

ANTENA SUSUNAN LINIER 1X4 MIKROSTRIP PATCH SIRKULAR UNTUK CP-SAR (CIRCULARLY POLARIZED SYNTHETIC APERTURE RADAR) L-BAND

1X4 LINIER ARRAY CIRCULAR PATCH MICROSTRIP ANTENNA FOR L-BAND CP-SAR (CIRCULARLY POLARIZED APERTURE RADAR)

Maulana Fathur Muhamad¹, Heroe Wijanto², Desti Madya Saputri³

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

¹fathurmaulana@student.telkomuniversity.ac.id, ²heroe@telkomuniversity.co.id,

³destimadyasaputri@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

CP-SAR adalah sensor penginderaan jarak jauh yang dapat digunakan untuk mendapatkan citra bumi dengan resolusi yang tinggi tanpa dipengaruhi oleh cuaca dan cahaya. Penelitian ini merancang antenna susunan 1x4 patch sirkular dengan frekuensi 1,27 GHz untuk CP-SAR. Perancangan antenna dilakukan pada frekuensi 1,27 GHz karena memiliki penetrasi yang lebih baik melalui kanopi vegetasi dan salju, selain itu frekuensi 1,27 GHz dapat menghasilkan informasi yang berguna untuk membedakan suatu karakteristik dari permukaan bumi. Pemilihan patch sirkular karena memiliki direktivitas yang lebih tinggi dan Antena Array untuk meningkatkan gain. CP-SAR sendiri merupakan perkembangan dari LP-SAR yang dimana CP-SAR mampu memberikan performa lebih baik dengan mengecilnya loss yang terjadi selama propagasi, sehingga dimungkinkan CP-SAR lebih kecil dari SAR pada umumnya karena dapat mengurangi efek rotasi faraday.

Perancangan antenna dilakukan dengan simulasi menggunakan software dan direalisasikan dengan substrate FR-4 Epoxy dengan konstanta dielektrik $\epsilon_r = 4,6$ dan ketebalan $h = 1,6$ mm. Pada hasil simulasi antenna bekerja pada frekuensi tengah 1,27 GHz menghasilkan gain 7,45 dB, dan axial ratio 2,2 dB sehingga antenna tersebut merupakan antenna berpolarisasi sirkular. Antena yang dihasilkan memiliki polarisasi pada LHCP (Left Handed Circularly Polarized) pada rentang frekuensi 1,27 GHz. Pada realisasi antenna mendapatkan hasil pengukuran baik nilai return loss maupun VSWR, masing-masing bernilai dibawah -10 dB dan 2, dimana return loss -14,47 dB dan VSWR 1,46. Pada pengukuran realisasi didapat juga bandwidth sebesar 87,5 MHz dan gain sebesar 6,716 dBic

Kata Kunci: CP-SAR, L-Band, Antena Mikrostrip Patch Sirkular, Antena Linier Array

Abstract

CP-SAR is remote sensing sensor that can be used to obtain high resolution images of earth without the intervention of the weather and light. This study discusses circular patch 1x4 array linier antenna with 1.27 GHz frequency for CP-SAR. Antenna design is carried out at frequency of 1.27 GHz because it has better resolution through the canopy of vegetation and snow, besides that a 1.27 GHz frequency can produce useful information to distinguish characteristics from the earth's surface. Circular patch choice because it has a higher directivity and Array Antenna to increase gain. CP-SAR itself is a development of LP-SAR where CP-SAR is able to provide better performance by reducing the losses that occur during propagation, this allowing CP-SAR to be smaller than SAR when it can be used to improve the effects of faraday play.

Antenna design is done by simulation using software and realized with FR-4 Epoxy substrate with dielectric constant $\epsilon_r = 4.6$ and thickness $h = 1.6$ mm. On the simulation results the antenna works at 1.27 GHz middle frequency resulting in a gain of 7.45 dB, and an axial ratio of 2.2 dB so that this antenna is a circular polarized antenna. The result are antenna polarized on LHCP (Left Handed Circularly Polarized) at a frequency range of 1.27 GHz. In the realization of the antenna get the result of both return loss and VSWR values, the value of each result below -10 dB and 2, the value of return loss -14.47 dB and VSWR 1.46. in the realization measurement also obtained bandwidth of 87.5 MHz and a gain of 6.716 dBic

