

ANTENA MIKROSTRIP ARRAY SUSUNAN 8 X 1 PETAK BERLIAN UNTUK RADAR PENGAWAS UDARA PITA-S

DIAMOND PATCH MICROSTRIP 8 X 1 ARRAY ANTENNA FOR S-BAND AIR SURVEILLANCE RADAR

Nafis Ahmad Sulthoni¹, Heroe Wijanto², Yussi Perdana Saputera³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

¹nafisas.student.telkomuniversity.ac.id, ²heroew@telkomuniversity.ac.id,

³yussips@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sebuah sistem navigasi yang baik sangat dibutuhkan untuk menunjang padatnya aktivitas transportasi udara dan laut Indonesia. Teknologi radar pengawas memungkinkan untuk dapat memonitor aktivitas penerbangan dan pelayaran yang berlangsung di wilayah Indonesia. Radar pengawas udara adalah sistem radar yang digunakan untuk mendeteksi dan menampilkan posisi penerbangan dan pelayaran yang berlangsung. Antena merupakan komponen penting dalam sistem teknologi radar. Pada penelitian ini dirancang antena mikrostrip susunan 8×1 patch diamond untuk radar pengawas udara dengan frekuensi S-band. Antena ini diinginkan bekerja pada frekuensi 2,8 GHz dengan gain 6 dB, lebar pita 60 MHz untuk return loss ≤ -10 dB dan VSWR (Volt Standing Wave Ratio) ≤ 2 , serta memiliki polarisasi linier. Antena ini merupakan antena mikrostrip dengan patch Diamond yang disusun dengan metoda array. Metode array digunakan untuk meningkatkan besaran gain yang akan dihasilkan.

Perancangan antena dilakukan dengan simulasi perangkat lunak dan direalisasikan menggunakan substrate FR-4 Epoxy yang memiliki konstanta dielektrik $\epsilon_r = 4,6$ dan ketebalan $h = 1,6$ mm. Dari hasil simulasi antena bekerja pada frekuensi tengah 2,8 GHz dihasilkan gain 6,66 dB, dan axial ratio 30,6 dB sehingga antena tersebut merupakan antena berpolarisasi linier. Pada realisasi antena didapatkan hasil pengukuran return loss -19,4 dB dan VSWR (Volt Standing Wave Ratio) 1,24 pada frekuensi tengah. Pada pengukuran realisasi didapat juga bandwidth sebesar 104 MHz pada return loss ≤ -10 dB dan VSWR (Volt Standing Wave Ratio) ≤ 2 , gain sebesar 5,78 dB, dan polarisasi elips dengan axial ratio 13,3 dB.

Kata Kunci: Antena Mikrostrip, Susunan 8×1, Petak Berlian, Radar Pengawas Udara Pita - S

Abstract

A good navigation system is needed to support the density of Indonesia's air and sea transportation activities. Supervision radar technology allows monitoring the flight and shipping activities taking place in Indonesian waters. Air Surveillance Radar is a radar utilized to detect and show flight and sailing position which are happening in terminal area. This research objective is to design 8×1 patch diamond antenna with frequency of 2.8 GHz for S-Band air surveillance radar. S-Band is one of the frequencies set by ITU for radar air and coastal surveillance purposes. The S-Band frequency used for the watchdog radar is 2.8 GHz. Antenna is an important component in the radar technology system. In this research, diamond patch microstrip 8x1 array antenna for Sband air surveillance radar was designed. This antenna has to work at 2.8 GHz of frequency with 6 dB of gain, 60 MHz of bandwidth for ≤ -10 dB and VSWR (Volt Standing Wave Ratio) ≤ 2 , and also has linear polarization. This antenna is a microstrip antenna with diamond patch that arranged with array method. Array method was applied to increase the number of gain that will be resulted.

The designing of the antenna was done by software simulation and realized FR-4 Epoxy substrate that has dielectric constant $\epsilon_r = 4,6$ and thickness $h = 1,6$ mm. From the simulation result, when the antenna worked at middle frequency 2,8 GHz it resulting gain value of 6,66 dB and axial ratio of 30,6 dB, therefore the antenna is a linear polarized antenna. On the realized antenna, the result of the return loss is -19,4 dB and the VSWR (Volt Standing Wave Ratio) is 1,24 at the middle frequency. Also, at the realization measurement the bandwidth resulted was 104 MHz on return loss ≤ -10 dB and VSWR (Volt Standing Wave Ratio) ≤ 2 , the gain is 5,78 dB, and ellipse polarization with axial ratio is 13,3 dB.

