 1. Pendahuluan

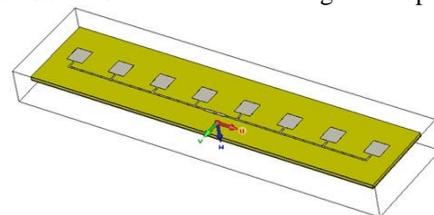
ISRA (*Indonesia Sea Radar*) merupakan alat utama sistem pertahanan yang berfungsi sebagai sensor atau alat deteksi khususnya daerah pantai. ISRA dapat digunakan pada kapal perang yang berfungsi sebagai Radar LPI (*Low Probability Intercept*), yaitu sebuah operasi militer secara senyap sehingga Radar LPI tidak terdeteksi oleh pihak lawan. Salah satu komponen krusial dalam sistem radar adalah sistem antena [1]-[5], jika dianalogikan pada tubuh manusia maka sistem antena sebagai mata yang sangat vital. Sehingga apabila sistem antena bermasalah maka sistem radar secara langsung akan bermasalah.

Received: 19 November 2015; Revised: 17 Juni 2016;  
Accepted: 31 Mei 2016; Published online: 21 Nov 2016  
©2016 INKOM 2016/16-NO427  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14203/j.inkom.427>

Sistem antena generasi pertama ISRA yang telah dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini.



**Gambar 1.** Sistem antena radar generasi pertama



**Gambar 2.** Satu modul antena pada sistem antena radar generasi pertama

Sistem antenna radar generasi pertama mempunyai panjang 160 cm dan lebar 60 cm. Sistem antenna radar terdiri dari antenna pemancar dan penerima yang bersifat identik.

Antena radar generasi pertama menggunakan antenna mikrostrip. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antenna yang mempunyai kelebihan yaitu *low profile*, ringan, ukuran kecil, fabrikasi mudah dan murah, polarisasi linier maupun sirkuler, bentuknya yang compact sehingga cocok untuk komunikasi bergerak, dan dapat beroperasi pada *single*, *dual* maupun *multiband* [6]-[9].

Antena pemancar dan penerima generasi pertama terdiri dari susunan 8 buah modul antenna yang disusun secara horizontal. Modul antenna terdiri dari susunan 8 *patch* antenna seperti terlihat pada gambar 2.

Ukuran panjang dan lebar satu modul antenna generasi pertama yaitu 57 mm x 190 mm. Bentuk *patch* yang digunakan berbentuk persegi dengan ukuran 8,75 mm x 8,75 mm yang bersesuaian dengan frekuensi 9,4 GHz. Penggunaan *patch* persegi dikarenakan polarisasi yang diinginkan dalam sistem antenna adalah polarisasi linier.

Pencatutan dari modul antenna generasi pertama menggunakan *coaxial feed*. Masing masing *patch* dihubungkan dengan saluran transmisi pada bagian bawah, kemudian ke delapan *patch* digabung dengan konfigurasi pencatutan di tengah atau dinamakan *center feed* [10].

Hasil pengukuran modul antenna generasi pertama telah dipaparkan pada [11]. Nilai VSWR modul antenna pada frekuensi 9.4181 GHz diperoleh sebesar 1,0207. Hal ini sesuai spesifikasi awal dari antenna dengan VSWR kurang dari 1,5. Hasil pengukuran koefisien refleksi pada frekuensi 9.4181 GHz sebesar -37,469 dB. *Gain* modul antenna generasi pertama dengan 8 buah *patch* sebesar 15,45 dB. *Beamwidth* horizontal dan vertikal modul antenna generasi pertama yaitu 10° dan 106.6°.

Untuk mempersempit *beamwidth* vertikal antenna agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu 20° maka antenna generasi pertama menggunakan reflektor dibagian belakang antenna. Penambahan reflektor tersebut juga berpengaruh meningkatkan *gain* antenna [12].

Salah satu permasalahan Radar ISRA generasi pertama adalah sistem antenna yang terlalu lebar dan berat karena adanya reflektor berbahan plat aluminium dibagian belakang antenna sehingga akan dibutuhkan motor dengan konsumsi daya yang lebih besar sehingga akan menambah biaya komponen.

Untuk mengatasi masalah tersebut maka pada makalah ini dipaparkan tentang desain suatu modul antenna untuk sistem antenna radar generasi kedua

yang mempunyai performansi yang sama atau lebih baik dari sistem antenna radar generasi pertama. Modul antenna ini didesain untuk mempunyai nilai *gain* yang tinggi sehingga tidak memerlukan reflektor sebagai peningkat *gain* antenna. Desain antenna generasi kedua ini masih sama dengan generasi antenna pertama yaitu tetap dengan menggunakan teknologi mikrostrip. Untuk meningkatkan *gain* dalam satu modul antenna maka dilakukan penyusunan *patch* antenna secara horizontal dan vertikal sehingga dengan banyaknya *patch* yang terdapat pada modul antenna maka akan meningkatkan *gain* antenna. Penyusunan *patch* secara horizontal dan vertikal juga dapat meningkatkan performansi *beamwidth* antenna.