Keywords: CP-SAR, L-Band, Antenna microstrip circular patch, Antenna Array

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi mengenai permukaan bumi sangat dibutuhkan untuk menunjang dalam pengelolaan sumber daya alam. Seperti melakukan pemantauan terhadap perubahan-perubahan yang terjadi pada kondisi alam sekitar, pemantauan, dan lain-lain. Teknologi penginderaan jarak jauh (*remote sensing*) yaitu suatu pengukuran atau perolehan data pada objek di permukaan bumi dari satelit atau instrument lain di atas jauh dari objek yang diindera. Teknologi ini memiliki banyak manfaat, namun dalam teknologi ini masih memiliki kekurangan yakni, tidak dapat menangkap citra dengan baik apabila cahaya dan cuaca tidak dalam keadaan baik. *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yaitu penginderaan jarak jauh menggunakan radar imaging, sehingga dapat

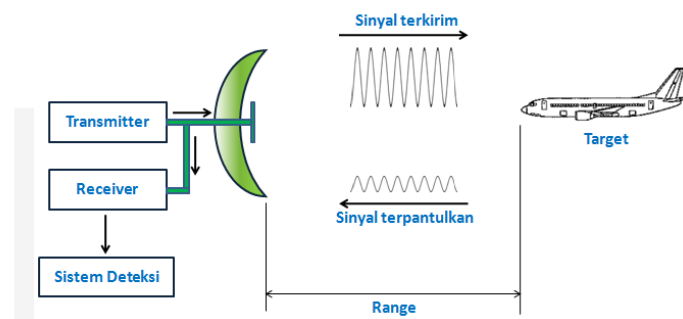
mengatasi permasalahan tersebut dengan cara memanfaatkan antenna yang berfungsi sebagai sensor yang dapat dioperasikan pada malam hari, serta memungkinkan untuk menembus awan.

CP-SAR (*Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar*) merupakan perkembangan dari teknologi SAR. CP-SAR adalah salah satu sensor penginderaan jarak jauh yang dapat digunakan untuk mendapatkan citra bumi dengan resolusi tinggi tanpa adanya gangguan cuaca dan cahaya, dengan polarisasi sirkular, loss yang terjadi selama propagasi dapat lebih kecil dibanding dengan polarisasi linier[1]. CP-SAR sendiri dapat meminimalisir perubahan karakteristik gelombang yang dipancarkan akibat dari efek rotasi faraday pada atmosfer, sehingga daya yang dibutuhkan tidak terlalu besar. Karena daya berkurang maka dimensi antenanya lebih kecil. Efek rotasi faraday yaitu pergerakan gelombang elektromagnetik karena pengaruh adanya ion-ion di atmosfer [2] [3]

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.

Radar sudah lama dikembangkan untuk kepentingan militer dan non-militer dengan cara kerjanya seperti mendapatkan citra bumi, tracking, pemantauan, remote sensing, dan pemosisian global [2]. Cara lain untuk mencapai resolusi yang lebih baik dari radar adalah pemrosesan pada sinyal. *Synthetic Aperture Radar* adalah suatu teknik yang menggunakan pemrosesan sinyal untuk meningkatkan sebuah resolusi melampaui dari batasan yang ada pada umumnya. SAR memungkinkan kemungkinan menggunakan panjang gelombang yang lebih panjang dan masih mencapai resolusi yang baik dengan struktur antenna yang sesuai [4].



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Radar [4]

Prinsip RADAR dalam pengukuran jarak dari suatu target dilakukan dengan arah miring (*side looking*). Nilai jarak (R) didapatkan dengan akumulasi tempuh (Δ) yang diperlukan oleh gelombang saat dipancarkan, sehingga antenna menerima echo, dan kecepatan cahaya (c). Akumulasi dengan menggunakan kecepatan cahaya karena prinsip radar menggunakan frekuensi tinggi sehingga sifat gelombang elektromagnetik yang dipancarkan menyerupai sifat dari gelombang cahaya, maka kecepatan dihasilkan menyerupai kecepatan cahaya. Sehingga jarak antara sensor dengan suatu objek yang berada di permukaan bumi dapat diketahui[4].