Keywords: *Antenna Microstrip, Array 8×1 , Patch Diamond, Air Surveillance Radar S-Band*

1. Pendahuluan

Air Surveillance Radar (ASR) atau radar pengawas udara merupakan radar yang digunakan untuk memantau pergerakan transportasi udara pada saat memasuki/keluar wilayah tertentu atau hanya melintasi suatu wilayah udara, sehingga pergerakan yang terjadi dapat selalu dimonitor dan dipandu [1]. Untuk kawasan ASEAN, wilayah Indonesia adalah yang paling luas. Sementara itu luas wilayah laut Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) sesuai dengan yang telah ditetapkan dalam UNCLOS 1982 diperkirakan mencapai 5,8 juta km² atau kurang lebih 2/3 dari total luas wilayah. Saat ini radar pengawas udara milik Indonesia masih belum dapat mencakup semua wilayah udara NKRI dan jumlah radar di Indonesia juga masih sedikit[3].

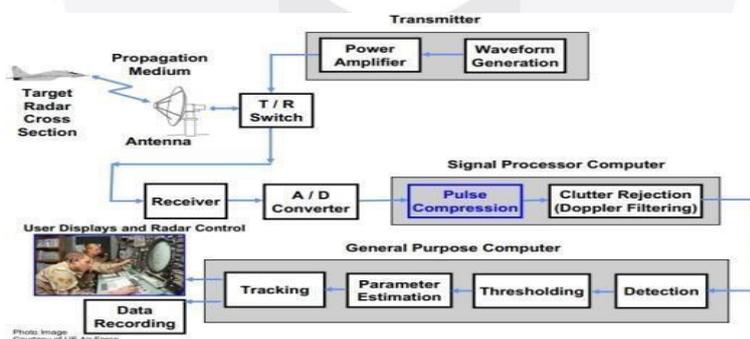
Pengamanan dan pengawasan wilayah NKRI yang terdiri dari kurang lebih 17.504 pulau dengan 2/3 wilayah terdiri dari lautan memerlukan aparat dan peralatan yang berjumlah sangat besar. Kemampuan TNI dan Polri untuk mengawasi sangat terbatas sehingga wilayah Indonesia rawan akan pelanggaran wilayah oleh kapal-kapal asing, pembajakan kapal dan penyelundupan. Wilayah udara Indonesia (terutama Indonesia timur) juga rawan akan penyusupan oleh pesawat udara asing. Salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan aparat pemerintah dalam mengawasi dan mengamankan wilayah NKRI adalah dengan menggunakan Radar pengawas udara. Radar ini digunakan untuk mengawasi pergerakan transportasi udara dan transportasi laut sehingga dapat mencegah tindakan-tindakan yang dapat merugikan NKRI.

Pada tugas akhir ini, peneliti merancang dan mengimplementasikan sebuah antenna pada sistem radar pengawas udara. Radar ini menggunakan frekuensi S-band dengan frekuensi kerja 2,8 GHz. Jenis antenna yang digunakan yaitu *mikrostrip* dengan menambahkan *array 8×1* dengan menggunakan distribusi *uniform* untuk mempersempit *beamwidth* dan meningkatkan *gain*, serta dengan bentuk *patch* berbentuk *diamond*.

2. Dasar Teori

Radar (Radio Detection and Ranging) adalah sebuah sistem yang bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dan mendeteksi sinyal balikan dari sebuah objek [2]. Radar digunakan untuk mendeteksi dan melacak objek pada jarak tertentu. Radar bekerja dengan cara memancarkan gelombang elektromagnetik kearah objek dan mendeteksi sinyal pantulan (echo) dari objek tersebut untuk selanjutnya diproses sedemikian rupa, sehingga menampilkan data atau informasi terkait objek yang diamati

Blok diagram radar secara umum dapat dipresentasikan pada gambar 2.1-1. Sistem radar terbagi atas dua bagian utama yaitu transmitter (pemancar) dan receiver (penerima). Hasil deteksi radar akan ditampilkan oleh user display unit yang mengolah sinyal yang diterima dari bagian receiver menjadi suatu gambar yang dapat diinterpretasikan dan dimanfaatkan untuk beragam kepentingan. Ada antenna kontrol yang berfungsi mengatur agar gerakan antenna sesuai dengan tampilan dilayar dari display unit. Signal Processor Computer berfungsi untuk menyesuaikan sinyal-sinyal yang dikirimkan oleh transmitter dengan tampilan yang diinginkan display unit. Salah satu bagian dari sistem radar adalah antenna yang berfungsi sebagai transformator. Antenna akan menyalurkan gelombang radio di udara dan akan merubah gelombang elektromagnetik menjadi gelombang listrik[12].