## 2. Desain Antena

Perancangan *patch* antenna berbentuk persegi menggunakan persamaan di bawah ini untuk menentukan lebar *patch* (*W*) optimum [13]:

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

$\epsilon_r$  merupakan konstanta dielektrik / *relative permittivity* dari substrat, *c* adalah kecepatan cahaya dalam ruang bebas sebesar  $3.10^8$  m/s dan *fr* adalah frekuensi kerja dari antenna yang didesain. Dengan memperhitungkan pengaruh medan limpahan pada sisi yang meradiasi, panjang fisik (*L*) antenna dapat ditentukan dengan cara:

$$L = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (2)$$

Dimana :

$\epsilon_{eff}$  adalah konstanta dielektrik efektif, yakni:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{\frac{1}{1 + 12\frac{h}{W}}} \quad (3)$$

$\Delta L$  adalah besarnya medan limpahan gelombang elektromagnet dari *patch*, yakni:

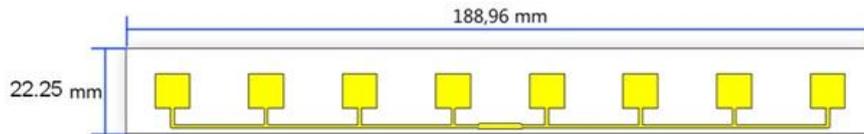
$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} + 0.258)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$$

$$\Delta L = \left[ 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} + 0.258)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \right] h \quad (4)$$

Dimana:

*h* = tebal substrat (mm),

*W* = lebar *patch* (mm).

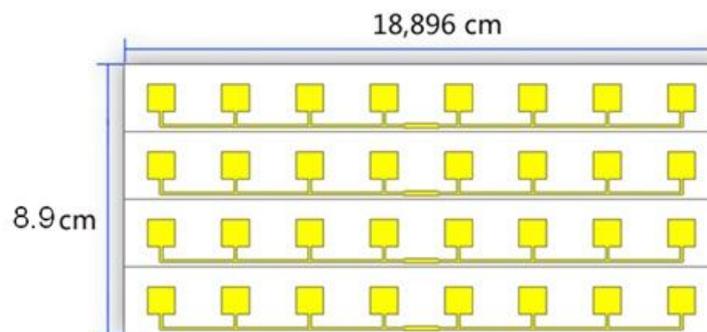


**Gambar 3.** Geometri sub-modul antenna

*Patch* yang digunakan dalam modul antenna berbentuk persegi dengan ukuran 8,75 x 8,75 mm dengan jarak antar *patch* dalam satu sub-modul 1,475 mm dan jarak vertikal antar sub-modul 1,425 mm. Geometri sub-modul antenna ditunjukkan pada Gambar 3. Panjang dan lebar *patch* tersebut diperoleh dari hasil optimasi simulasi dengan ukuran awal berdasarkan perhitungan rumus tersebut diatas. Ukuran saluran transmisi yang menghubungkan antenna *patch* satu dan lainnya dalam satu sub-modul yaitu panjang 3,4 mm, sehingga menghasilkan fasa 80 rad, dan lebar 0.8 mm sehingga menghasilkan impedansi 70.71 *ohm*. Karakteristik pencatu yang digunakan mempunyai impedansi 50 *ohm* sehingga ditambahkan penyesuai impedansi yang terletak di tengah sub-modul dengan ukuran panjang 3,4mm dan lebar

1,2 mm. Dengan ukuran tersebut akan menghasilkan impedansi 50 *ohm* sehingga bersesuaian dengan karakteristik pencatu.

Satu modul terdapat empat baris sub-modul berupa susunan delapan *patch* secara horizontal, sehingga dalam satu modul terdapat 32 *patch*. Panjang satu modul antenna adalah 188,96 mm dan lebar 22,25 mm. Gambar satu modul antenna ditunjukkan pada Gambar 4. Dalam satu modul antenna terdiri dari empat buah pencatu yang berfungsi sebagai sumber pencatu untuk tiap-tiap sub-modul. Teknik pencatuan dilakukan dengan metode *coaxial feed* dimana pencatuan dilakukan dari bagian *groundplane* antenna yang kemudian menembus melalui substrat untuk terhubung dengan *patch* antenna di bagian atas.