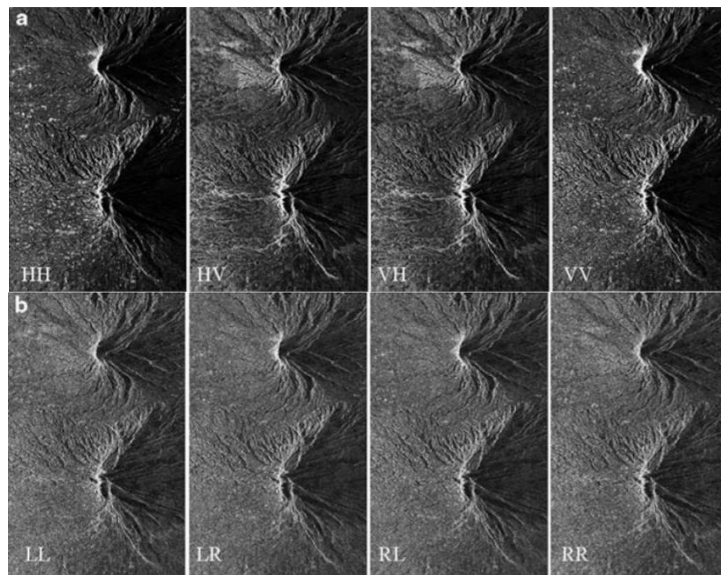
$$R = \frac{c\Delta t}{2} \quad (2.1)$$

2.1 CP-SAR (*Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar*)

SAR menggunakan sensor antenna yang memiliki polarisasi gelombang yang dipancarkan berbentuk LP-SAR (*Linearly polarized Synthetic Aperture Radar*). Gelombang dengan polarisasi LP-SAR akan mengalami efek rotasi Faraday pada lapisan ionosfer yang dapat merubah polarisasi gelombang saat proses ditransmisikan dan mengenai permukaan bumi. Hal ini menyebabkan sinyal pantul yang diterima oleh antenna ketika di proses ke tahap selanjutnya menyebabkan kualitas data citra antenna yang dihasilkan dapat menurun. Selain itu, efek rotasi faraday menyebabkan redaman propagasi menjadi tinggi sehingga membutuhkan daya yang tinggi juga untuk dapat memancarkan gelombang elektromagnetik[1].

CP-SAR dapat mengatasi permasalahan tersebut, karena CP-SAR adalah salah satu sensor penginderaan jarak jauh yang dapat digunakan untuk mendapatkan citra bumi dengan resolusi tinggi tanpa dipengaruhi oleh cahaya dan cuaca[1]. Dengan polarisasi sirkular, loss yang terjadi selama propagasi dapat lebih kecil sehingga dimungkinkan CP-SAR memiliki ukuran yang lebih kecil dari SAR pada umumnya. Polarisasi melingkar terbagi menjadi dua, yaitu *Left Hand Circular Polarization* (LHCP) dan *Right Hand Circular Polarization* (RHCP). LHCP dapat terjadi ketika beda fasanya sebesar $+\frac{\pi}{2}$ sebaliknya jika beda fasa tersebut $-\frac{\pi}{2}$ maka polarisasi yang terjadi

yaitu RHCP. CP-SAR ditempatkan pada benda yang relatif bergerak terhadap permukaan bumi[5]. Perbandingan antara SAR dengan CP-SAR dapat dilihat pada gambar 2.2a dan 2.2b[6].



Gambar 2.2 (a) Hasil citra dengan antenna berpolarisasi linier; (b) Hasil citra dengan berpolarisasi sirkular [6]

2.2 Proximity Coupled

Proximity coupled feeding terdiri dari dua lapisan substrat dielektrik. Antena mikrostrip patch terletak di atas substrat atas dan garis mikrostrip catuan terletak di atas substrat yang lebih rendah seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 ini adalah catuan non kontak langsung, catuan ini dilakukan melalui kopling elektromagnetik yang terjadi antara patch dan mikrostrip. Kedua parameter substrat dapat dipilih berbeda dari satu sama lain untuk meningkatkan kinerja antenna. Namun perlu pe-matching-an.