Gambar 2.1Prinsip kerja radar[12]

Airport Surveillance Radar (ASR) atau radar pengawas di bandara merupakan radar pengawasan dengan jarak menengah (misalnya, 60 mil laut) yang digunakan untuk pengontrolan pesawat di sekitar bandara. Radar jenis ASR memiliki jangkauan deteksi 70-100 km pada pesawat kecil, periode scan 4 sampai 5 detik, beroperasi di S-band. ASR9, merupakan jenis ASR yang dirancang di Amerika Serikat oleh Westing-house yang dikembangkan pada tahun 1980. Karakteristik penting dari ASR selain jangkauan deteksi, adalah resolusi, data rate, kemampuan

untuk memproses dan memberikan data output pada puluhan target dalam volume scan, serta keandalan yang tinggi. [4]



Gambar 2.2 Air Surveillance Radar (SAR)[4]

S-band merupakan frekuensi yang memiliki banyak keuntungan untuk aplikasi radar jarak menengah. Radar cuaca di *S-band* menyediakan data yang akurat pada tingkat curah hujan, dan beamwidth yang dicapai dengan antena berukuran sedang membuat band frekuensi ini cocok untuk radar multifungsi dan khususnya radar pelacakan / instrumentasi. Sebagian besar Airport Surveillance Radar (ASR) beroperasi pada frekuensi *S-band*.

Pada kebanyakan radar, jangkauan frekuensi spesifik yang digunakan biasanya tidak diperlihatkan. Namun huruf telah dimanfaatkan untuk menunjukkan jangkauan pita frekuensi yang digunakan radar. IEEE (*Institut of Electrical and Electronic Engineer*) telah menyusun standar penggunaan nomenklatur jangkauan pita frekuensi radar. Dapat ditunjukkan pada tabel :

Tabel 2. 1 Frekuensi Radar[5]

Pita	Rentang frekuensi	<i>International Telecommunications Union (ITU)</i> menentukan wilayah spesifik pada (radar)
HF	3 - 30 MHz	
VHF	30 - 300 MHz	138 - 144 MHz
		216 - 225 MHz
UHF	300 - 1000 MHz	420 - 450 MHz
		890 - 942 MHz
L	1 - 2 GHz	1215 - 1400 MHz
S	2 - 4 GHz	2,3 - 2,5 GHz
		2,7 - 3,7 GHz
C	4 - 8 GHz	4,2 - 4,4 GHz
		5,25 - 5,925 GHz
X	8 - 12 GHz	8,5 - 10,68 GHz
Ku	12 - 18 GHz	13,4 - 14,0 GHz
		15,7 - 17,7 GHz
K	18 - 27 GHz	24,05 - 24,25 GHz
		24,65 - 24,75 GHz

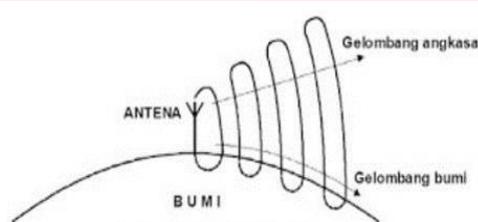
Ka	27 - 40 GHz	33,4 - 36,0 GHz
V	40 - 75 GHz	59,0 – 64,0 GHz
W	75 - 110 GHz	76,0 - 81 GHz

2.2 Antena Mikrostrip

Antena adalah suatu perangkat yang terbuat dari konduktor yang mampu memancarkan dan menerima gelombang radio dari suatu gelombang yang terbawa menjadi tidak terbawa maupun sebaliknya, antena merupakan rangkaian resonansi yang istimewa[6].

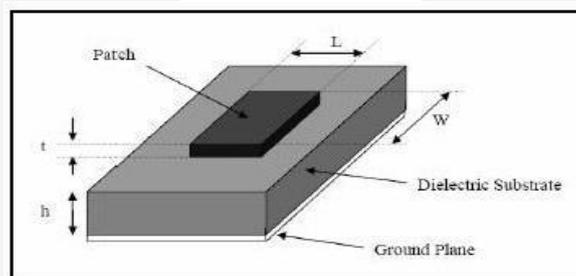
Tujuan utama antenna untuk membuat arus listrik yang berfrekuensi tinggi, sesuai dengan jumlah energy yang tersedia. Dengan menghasilkan frekuensi yang tinggi antenna berfungsi sebagai transformator antara saluran transmisi dengan gelombang ruang bebas.