**Gambar 4.** Geometri modul antenna

### 3. Fabrikasi Antena

Proses pencetakan antenna dimulai dengan membuat film revro yang sesuai dengan desain antenna yang telah kita buat, kemudian film tersebut disablon diatas substrat yang akan kita gunakan, langkah selanjutnya yaitu merendam substrat tersebut ke dalam larutan FeCl atau dikenal dengan istilah proses *etching* selama beberapa menit, hasil proses *etching* dibersihkan menggunakan air untuk menghilangkan sisa sisa larutan FeCl yang menempel pada substrat, sedangkan sisa sisa sablon yang menempel pada substrat dibersihkan dengan menggunakan larutan tertentu. Untuk mencegah kerusakan *patch* maka ditambahkan lapisan perak pada bagian *patch* dan *groundplane*. Modul antenna yang telah difabrikasi dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini



(a)



(b)

**Gambar 5.** Gambar fabrikasi modul antenna (a). Tampak depan, (b). Tampak belakang

Agar bekerja dengan maksimal maka modul modul yang sudah tersusun *array* tersebut harus terhubung menjadi satu untuk diberi umpan dengan sinyal masukan utama. Sebagai penghubung antar modul digunakan *power divider/combiner* 4:1. *Power divider/combiner* 4:1 terdiri dari empat input dan satu output pada sisi penerima dan satu input dan empat output pada sisi pengirim. Kabel *semirigid* digunakan sebagai penghubung antara pencatu dengan *in/out combiner* 4:1. Untuk menjaga agar jarak antar kabel semirigid tidak berubah digunakan penyangga seperti terlihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Instalasi *power divider/combiner* pada modul antenna

#### 4. Pengukuran dan Analisis

##### 4.1. Pengukuran Koefisien Refleksi/VSWR Antena

Pengukuran antena dilakukan di laboratorium PPET. Untuk mengukur koefisien refleksi dan VSWR, alat yang digunakan adalah *Network Analyzer*, merek *AdvantestR* 3770 300 KHz – 20 GHz yang mempunyai kemampuan mengukur karakteristik antena dari frekuensi 300 KHz sampai dengan 20 GHz. Sebelum dilakukan pengukuran, *Network Analyzer* beserta kabel

koaxial yang dipergunakan harus dikalibrasi dengan *calibration kit* yang tersedia sehingga efek redaman kabel yang dipergunakan tidak diperhitungkan dalam pengukuran. Proses kalibrasi hanya dilakukan terhadap *port* 1 mengingat yang diukur hanya karakteristik koefisien refleksi dan VSWR antena. Langkah kalibrasi ini sangat penting untuk mendapatkan nilai validitas pengukuran sebaik mungkin. Kemudian langkah selanjutnya adalah sebagai berikut:

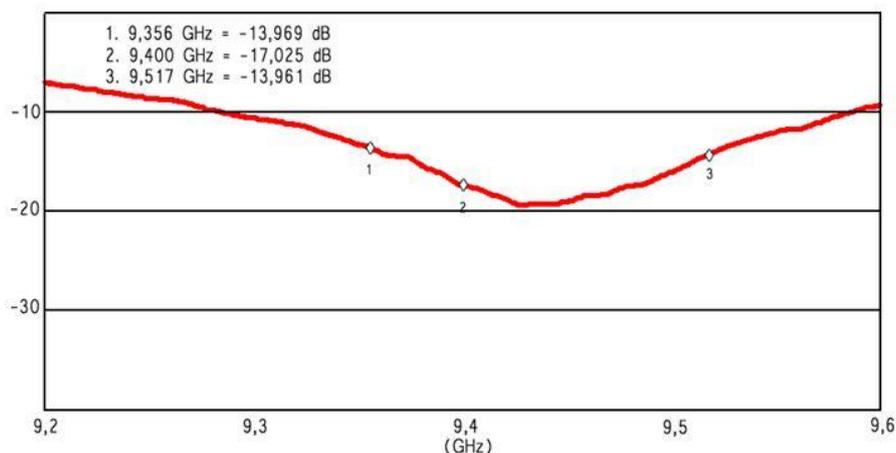
1. Hubungkan antena AUT (*antena under test*) ke *port* 1 *Network Analyzer*. Konfigurasi pengukuran koefisien refleksi dan VSWR dapat dilihat pada Gambar 7.



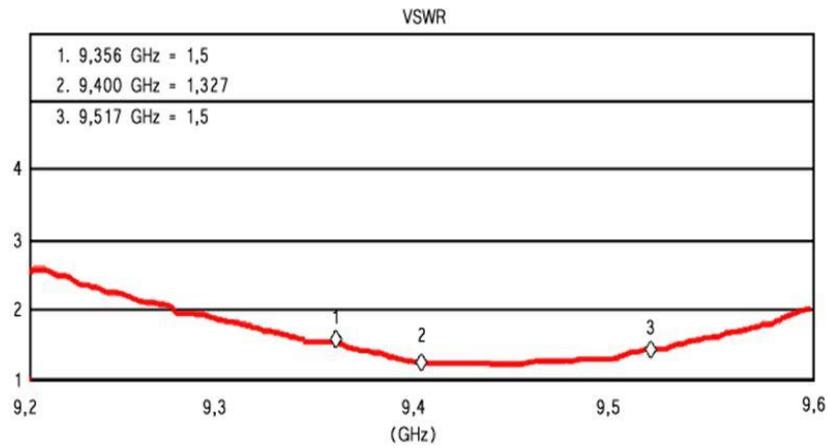
**Gambar 7.** Konfigurasi pengukuran koefisien refleksi dan VSWR

2. Tampilkan masing-masing parameter yang ingin diketahui melalui tombol format.
3. Pada monitor *Network Analyzer* akan muncul respon koefisien refleksi dan VSWR sebagai fungsi dari frekuensi.
4. Simpan hasil pengukuran.