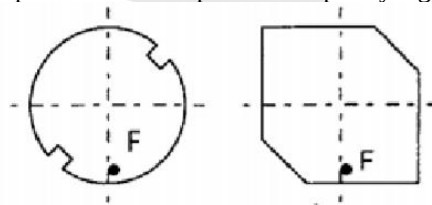
Gambar 2.3 Proximity Coupled

2.3 Teknik Menghasilkan Polarisasi Sirkular

Polarisasi Sirkular dapat dihasilkan jika dua mode gelombang merambat saling tegak lurus dengan beda fasa 90° . Untuk menghasilkan gelombang yang berpolarisasi sirkular, secara umum dapat dilakukan dengan memodifikasi bentuk dan dimensi *patch* baik dengan satu catuan atau lebih[7][8].

2.3.1 Single Feed

Pada antenna dengan bentuk *patch* sederhana, jika diberi satu catuan saja, maka akan dihasilkan gelombang dengan polarisasi linier. Untuk itu diperlukan Teknik pertubasi seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Single Feed dengan Slotted Patch (kiri) dan Truncated Patch (kanan)[7].

2.4 Antena Array Linier

Antena Array atau disebut antenna susunan yang terdiri dari beberapa elemen antenna yang dikelompokkan membentuk satu antenna. Pengelompokkan elemen antenna menghasilkan beberapa keuntungan seperti meningkatkan efisiensi, direktivitas dan *gain* pada antenna. Antena array pada umumnya tersusun atas beberapa

elemen peradiasi berupa susunan geometri dengan metode susunan tertentu sehingga didapatkan pola radiasi yang diinginkan. Ada banyak macam konfigurasi dari susunan antenna *array*, salah satunya adalah konfigurasi *array* linier. Konfigurasi ini meletakkan antenna pada satu garis lurus. Skema *array* linier dapat dilihat pada Gambar 2.6. menunjukkan observasi medan jauh pada sumbu z dengan jarak (r) dan sudut antar bidang (θ). Medan total seperti pada persamaan (2.10) dapat diobservasi dengan menggunakan perkalian medan antenna *single element* dengan faktor pengali *array* atau biasa disebut *array factor*. Hal ini juga berdasarkan perkalian diagram untuk *array* dengan elemen yang identik. Adapun persamaan seperti pada (2.10)[9].

$$E = f(\theta, \phi)F(\theta, \phi) < fp(\theta, \phi) + Fp(\theta, \phi) \quad (2.1)$$

dengan,

$f(\theta, \phi)$ = Diagram medan dari *single element*

$fp(\theta, \phi)$ = Diagram fasa dari *single element*

$F(\theta, \phi)$ = Diagram medan dari *single element*

$Fp(\theta, \phi)$ = Diagram fasa dari *single element*

Dari persamaan tersebut medan *array isotropic* didapatkan dari *array factor* untuk 2 elemen *array* seperti pada persamaan (2.11)[9].

$$AF = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kdcos\theta + \beta) \right] \quad (2.2)$$

Untuk medan total sudut pada sudut dan fasa maksimum yang dihasilkan dari perkalian diagram memiliki persamaan pada (2.12).

$$E (total) = [E(single\ element\ at\ reference\ point)] \times [array\ factor] \quad (2.3)$$

Array factor (AF) pada konfigurasi antenna *array linier* menentukan pola radiasi dan besar tingkat daya yang diradiasikan[9]. Persamaan *array factor* terlihat pada persamaan (2.13) dengan jumlah *array* N-elemen.

$$AF_N = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\phi}$$

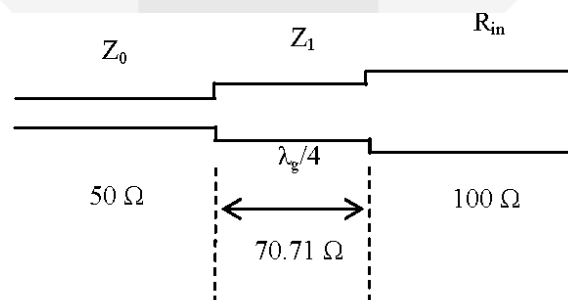
dimana,

$$\phi = kd \cos \theta + \beta$$

2.5 Penyesuaian Impedansi

Perancangan antenna tidak terlepas dari penyesuaian impedansi (*impedansi matching*). Tujuan utama dari penyesuaian impedansi adalah unruk menyesuaikan satu ke impedansi yang lain agar terjadi konektifitas antar media. Media disini dapat diartikan sebagai suatu rangkaian yang berupa suatu saluran transmisi, dan beban atau penerima. Bila impedansi kedua media tersebut tidak sama, maka akan terdapat daya yang dipantulkan. Daya pantul ini dapat mengurangi daya yang dikirimkan. Akibatnya daya yang sampai pada penerima menjadi sangat kecil dan kemungkinan tidak dapat dideteksi oleh penerima. Suatu jalur transmisi dikatakan *matched* apabila karakteristik $Z_o = Z_L$ atau dengan kata lain tidak ada refleksi yang terjadi pada ujung saluran beban.