Pada antenna parameter yang penting untuk suatu aplikasi, yaitu adalah gain, polarisasi, pola radiasi, dan resonansi frekuensi. Pada umumnya parameter ini baik ketika menjadi pemancar (peradiasi) maupun menjadi penerima untuk suatu frekuensi, polarisasi dan bidang tertentu.



Gambar 2.3 Konsep Dasar Antena.

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang berbentuk papan (board) tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi[7]. Antena mikrostrip dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah lapisan struktur dari substrat. Lapisan-lapisan tersebut adalah konduktor, dielektrik, groundplane.

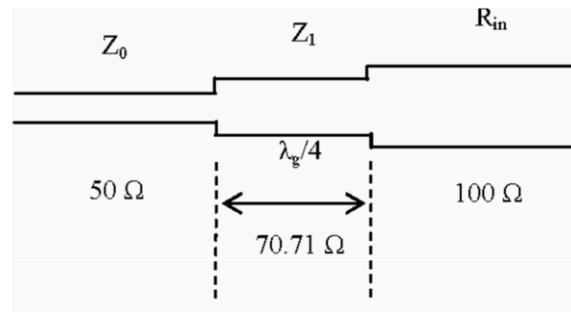


Gambar 2.4 Elemen dasar antena mikrostrip[7].

2.4 Penyesuaian Impedansi

Proses perancangan antena erat kaitannya dengan *matching impedance*. Saluran transmisi pada antena dapat dikatakan *match* atau sesuai apabila tidak ada gelombang yang terpantul kembali antara daerah saluran beban atau dengan kata lain $Z_0 = Z_L$. Dimana Z_0 adalah impedansi karakteristik pada umumnya bernilai 50 ohm, sedangkan Z_L adalah impedansi beban, pada kasus ini beban yang dimaksud adalah antena. Saluran transmisi berfungsi sebagai *transfer* daya, sehingga dibutuhkan *matching* antara beban dan saluran transmisi agar daya yang dikirimkan sempurna atau maksimum[10].

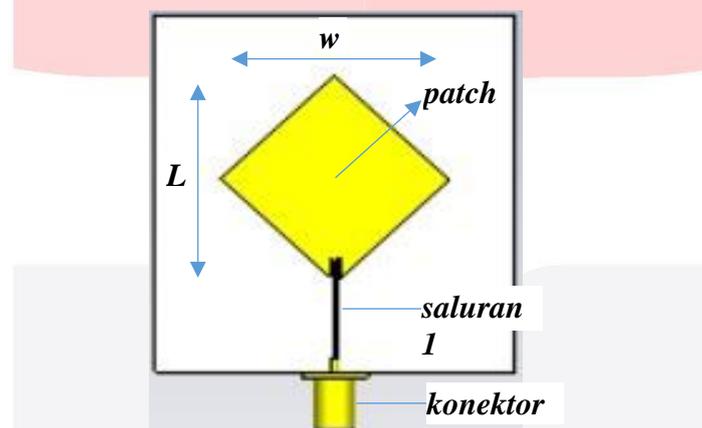
Z_0 merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 ohm. Z_L merupakan impedansi beban, beban dapat berupa antena atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekuivalen Z_L . Karena kegunaan utama saluran transmisi adalah untuk mentransfer daya secara sempurna, maka beban yang *matched* sangat diperlukan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk mendapatkan kondisi yang *matching*, yaitu dengan cara menambahkan transformator $\lambda/4$ [10].



Gambar 2.5 Transformator $\lambda/4$ [10]

2.5 Patch Diamond

Patch diamond merupakan sebuah variasi dari bentuk antena *patch bowtie*. Variasi tersebut menjadikan *patch diamond* lebih unggul dalam *bandwidth* dan karakteristik radiasi *impulse*[13]. Tidak seperti *patch bowtie*, *patch diamond* tidak memerlukan penyesuaian *balun* untuk menyesuaikan 50Ω feeds. Kualitas ini yang menjadikan *patch diamond* sangat cocok pada pengaplikasian UWB. Antena mikrostrip *patch diamond* ini sudah pernah digunakan untuk pencitraan penembus dinding, pencitraan penetrasi dedaunan, dan pendeteksi intrusi[14].