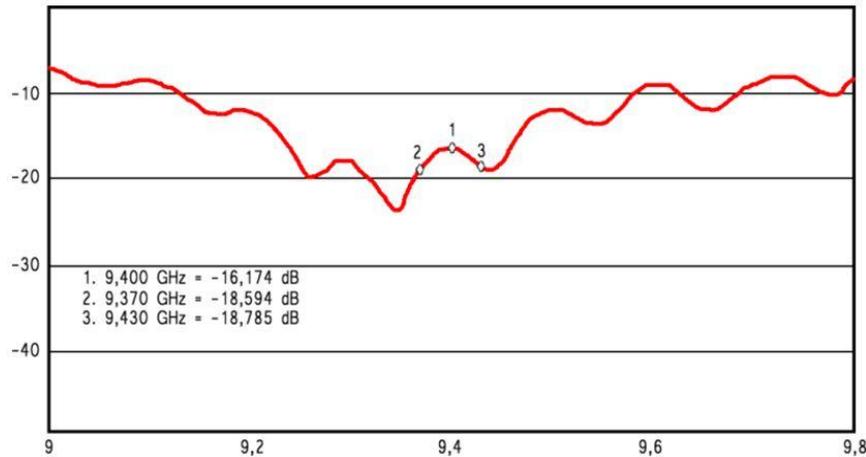
Hasil Pengukuran koefisien refleksi dan VSWR satu sub-modul antena dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9 berikut ini.



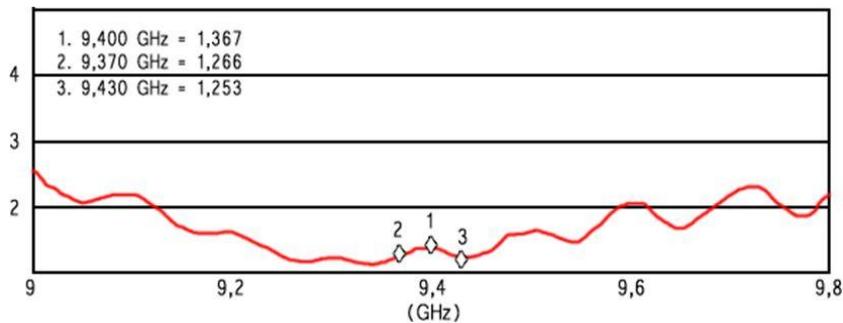
**Gambar 8.** Hasil pengukuran koefisien refleksi sub-modul antena



**Gambar 9.** Hasil pengukuran VSWR sub-modul antenna



**Gambar 10.** Hasil pengukuran koefisien refleksi satu modul antenna



**Gambar 11.** Hasil pengukuran VSWR satu modul antenna

Gambar 8 dan 9 merupakan hasil pengukuran koefisien refleksi dan VSWR sub-modul antenna. Hasil pengukuran menunjukkan antenna memiliki nilai koefisien refleksi yang bagus yaitu di bawah -15 dB pada frekuensi 9,4 GHz yaitu -17,025 dB. Gambar 9 menunjukkan bahwa desain antenna memiliki frekuensi operasi 9,356-9,517 GHz dengan nilai VSWR kurang dari 1,5 sehingga *bandwidth* dari antenna desain 161 MHz. Sistem radar dirancang untuk beroperasi pada 9,4 GHz frekuensi. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa antenna telah dirancang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu pada frekuensi

9,4 GHz sub-modul antenna memiliki nilai VSWR sebesar 1,327.

Pengukuran dari empat antenna sub-modul yang telah digabungkan dengan menggunakan *power combiner/divider* juga diperlukan untuk memastikan proses penggabungan antenna dengan menggunakan *power combiner/divider* tidak mempengaruhi nilai koefisien refleksi dan antenna VSWR. Hasil pengukuran koefisien refleksi dan VSWR dari modul antenna ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11. Dari gambar dapat dilihat pengukuran hasil dari koefisien refleksi antenna dan VSWR masih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu antenna mempunyai nilai VSWR kurang dari 1,5 untuk frekuensi kerja 9,4 GHz.

Hasil pengukuran koefisien refleksi satu modul antenna pada frekuensi 9,4GHz diperoleh sebesar -16,174 dB yang ditunjukkan pada Gambar 10. Sedangkan nilai VSWR dari satu modul antenna pada frekuensi operasi 9,4 GHz yaitu 1,367 seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *power combiner/divider* tidak berpengaruh pada kinerja antenna.

#### 4.2. Pengukuran Gain

Metode pengukuran *gain* ada 2 macam yaitu pengukuran *absolute* dan pengukuran dengan pembandingan. Untuk pengukuran dengan pembandingan diperlukan antenna pembandingan dan juga estimasi *gain*. Antena yang sering digunakan sebagai referensi adalah antenna *dipole*  $\lambda/2$  dan antenna corong piramida (*horn*) [14].