Z_o merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 ohm. Z_L merupakan impedansi beban, beban dapat berupa antenna 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].

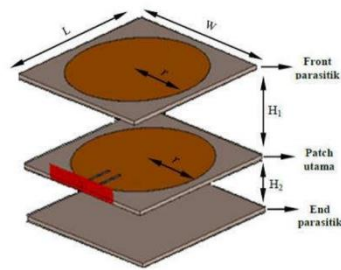


Gambar 2.5 Transformator $\lambda/4$ [10]

2.6 Elemen Parasitik pada Mikrostrip

Penambahan elemen adalah salah satu teknik pembuatan mikrostrip yang menumpuk dua atau lebih *patch* antenna. Hal ini dilakukan agar dapat terjadi peningkatan *gain* pada antenna tersebut. Salah satu jenis antenna ini

adalah *front-end parasitic*, dimana terdapat *front parasitic* radiator berupa *patch* tanpa catuan yang ditempatkan di depan antenna utama untuk meningkatkan *gain* dengan memfokuskan *beamwidth*. Selain itu juga terdapat *end parasitic* yang berfungsi untuk menurunkan *back lobe* sehingga berakibat pada peningkatan *gain* antenna[11].



Gambar 2. 6 Susunan Antena Parasitik[11][7]

3. Perancangan Sistem

3.1 Langkah Perancangan Sistem

Dalam perancangan antenna susunan 1x4 mikrostrip *patch* sirkular L-Band 1.27 GHz untuk CP-SAR ini akan dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

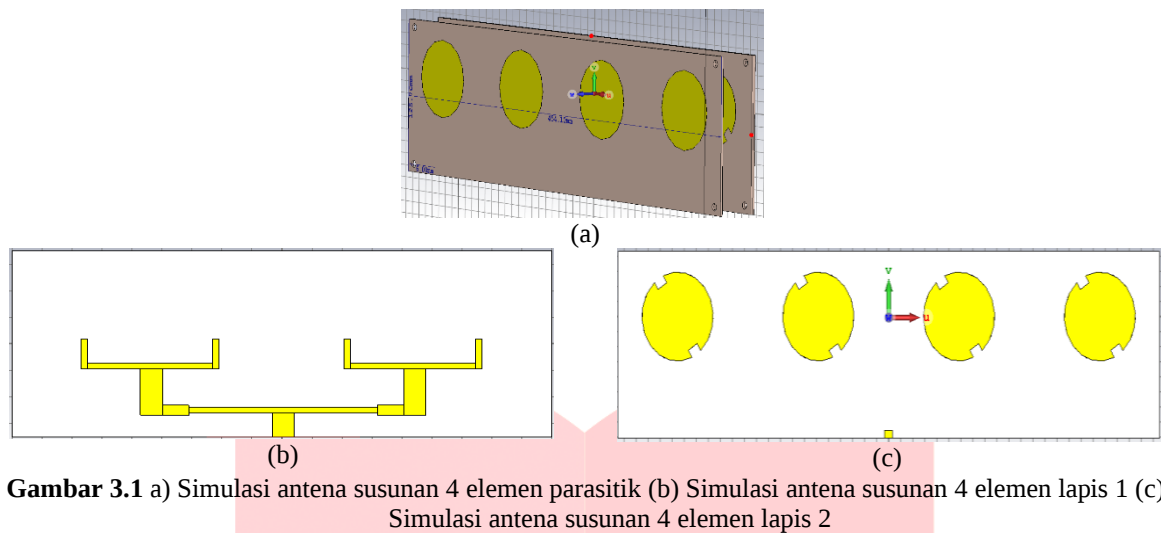
- **Penentuan spesifikasi antenna**
Dalam penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya, dimana spesifikasi yang ingin dicapai adalah spesifikasi *gain* yang lebih tinggi dengan menggunakan metode antenna susunan yang diharapkan dapat meningkatkan *direktivitas* terhadap pola radiasi. Spesifikasi yang ditinjau meliputi frekuensi kerja, *bandwidth*, *return loss*, VSWR, pola radiasi, polarisasi dan *gain*.
- **Perancangan menggunakan software**
Dengan menggunakan *software* perancang antenna, bentuk antenna dapat disimulasikan mulai dari bentuk *ground plane*, substrat, *patch*, dan *feed* secara gambar tiga dimensi. Selain itu, simulasi bertujuan untuk menunjukkan hasil simulasi yang berupa parameter-parameter antenna. Parameter-parameter inilah yang akan dianalisis untuk mengetahui karakteristik serta kinerja dari antenna, serta akan dibandingkan antara hasil simulasi yang didapat dengan spesifikasi awal antenna
- **Fabrikasi sesuai hasil software**
Fabrikasi merupakan tahap realisasi dari hasil optimasi perancangan antenna menggunakan *software* yang telah dilakukan sebelumnya.
- **Pengukuran dan Analisis**
Setelah antenna sudah direalisasikan, langkah selanjutnya adalah pengukuran untuk validasi. Apabila hasil pengukuran sudah valid, maka selanjutnya dilakukan analisis. Analisis yang dilakukan adalah membandingkan hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