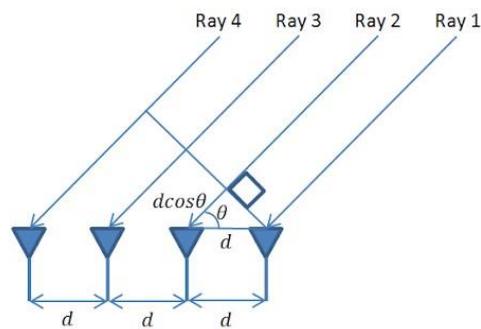


Gambar 2.6 Geometri *patch diamond*¹

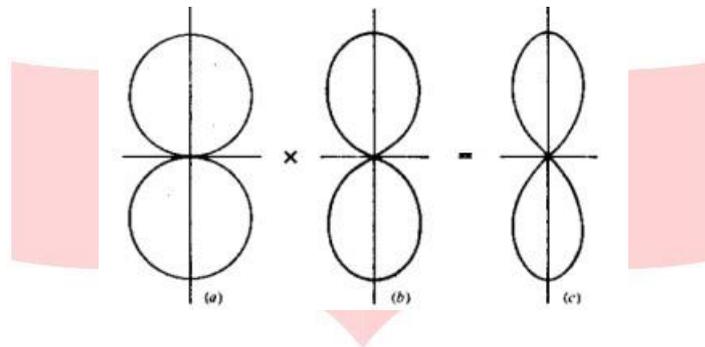
2.6 Antenna Array^[12]

Antena *array* atau disebut antena susunan yang terdiri dari beberapa elemen antena yang dikelompokkan membentuk satu antena. Pengelompokkan elemen antena menghasilkan beberapa keuntungan seperti meningkatkan efisiensi, direktivitas dan *gain* pada antena. Permasalahan yang terjadi pada antena dengan *single* elemen seperti *gain* yang dihasilkan rendah dan bentuk radiasi yang lebar tidak dapat menjadi solusi akan perkembangan *long distance communication*. Untuk menyelesaikan masalah ini salah satu solusi yang bisa dilakukan adalah dengan memperbesar elemen pada antena mikrostrip. Namun, dengan diperbesarnya ukuran elemen, akan membuat dimensi antena mikrostrip tidak fleksibel dan akan mengkonsumsi banyak ruang untuk penempatannya. Cara lain yang bisa dilakukan tanpa memperbesar ukuran *patch* adalah dengan menambahkan elemen *patch*. Antena dengan banyak elemen ini disebut dengan antena *array*.

Ada banyak macam konfigurasi dari susunan antena *array*, salah satunya adalah konfigurasi *uniform linear array*. Konfigurasi ini meletakkan antena yang tersusun dengan jumlah yang relatif banyak yang terdiri dari elemen yang identik dan disusun pada satu garis atau satu bidang dengan jarak yang seragam dan seringkali dengan sistem feed yang seragam. Skema *uniform linear array* dapat dilihat pada Gambar 2.9. menunjukkan observasi medan jauh pada sumbu z dengan jarak (r) dan sudut antar bidang (θ). Gambar 2.10 menunjukkan perkalian diagram antara medan antena *single element* dengan *array factor* dari medan antena 2 elemen *array isotropic* yang menghasilkan medan total pada setiap sudut dan fasa[14].



Gambar 2.7 Uniform linier Array[15][16]



Gambar 2.8 Perkalian diagram Antena *Single Element* dengan *Array Factor* yang menghasilkan medan total pola array [15][16]

3. Perancangan Sistem

3.1 Langkah Perancangan Sistem

Merancang antenna dengan menggunakan metode antenna diamond mikrostrip array 8 x 1 untuk meloloskan frekuensi tengah 2,8 GHz memerlukan beberapa tahapan kerja sebagai berikut:

1. Studi pendahuluan dan identifikasi masalah. Langkah pengerjaan dapat dilihat pada Gambar 3.2 Langkah kerja dimulai dari melakukan studi parameter sistem *Airport Surveillance Radar*. menentukan spesifikasi antenna yang diperlukan untuk sistem tersebut.
2. Perancangan Antena dengan frekuensi 2,8 Ghz. Frekuensi kerja pada radar ini adalah 2,8 GHz. Setelah mendapatkan spesifikasi antenna yang dibutuhkan, maka melakukan perhitungan dimensi antenna mikrostrip dengan menggunakan persamaan tertentu.
3. Penentuan dimensi *patch* dan posisi pencatu elemen tunggal. Setelah mendapatkan dimensi dari hasil perhitungan, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* simulasi perancangan antenna, jika hasil $VSWR \leq 2$ dan $return\ loss \leq -10\ dB$ belum sesuai spesifikasi, maka dilakukan optimasi terhadap dimensi antenna *single patch* melakukan simulasi dengan *patch* antenna elemen tunggal
4. Membuat array 2 elemen serta literasi jarak antar elemen dan dimensi pencatu. Langkah selanjutnya melakukan desain antenna array 2 elemen dan jika nilai $VSWR$, $return\ loss$, $bandwidth$ dan $axial\ ratio$ belum memenuhi spesifikasi, maka dilakukan optimasi pada jarak antar elemen dan dimensi pencatu hingga memenuhi dan $gain$ yang dicapai lebih besar dari desain antenna sebelumnya. Membuat array 4 elemen serta literasi jarak antar elemen dan dimensi pencatu. Jika hasil simulasi 2 elemen menghasilkan $return\ loss \leq -10\ db$ dan $vswr \leq 2$ maka dengan langkah yang sama dengan antenna array 4 elemen
5. Membuat array 4 x 1 elemen serta literasi jarak antar elemen dan dimensi pencatu diamond. Jika hasil simulasi 4 elemen sesuai dengan yang diharapkan lalu dilakukan simulasi lagi dengan mengatur antara antenna dengan pencatu menjadi 4 x 1 yaitu 4 elemen antenna dengan satu saluran transmisi. Apabila hasil simulasi telah sesuai maka antenna tersebut direalisasikan dan dilakukan pengukuran. Jika hasil pengukuran itu jauh dari hasil simulasi maka dilakukan optimasi pengukuran. Jika hasil pengukuran mendekati hasil simulasi maka dapat dianalisis dan membuat kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan.