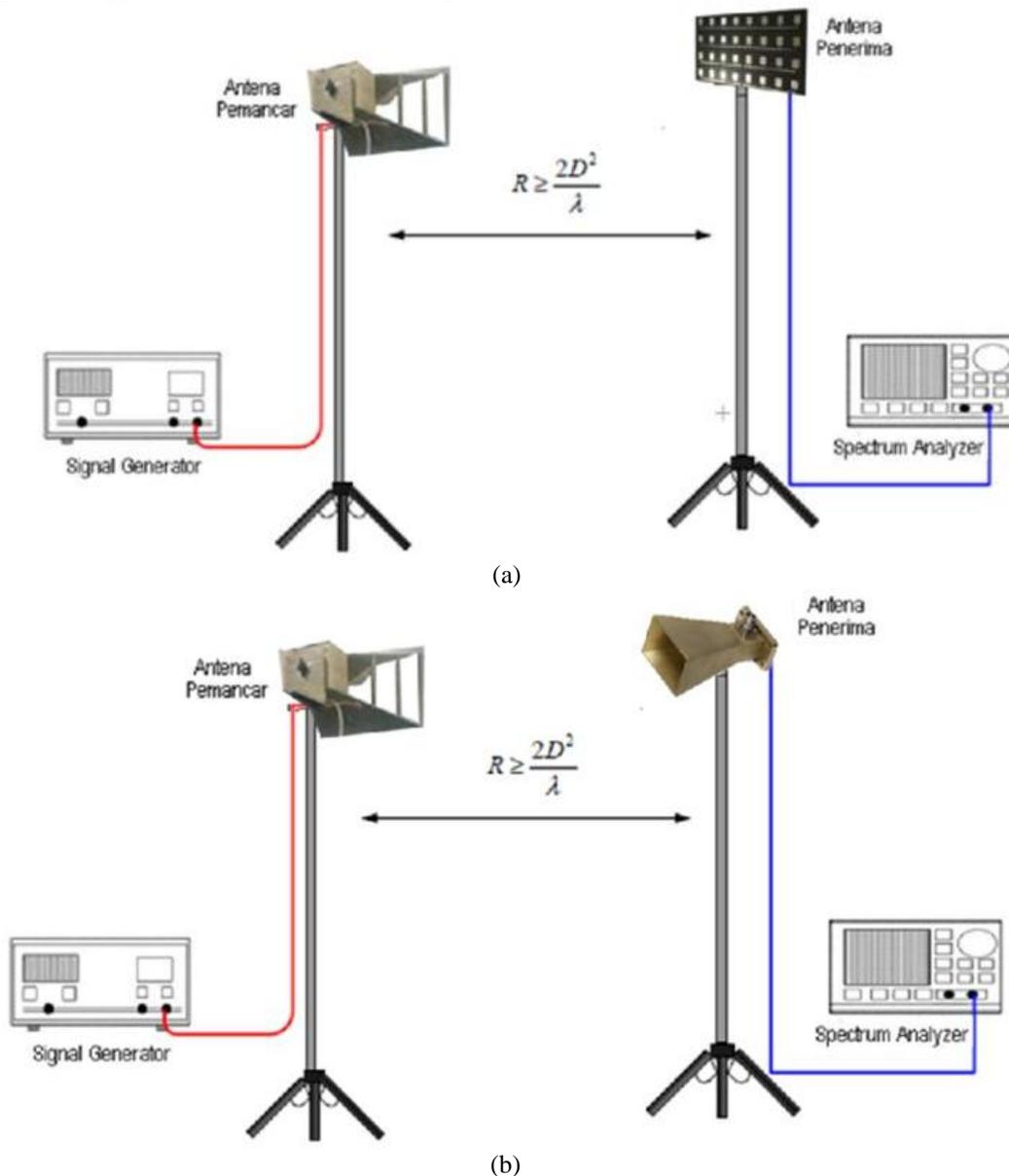
Pengukuran *gain* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode pembandingan yaitu dengan menggunakan antenna *horn* sebagai

antena referensi. *Port 1* dari *Signal Generator* dihubungkan ke Antena Sumber sebagai *Transmitter (Tx)* dan *Port 2* pada *Spectrum Analyzer* dihubungkan ke modul antenna dan antenna referensi yang bertindak sebagai *receiver (Rx)*. Konfigurasi pengukuran *gain* dapat dilihat pada Gambar 12. Jarak minimum medan jauh antara antenna pengirim dan antenna penerima dalam proses pengukuran *gain* dinyatakan dalam rumus sebagai berikut (14):

$$r_{\min} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (5)$$

Dimana:

- $r_{\min}$  = jarak minimum pemancar dengan penerima
- $D$  = dimensi terbesar dari antenna
- $\lambda$  = panjang gelombang