3.2 Penentuan Spesifikasi Antena

Prosedur perancangan Antena susunan linier mikrostrip *patch circular* dengan catuan *proximity coupled* untuk CP-SAR ini dimulai dari penentuan spesifikasi perangkat yang diinginkan. Adapun spesifikasi yang diperlukan dalam perancangan antenna pada tugas akhir ini sebagai berikut [7]:

- | | |
|---------------------|--------------------|
| a) Desain antenna | : Linier Array 1x4 |
| b) Jenis antenna | : Linier Array |
| c) Frekuensi Kerja | : 1 – 2 GHz |
| d) Frekuensi tengah | : 1.27 GHz |
| e) VSWR | : ≤ 2 |
| f) Pola Radiasi | : Unidireksional |
| g) Polarisasi | : Circular |
| h) Gain | : ≥ 7.45 dB |
| i) Impedansi | : 50Ω |
| j) Bandwidth | : 50 MHz |

3.1.1 Simulasi 4 elemen *proximity coupled* dengan teknik *matching impedance*



3.3 Hasil optimasi 4 elemen menggunakan parasitik

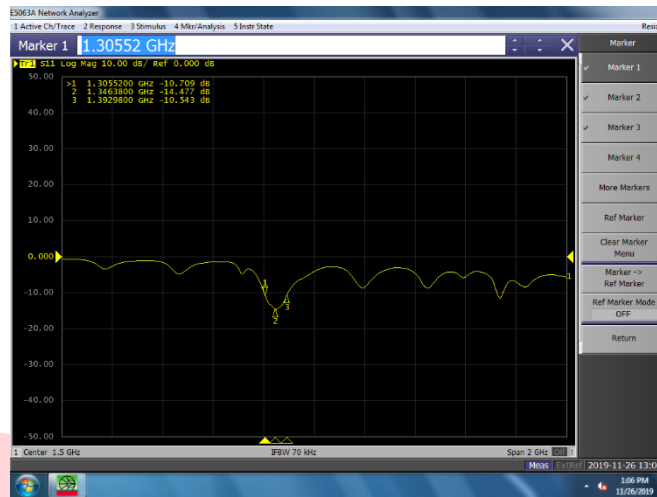
Tabel 3. 1 hasil optimasi dimensi antenna 4 elemen dengan penambahan elemen parasitik

Parameter	Dimensi (mm)	Keterangan
Lg	125	Panjang Groundplane
Wg	454	Lebar Groundplane
Ls	125	Panjang Substrate
Ws	454	Lebar substrate
R	29.85	Jari-jari patch
Wt	6.8	lebar slotted
D	117	Jarak antar elemen
W1	4.65	Lebar saltran 1 (100 ohm)
W2	5.854	Lebar saltran 2 (70.7 ohm)
W3	6	Lebar saltran 3 (50 ohm)
L1	14.07	Panjang saltran 1 (100 ohm)
L2	35.75	Panjang saltran 2 (70.7 ohm)
L3	26.36	Panjang saltran 3 (50 ohm)
dp	30	Jarak front parasitic
Lt	8.7	Panjang slotted

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 parasitik *array linier proximity coupled* ini mempunyai hasil pengukuran nilai *return loss* -14,47 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 1,27 GHz mendapatkan hasil yang memenuhi kedalam spesifikasi yaitu 71,5 MHz, dan *bandwidth* simulasi pada frekuensi 1,34 GHz mendapatkan hasil memenuhi kedalam spesifikasi yaitu 87,4 MHz.