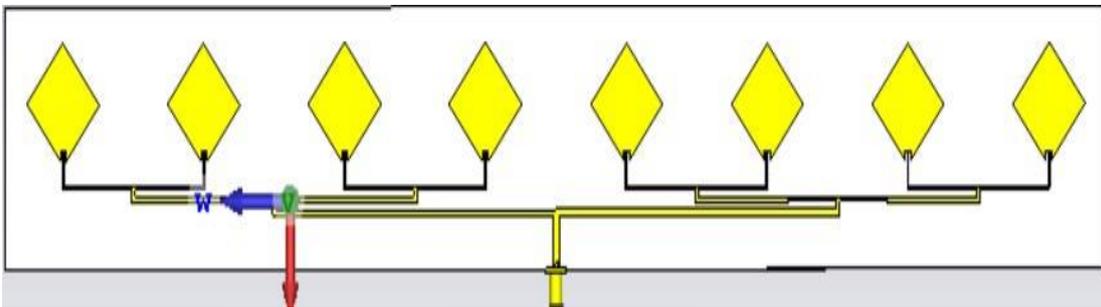
6. Membuat *array* 8×1 elemen serta literasi jarak antar elemen dan dimensi pencatu diamond. Jika hasil simulasi 8 elemen sesuai dengan yang diharapkan lalu dilakukan simulasi lagi dengan mengatur antara antenna dengan pencatu menjadi 8×1 yaitu 8 elemen antenna dengan satu saluran transmisi. Apabila hasil simulasi telah sesuai maka antenna tersebut direalisasikan dan dilakukan pengukuran. Jika hasil pengukuran itu jauh dari hasil simulasi maka dilakukan optimasi pengukuran. Jika hasil pengukuran mendekati hasil simulasi maka dapat dianalisis dan membuat kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan.

3.2 Penentuan Spesifikasi Antena

Merancang Antena diharuskan mengetahui spesifikasi dari antenna yang akan dibuat, seperti frekuensi kerja, VSWR, *Return loss*, impedansi, polarisasi, pola radiasi dan *gain*. Adapun spesifikasi yang diperlukan dalam perancangan antenna pada tugas akhir ini sebagai berikut[7]:

- Desain antenna : *Antenna Microstrip Array 8x1 Element*
- Metode : *Array 8×1 Uniform*
- Frekuensi Kerja : 2,8 GHz
- VSWR : ≤ 2
- Pola Radiasi : Unidireksional
- Polarisasi : Linier
- Gain : ≥ 6 dB
- Impedansi : 50Ω
- Bandwidth : ≥ 60 MHz
- Return loss : ≤ -10 dB

3.1.1 Simulasi Antena 8 Elemen



Gambar 3.1 Desain Antena Susunan 8 Elemen *Patch Diamond*

3.3 Hasil Simulasi Antena 8 Elemen

Tabel 3. 1 hasil optimasi dimensi antenna 4 elemen dengan penambahan elemen parasitik

Parameter	Keterangan	Sebelum optimasi (mm)	Setelah optimasi (mm)
Lp	Lebar Diamond	36,20	34
Pp	Panjang Diamond	36,20	34
Tg	Tebal Groundplane	0,035	0,035
ST3_L	Lebar feedline 50	1,6	1,6
ST3_P	Panjang feedline 50	16	16
L_sl	Lebar slot	1	1
P_sl	Panjang slot	11	11
Ts	Tebal Substrat	1,60	1,60
D	jarak antar patch	31	32
ST1_P	Panjang Feedline 100	15	15
ST1_L	Lebar Feedline 100	0,60	0,60