**Gambar 12.** Konfigurasi pengukuran *gain* (a). Modul Antena sebagai penerima, (b). Antena referensi sebagai penerima

**Tabel 1.** Hasil pengukuran *gain* satu modul antenna

No	Daya Terima Max AUT (dBm)	Daya Terima Max Referensi (dBm)
1.	-36.25	-47.27
2.	-36.46	-46.01
3.	-36.12	-47.38
4.	-35.31	-47.81
5.	-36.11	-46.68
6.	-36.02	-47.25
7.	-36.54	-47.05
8.	-36.61	-48.22
9.	-35.27	-47.19
10.	-36.43	-47.06
Average	-36.112	-47.192
<i>Gain</i> (dBi)	20.08	

Hasil pengukuran *gain* antenna ditunjukkan pada Tabel 1. Pengukuran *Gain* dilakukan dengan membandingkan penerimaan daya maksimum antenna radar dengan penerimaan daya maksimum antenna referensi. Pengukuran menggunakan antenna *horn* sebagai antenna referensi dengan frekuensi 9.4 GHz, sehingga pengukuran *gain* antenna yang diuji dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Ga(dBi) = Pa(dBm) - Ps(dBm) + Gs(dBi) \quad (6)$$

dimana:

$Pa$  (dBm) = Daya Terima Max AUT (dBm)

$Ps$  (dBm) = Daya Terima Max Referensi (dBm)

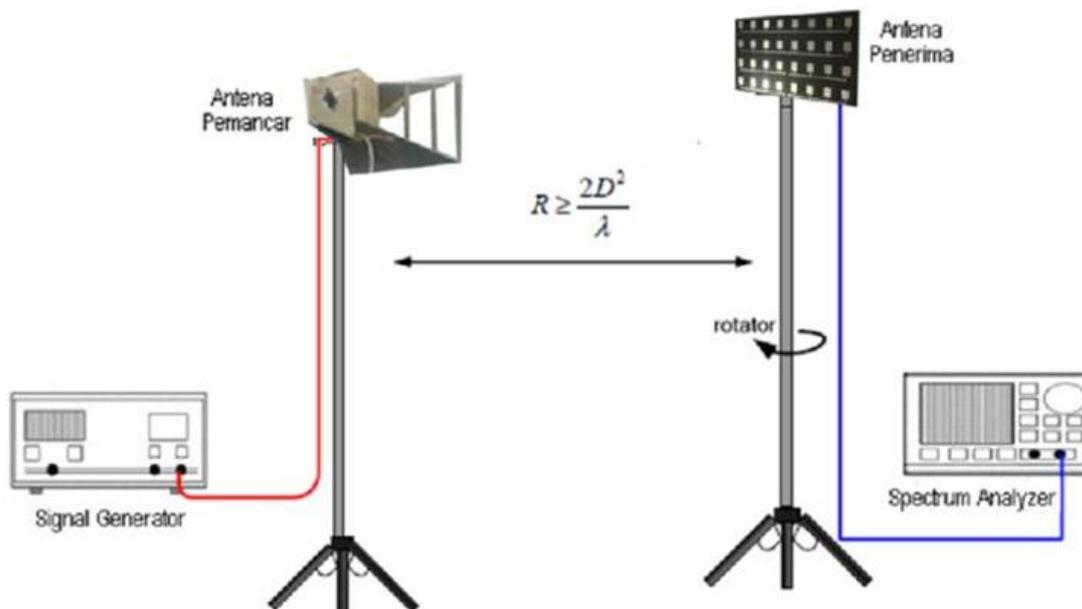
$Gs$  (dBi) = *Gain* antenna referensi

Untuk mendapatkan hasil yang akurat, pengukuran penerimaan daya maksimum dilakukan sebanyak sepuluh kali, kemudian diambil nilai rata-rata masing-masing daya yang diterima pada antenna radar dan antenna referensi, selanjutnya dari nilai rata-rata dapat dihitung *Gain* antenna radar. Hasil pengukuran *gain* satu modul antenna adalah 20,08 dBi.