Gambar 3.2 Hasil Pengukuran Return Loss dan Bandwidth

4.2 Hasil Pengukuran Gain

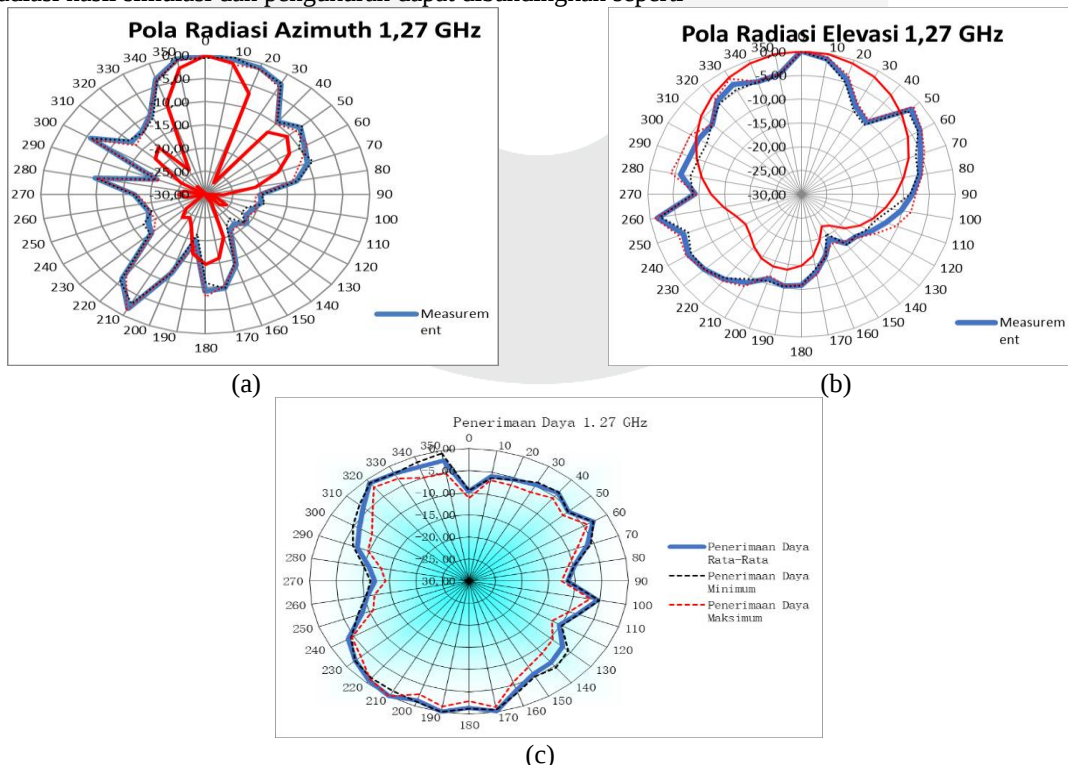
Dari hasil pengukuran diatas, maka dapat diketahui *Gain*. Besarnya *Gain*, ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Daya terima pengukuran *Gain*

Pengukuran	Antena	
	P_{AUT} (-dBm)	P_{REF} (-dBm)
Rata-Rata	-43,414	-38,13
Gain	6,716 dBi	

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 radiasi hasil simulasi dan pengukuran dapat dibandingkan seperti



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

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berikut ini kesimpulan yang dapat diambil dari proses perancangan dan realisasi antenna *array* linier 1×4 *patch* sirkular untuk CP-SAR sebagai berikut