ST2_P	Panjang feedline 70.71	15	14,94
ST2_L	Lebar feedline 70.71	1,60	0,62

4. Hasil Realisasi dan Pengukuran

4.1 Analisis Hasil Pengukuran Return loss dan Bandwidth

Pada gambar berikut menunjukkan hasil dari pengukuran *return loss*. Pada antenna mikrostrip *array* 8x1 *patch diamond* ini mempunyai hasil pengukuran nilai *return loss* -19,465 dB *Bandwidth* merupakan rentang frekuensi dimana antenna dapat bekerja dengan baik. Pada Tugas Akhir ini nilai bandwidth ditinjau dari kurva return loss, bandwidth simulasi pada frekuensi 2.8 GHz mendapatkan hasil yang memenuhi kedalam spesifikasi yaitu 133 MHz, dan bandwidth pengukuran pada frekuensi 2.8 GHz mendapatkan hasil memenuhi kedalam spesifikasi yaitu 104 MHz.



Gambar 3.2 Hasil Pengukuran *Return Loss* dan *Bandwidth*

4.2 Hasil Pengukuran Gain

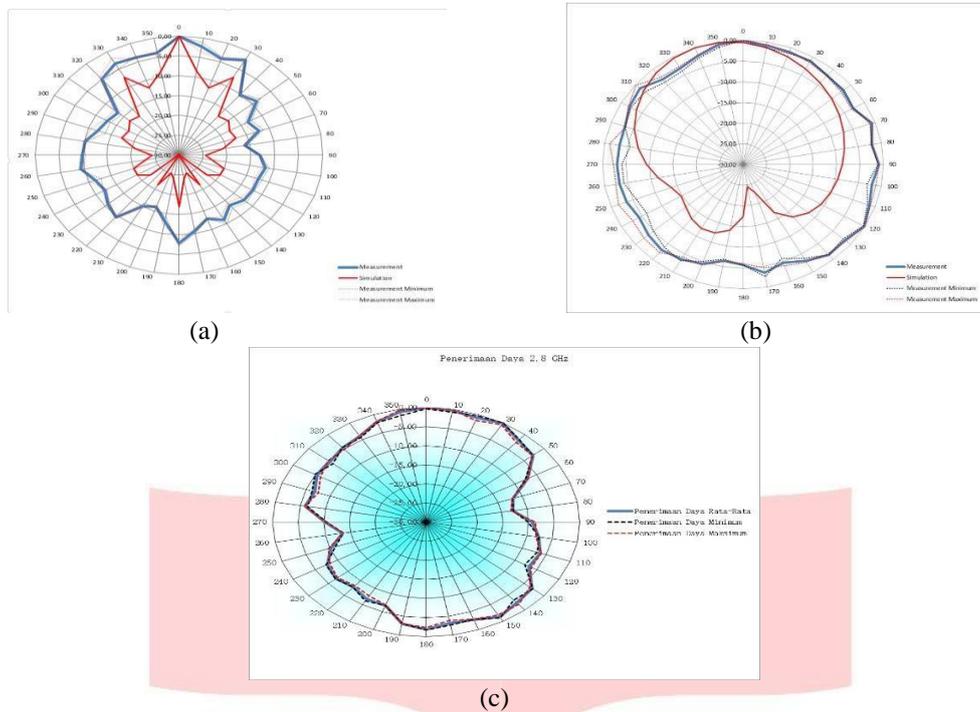
Dari hasil pengukuran diatas, maka dapat diketahui *Gain*. Besarnya *Gain*, ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Daya terima pengukuran *Gain*

Pengukuran	Antena	
	P_{AUT} (-dB)	P_{REF} (-dB)
Rata-Rata	-49,852	-43,64
Gain	5,788 dB	

4.4 Hasil dan Analisa Pola Radiasi dan Polarisasi

Pengukuran pola radiasi azimuth dan elevasi dari antenna dilakukan dengan menempatkan antenna uji sebagai antenna penerima. Antenna yang sedang diuji dilakukan perputaran pada sudut azimuth dan sudut elevasi. Setelah itu, dilakukan pengambilan data daya terima yang diukur pada *Spectrum Analyzer*. Untuk membandingkan dengan pola hasil radiasi dan pengukuran dapat dibandingkan seperti:



Gambar 4.2 Pola Radiasi (a) Azimuth(b) Elevasi (c) Polarisasi

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berikut ini kesimpulan yang dapat diambil dari proses perancangan dan realisasi antenna *array* 8x1 *patch diamond* untuk *Air Surveillance* sebagai berikut