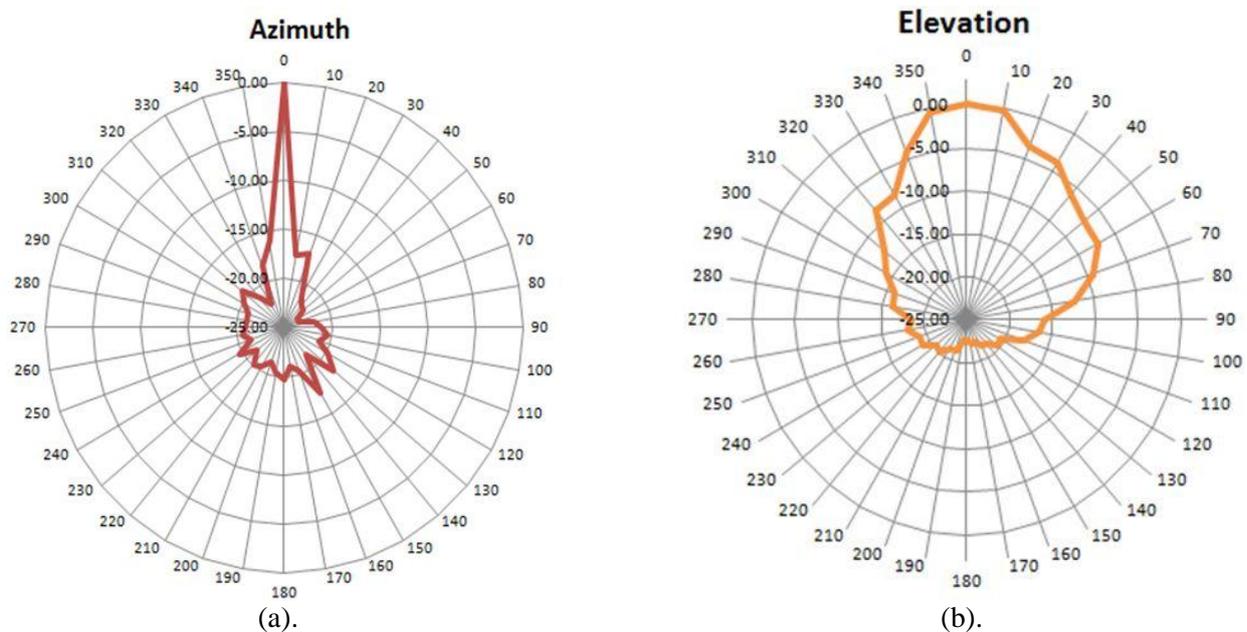
### 4.3. Pengukuran Pola Radiasi Antena

Pola radiasi antenna merupakan gambaran dari intensitas pancaran antenna sebagai fungsi koordinat bola ( $\Phi, \theta$ ). Pola radiasi diperoleh dengan membuat pola *elevation* ( $\Phi$  tetap,  $\theta$  variabel) atau pola *azimuth* ( $\Phi$  variabel,  $\theta$  tetap).

Pada pengukuran pola radiasi digunakan antenna *horn* sebagai pemancar dan antenna *under test* sebagai penerima. Antenna pemancar dihubungkan dengan *signal generator* sedangkan antenna penerima dihubungkan dengan *spectrum analyzer*. Berikut ini adalah gambar *setup* pengukuran pola radiasi.



**Gambar 13.** Konfigurasi pengukuran pola radiasi



**Gambar 14.** Hasil pengukuran pola radiasi satu modul antenna (a). *beamwidth azimuth*, (b). *beamwidth elevation*

Pengukuran satu modul antenna menghasilkan pola radiasi seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Gambar 14.(a) adalah *beamwidth azimuth* (horizontal) dari satu modul antenna yaitu sebesar 10° pada -3 dB, dan Gambar 14.(b) adalah *beamwidth elevation* (vertikal) dari satu modul antenna yaitu sebesar 20° pada -3 dB.

### 5. Analisis

Karakteristik modul antenna generasi kedua telah dipaparkan pada pembahasan 4. Berdasarkan hasil pengukuran maka perbandingan performansi antara modul antenna generasi pertama dan generasi kedua dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

**Tabel 2.** Perbandingan performansi modul antenna

Parameter	Generasi I	Generasi II
Dimensi (p x l)	57 x 190	89 x 188.96
Jumlah Patch	8 buah	32 buah
VSWR	1,0207	1.367
Koefisien Refleksi	-37,469dB	-16.174dB
Gain	15.4dB	20.08dB
<i>Beamwidth</i>		
Horizontal	10°	10°
<i>Beamwidth</i> Vertikal	106.6°	20°

Lebar modul antenna generasi pertama dan kedua mempunyai ukuran yang hampir sama yaitu 190mm, hal ini disebabkan karena masing - masing modul antenna terdiri dari 8 buah *patch* yang disusun secara horizontal. Panjang modul antenna generasi pertama berkisar dua pertiga dari panjang modul antenna generasi kedua. Penambahan panjang modul antenna generasi kedua merupakan kompensasi dari adanya susunan antenna secara vertikal.

Jumlah *patch* modul antenna generasi kedua empat kali lipat dari generasi pertama yaitu

sebanyak 32 buah. Tujuan dari penambahan *patch* pada arah vertikal untuk memperkecil *beamwidth* vertikal dan juga untuk meningkatkan *gain*.

Nilai VSWR modul antenna generasi pertama dan kedua menunjukkan bahwa antenna memenuhi spesifikasi desain antenna untuk radar yaitu dibawah 1,5 atau sebanding dengan nilai koefisien refleksi -14 dB. VSWR dan koefisien refleksi modul antenna generasi pertama menunjukkan nilai yang lebih baik, namun merupakan pengukuran pada frekuensi 9,4181 GHz. Hal ini menunjukkan modul antenna generasi pertama mengalami pergeseran frekuensi operasi dari spesifikasi yang diinginkan yaitu frekuensi kerja 9,4 GHz.