1. Dalam perancangan ini menggunakan Teknik Antena susunan linier karena teknik ini cukup cocok dengan kebutuhan spesifikasi antenna, karena antenna susunan linier dapat dijadikan solusi untuk peningkatan *gain* dan *direktivitas*.
2. Penggunaan Teknik *Proximity Coupled* sangat cocok dengan kebutuhan spesifikasi antenna karena antenna dapat memiliki *bandwidth* yang lebar.
3. Penggunaan Teknik pertubasi seperti *Slotted Patch* juga merupakan Teknik yang memiliki performa baik yang dapat meningkatkan *gain* 0,13% lebih tinggi dan dapat merubah *axial ratio* yang lebih baik
4. *Bandwidth* hasil realisasi mengalami peningkatan yang cukup tinggi dari simulasi sebesar 71,5MHz menjadi 87,4 MHz dikarenakan frekuensi yang bergeser.

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. Lakukan fabrikasi semaksimal mungkin apabila menggunakan Teknik *proximity coupled* dikarenakan sangat rentan bergeser frekuensinya apabila salah dalam desain film dan juga pemotongan substrat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. R. Akbar, S. S. J. Tetuko, and H. Kuze, "A novel circularly polarized synthetic aperture radar (CP-SAR) system onboard a spaceborne platform," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 31, no. 4, pp. 1053–1060, 2010.
- [2] E. F. Knott, *The Radar Handbook*. 1990.
- [3] A. D. Novella, H. Wijanto, and A. D. Prasetyo, "Dual-feed circularly polarized microstrip antenna for S-Band transmitter of Synthetic Aperture Radar (SAR) system," *14th Int. Conf. QiR (Quality Res. QiR 2015 - conjunction with 4th Asian Symp. Mater. Process. ASMP 2015 Int. Conf. Sav. Energy Refrig. Air Cond. ICSERA 2015)*, pp. 4–7, 2016.
- [4] R. Sar, "AN INTRODUCTION TO SYNTHETIC APERTURE RADAR (SAR) Y. K. Chan and V. C. Koo," *Electromagnetics*, vol. 2, no. 6, pp. 27–60, 2008.
- [5] "DEVELOPMENT OF CIRCULARLY POLARIZED SYNTHETIC APERTURE RADAR ONBOARD UNMANNED AERIAL VEHICLE (CP-SAR UAV) Josaphat Tetuko Sri Sumantyo Center for Environmental Remote Sensing , Chiba University , 1-33 , Yayoi-cho , Inage-ku , Chiba-shi," vol. 2903857, pp. 4762–4765, 2012.
- [6] E. J. M. Rignot, "Effect of Faraday rotation on L-band interferometric and polarimetric synthetic-aperture radar data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 38, no. 1 II, pp. 383–390, 2000.
- [7] F. Heryanto and A. D. Prasetyo, "PARASITIK BERPOLARISASI SIRKULAR UNTUK CP-SAR S-BAND DATA TRANSMITTER CIRCULARLY POLARIZED MICROSTRIP ANTENNA WITH CIRCULAR PATCH AND PARASITIC ELEMENT FOR CP-SAR S-BAND DATA TRANSMITTER."
- [8] "Antenna theory," *IEEE Antennas Propag. Soc. Newsl.*, vol. 25, no. 2, pp. 21–22, 1983.
- [9] A. M. Yusuf and H. Wijanto, "ANTENA SUSUNAN 1 × 8 MIKROSTRIP BENTUK-E UNTUK SYNTHETIC APERTURE RADAR PITA GANDA C-BAND DAN X-BAND PADA UAV E-SHAPED MICROSTRIP ANTENNA ARRAY 1 × 8 FOR DUAL-BAND SYNTHETIC APERTURE RADAR C-BAND AND X-BAND ON UAV," vol. 65, pp. 0–8.
- [10] S. Gamawati, E. Lestari, H. Wijanto, and Y. Wahyu, "Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Bentuk E Modifikasi Dengan Elemen Parasit Untuk Radio Altimeter Pada Design and Realization of Modified E-Shape Microstrip Antenna With Parasitic Elements for Radio Altimeter At 4 . 2 – 4 . 4 Ghz," vol. 2, no. 2, pp. 2498–2504, 2015.
- [11] T. Mulia and M. Sidik, "Peningkatan Gain Antena Mikrostrip Lingkaran Menggunakan Parasitic Radiator," vol. 3, no. July, pp. 1–5, 2015.