1. VSWR hasil realisasi pada frekuensi tengah 2,8 GHz dari pengukuran 1,24 dan simulasi 1,11 tidak berbeda jauh dan masih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.
2. Gain yang di dapatkan pada pengukuran sebesar 5,78 dB, lebih rendah dari hasil simulasi 6,66 dB dan sudah mencapai spesifikasi harapan sebesar ≥ 6 dB.
3. Polarisasi hasil realisasi mengalami perubahan dari linier menjadi elips dengan axial ratio 13,3 dB.
4. *Bandwidth* hasil realisasi mengalami penurunan dari simulasi selebar 133 MHz menjadi 104 MHz namun masih dalam batas spesifikasi kebutuhan selebar 100 MHz.

5.2 Saran

Agar mendapatkan performa yang lebih baik, terdapat beberapa hal yang dapat dipertimbangkan yaitu:

1. Melakukan pengukuran kembali di lingkungan yang lebih terkontrol seperti suhu, udara, kelembaban, dan melakukan pengukuran di ruangan *anechoic chamber*.
2. Melakukan studi kelayakan bahan dan verifikasi spesifikasi bahan
3. Memastikan ketelitian pada saat fabrikasi antenna dan pada saat penyolderan komponen-komponen agar mendapatkan hasil yang lebih presisi dan maximal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Dewi, "Rancang Bangun Dual Band Planar Inverted F-Antenna (PIFA) untuk aplikasi WIMAX 2,3 GHz dan 3,3 GHz," *J. Univ. Indones.*, pp. 5–6, 2009.
- [2] ISSN, "Rectangular Patch Array untuk Sistem Antena Radar Pantai," *Pros. Semin. Radar Nas.*, pp. 116–118, 2008.

- [3] Radarnational.org, "Radar sebagai mata pengawas wilayah NKRI," 2018.
- [4] Christian Wolf, "Radar tutorial : Air Surveillance Radar," *Wolff,Christian*, 2018. [Online]. Available: Aradartutorial.eu/02.basics/rp31.en.html. [Accessed: 23-Oct-2019].
- [5] Radar Systems Electronic Systems Society, "IEEE Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands," *IEEE Std 521-2002 (Revision IEEE Std 521-1984)*, 2003.
- [6] Faizal Firmansyah, "Rancang Bangun Desain Antena PIFA (Planar Inverted F-Antenna) untuk Penangkapan Daya Elektromagnetik pada Frekuensi GSM 900 MHz dan DCS 1800 MHz dengan Metode Electromagnetic Harvesting," *J. Tek. POMITS*, vol. 1, 2012.
- [7] I. Surjati, *Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya*, Universita., vol. 01, no. I. Jakarta, 2010. [8] K.-L. Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*. 2002.
- [9] Yussi Perdana Saputera, "Antena Patch Array untuk Portable Coastal Radar pada Frekuensi S-Band," *J. Elektron. dan Telekomun.*, vol. 13, 2013.
- [10] Hafsin Habiebie Tanjung, "Antena Array 6×2 dengan Penambahan Pertubasi dan Pengaturan Distribusi Daya pada Saluran Transmisi Paralel untuk Aplikasi Medium Power Radar S Band," *J. Univ. Telkom*, 2019.
- [11] M. Rashid, A. Kumar, and A. Singh Virk, "Planar Internal Antenna Design for Cellular Applications & SAR Analysis," *Int. J. Eng. Res. Dev.*, 2015.
- [12] Lina Marlina, "Perancangan dan Realisasi Antena Array Helix 1×8 pada Frekuensi S-Band untuk Radar Pengawas Udara," *J. Univ. Telkom*, 2019.
- [13] M. G. Amin, *Through-the-wall: Radar imaging*. 2017.
- [14] H. G. Schantz and L. Fullerton, "The diamond dipole: A Gaussian impulse antenna," in *IEEE Antennas and Propagation Society, AP-S International Symposium (Digest)*, 2001.
- [15] Wijanto, A. M. Y. and H. (2016).Antena Susunan 1×8 Mikrostrip Bentuk-E Untuk Synthetic Aperture Radar Pita Ganda C-Band dan X-Band Pada UAV. 65, 0–8. Wijanto, A. M. Y. and H. (2016).
- [16] M. Wahab, Y. Wahyu, P. Adhi, . Y. P. Saputera, F. Y. Z. and E. T. R. (n.d.). *Desain dan Implementasi Antena Generasi I untuk Litbang Konsorsium Radar. 2012*, 123–130.