*Gain* modul antenna generasi kedua yaitu 20,08 dB, hal ini disebabkan karena dengan menyusun antenna secara *array* dapat meningkatkan *gain* antenna. Penambahan *gain* antenna dengan menyusun antenna secara *array* yaitu  $10\log N$ , dimana N merupakan jumlah *patch* antenna yang digunakan, sehingga peningkatan *gain* antenna berbanding lurus secara logaritmik dengan jumlah *patch* yang disusun *array*. Modul antenna sistem antenna radar generasi pertama menghasilkan *gain* sebesar 15,45 dB sehingga modul antenna sistem antenna radar generasi kedua yang didesain mempunyai *gain* yang lebih tinggi  $\pm 5$  dB.

Delapan *patch* yang tersusun secara horizontal pada modul antenna generasi pertama dan kedua menghasilkan *beamwidth* horizontal yang sama yaitu 10°. Perbedaan signifikan dapat dilihat pada *beamwidth* vertikal antenna. Dengan menambahkan susunan antenna secara vertikal pada modul antenna generasi kedua terbukti menghasilkan *beamwidth* vertikal lima kali lebih sempit dibandingkan modul antenna generasi pertama.

*Beamwidth* vertikal antenna sistem antenna radar generasi pertama sebesar  $20^\circ$ , nilai ini diperoleh dengan adanya penambahan reflektor sehingga pola radiasi antenna dapat terfokuskan pada sudut *beamwidth* tertentu. *Beamwidth* vertikal modul antenna sistem antenna radar generasi kedua sudah sama dengan generasi pertama yaitu  $20^\circ$ . Hal ini membuktikan bahwa susunan antenna secara vertikal dapat mempersempit *beamwidth* vertikal tanpa menggunakan reflektor.

## 6. Kesimpulan

Modul antenna untuk sistem antenna radar generasi kedua telah didesain dan dapat bekerja pada frekuensi 9.4 GHz. Modul antenna yang didesain mempunyai *gain* yang lebih tinggi dibandingkan dengan modul antenna untuk sistem antenna radar generasi pertama sehingga tidak memerlukan reflektor sebagai penambah *gain* antenna. Dengan menghilangkan reflektor pada sistem antenna maka sistem antenna generasi kedua mempunyai dimensi yang lebih ringan dibandingkan dengan generasi pertama. Penambahan susunan antenna ke arah vertikal juga mempengaruhi kinerja modul antenna yaitu di sisi *beamwidth* vertikal sehingga secara keseluruhan modul antenna generasi ke dua yang telah didesain mempunyai performansi yang lebih baik dari generasi pertama.

## Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didanai dari program Insentif Riset SINAS tahun 2015 oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia. Penulis berterima kasih kepada Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia, atas kerjasamanya.

## Daftar Pustaka

- [1] M.I. Skolnik, *Radar Handbook*, McGraw-Hill, 1990.
- [2] M.I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill, 2002.
- [3] S. Kingsley and S. Quegan, *Understanding Radar Systems*, CHIPS.
- [4] Leo P. Ligthart, *Short Course on Radar Technologies*, International Research Centre for Telecommunications-transmission and Radar, TU Delft, September 2005.
- [5] Balanis, Constantine A, *Antena Theory Analysis and Design*, 3rd edition, Willey Inc, 2005.
- [6] R. Garg, P. Bartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Norwood: Artech House, Inc., 2001.
- [7] V. R. Gupta and N. Gupta, *Characteristics of a Compact Microstrip Antenna*, Microwave and Optical Technology Letters, vol. 40, no. 2, pp. 158-160, 2004.

- [8] R. Mishra, P. Kuchhal, A. Kumar. *Effect of Height of the Substrate and Width of the Patch on the Performance Characteristics of Microstrip Antenna*. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). Vol. 5, No. 6, December 2015, pp. 1441-1445.
- [9] Muhammad Darsono, Endra Wijaya. *Circularly Polarized Proximity-Fed Microstrip Array Antenna for Micro Satellite*. TELKOMNIKA, Vol.11, No.4, December 2013, pp. 803-810.
- [10] Sri Hardiati, Yusuf Nur Wijayanto, Sulistyaningsih, Pamungkas Daud, *Pencatutan Antena Patch Array pada Aplikasi Radar Maritim*, industrial Electronics Seminar, Surabaya, 2008.
- [11] Pamungkas Daud, Yusuf Nur Wijayanto, Sulistyaningsih, Sri Hardiati, *Antena Mikrostrip Patch Array untuk Aplikasi Sistem Radar Maritim*, Pemaparan Hasil Litbang Ilmu Pengetahuan Teknik IV, Bandung, 2008.
- [12] Pamungkas Daud, Yuyu Wahyu, Mashury, Folin Oktafiani, Sulistyaningsih, Sri Hardiati, *Desain dan Realisasi Struktur Penunjang Fisik Sistem Antena Radar Pantai*, Seminar Radar Nasional 2008, Jakarta, 2008.
- [13] Garge Ramesh, *Microstrip Antena Design Handbook*, Artech House Inc, 2001.
- [14] John D. Kraus, *Antennas for All Application* 3rd Edition, New delhi: Tata MC Graw-Hill Publishing Company Limited, 2003.

