

RANCANG BANGUN ANTENA *MICROSTRIP* ARRAY DENGAN TEKNIK PENCATUAN *PROXIMITY COUPLER* UNTUK SENSOR *CIRCULAR POLARIZED* *SYNTHETIC APERTURE RADAR* (CP-SAR)

Nurul Hidayah Mt.R¹, Agus Dwi Prasetyo², Dwi Andi Nurmantris³

¹Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

²Fakultas Elektro dan Komunikasi, Universitas Telkom

³Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

[1nurulmatsito@gmail.com](mailto:nurulmatsito@gmail.com), [2sureladp@gmail.com](mailto:sureladp@gmail.com), andi.noermantris@gmail.com

Abstrak

Pada perkembangan teknologi penginderaan jauh menggunakan *platform* satelit, banyak dari pengembang mengadopsi teknologi kamera, baik kamera *spectral* maupun *push-broom* untuk mendapatkan citra bumi secara berkala. Namun teknologi kamera memiliki beberapa kelemahan, diantaranya tidak dapat memetakan daerah yang tertutup awan dan daerah pada kondisi malam hari. Kekurangan ini dijawab oleh teknologi *Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar* (CP-SAR) yang termasuk dalam kategori *microwave remote sensing* yaitu teknologi penginderaan jauh yang memanfaatkan gelombang radio sebagai sarana pengambilan data. Sistem CP-SAR menggunakan antena dengan karakteristik polarisasi sirkular, bekerja pada frekuensi 1.27 GHz (L-band). Pada penelitian ini dirancang antena *microstrip* dengan menggunakan teknik perturbasi *truncated edge* untuk membentuk polarisasi sirkular. Teknik catuan yang digunakan menggunakan *proximity coupled* dengan ketinggian lapisan atas dan bawah dibuat sama. Proses desain menggunakan simulator antena berbasis *Finite Integration Technique* (FIT) dengan bahan substrat *FR-4 Epoxy* memiliki konstanta dielektrik sebesar 4.3 pada frekuensi 1.27 GHz. Setelah didapatkan antena tunggal, maka antena tersebut di-*array* dengan susunan 8x2 untuk mendapatkan gain yang dibutuhkan. Dari hasil pengukuran *bandwidth* impedansi sebesar 52 MHz. Sementara itu *bandwidth axial ratio* hasil pengukuran sebesar 40 MHz. Besar HPBW axial ratio pada sweep theta; phi =0 sebesar 20° dan HPBW axial ratio pada theta=0; sweep phi sebesar 20°. Gain capaian pada antena ini sebesar 13.97 dBi.

Kata Kunci: antena array *Microstrip*, *proximity coupler*, polarisasi sirkular, CP-SAR

Abstract

In the development of remote sensing technology using satellite platform, many developers adopt the technology of cameras, both spectral camera and push-broom to get the image of the earth on a regular basis. However, camera technology has several drawbacks, including not able to map the cloud covered area and the area at night conditions. This disadvantages is answered by technology Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar (CP-SAR), which are included in the category of microwave remote sensing remote sensing technology that uses radio waves as a means of data collection. In the CP-SAR system needed an antenna with circular polarization characteristics which practice in 1.27 GHz (L-Band) . In this study is designed a *Microstrip* antenna using perturbation technique that is *truncated edge* to produce circularly polarized. Proximity coupled feeding techniques are used with the height of the upper and lower layers are created equal. The design process uses an antenna simulator based on Finite Integration Technique (FIT) with FR-4 epoxy substrate material has a dielectric constant at a frequency of 4.3 at 1.27 GHz. After Having obtained a single antenna, then the antenna-array in the 8x2 arrangement to obtain the required gain. From the results of measuring the impedance bandwidth is 52 MHz. Meanwhile axial ratio bandwidth is 40 MHz from measurement results. The HPBW axial ratio on sweep theta; phi = 0 to 20 ° and the HPBW axial ratio at theta = 0; phi sweep of 20 °. Gain achievements in this antenna is 13.97 dBi.

Keywords: *Microstrip array antenna, proximity coupler, circular polarisation, CP-SAR*

1. Pendahuluan

Teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) dikenal sebagai teknologi yang memiliki manfaat yang luas. Proses pengambilan data dapat menggunakan *platform* satelit maupun pesawat tanpa awak. *Platform* satelit lebih banyak diminati karena jangkauan yang luas walaupun membutuhkan investasi yang besar. Pada perkembangan teknologi penginderaan jauh menggunakan *platform* satelit, banyak dari pengembang mengadopsi teknologi kamera, baik kamera *spectral* maupun *push-broom* untuk mendapatkan citra bumi secara berkala. Namun teknologi kamera memiliki beberapa kelemahan, diantaranya tidak dapat memetakan daerah yang tertutup awan dan daerah pada kondisi malam hari. Maka dari itu perlu dikembangkan teknologi yang tidak memanfaatkan spektrum cahaya. Kekurangan ini dijawab oleh teknologi *Synthetic Aperture Radar (SAR)* yang termasuk dalam kategori *microwave remote sensing* yaitu teknologi penginderaan jauh yang memanfaatkan gelombang radio sebagai sarana pengambilan data.

SAR memanfaatkan prinsip dasar RADAR yang membuatnya termasuk dalam sensor aktif dimana untuk mendapatkan informasi dari objek yang diamati, SAR harus membangkitkan gelombang mikro untuk ditembakkan kearah objek dan menangkap gelombang pantul yang terhambur untuk dianalisa perubahan karakteristiknya. Berbeda dengan kamera yang murni memanfaatkan pantulan cahaya dari matahari dalam proses pengamatan. Pada saat ini, sensor SAR dioperasikan dalam polarisasi linear (HH, VV, VH, HV) dengan informasi terima yang terbatas. Beberapa karakteristik dari SAR konvensional di antaranya berdimensi sangat besar, membutuhkan daya tinggi, sensitive terhadap efek rotasi Faraday, dan lain-lain [1]. Saat ini tengah dikembangkan *Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar Onboard Microsatellite (μ SAT CP-SAR)* diketinggian *Low Earth Orbit (LEO)* sekitar 700 km diatas permukaan laut untuk mendapatkan informasi fisis permukaan bumi.

Pada sistem CP-SAR diperlukan antena dengan karakteristik polarisasi sirkular yang bekerja dalam 2 mode, yaitu mode *transmit* dan *receive* dengan karakteristik sirkular *Right Handed Circularly Polarized (RHCP)* dan *Left Handed Circularly Polarized (LHCP)*. Permasalahan yang diangkat pada proyek akhir ini adalah perancangan model antena *Microstrip* dengan aksial rasio yang masih dapat ditoleransi untuk membentuk polarisasi RHCP dengan spesifikasi teknis yang sesuai dengan kebutuhan sistem CP-SAR menggunakan tipe catuan *proximity coupled* dan memanfaatkan teknik *truncated corner/edge* sebagai perturbasinya serta gain yang diinginkan dengan cara meng-*array* antena.

2. Dasar Teori

2.1. Synthetic Aperture Radar (SAR)

Synthetic Aperture Radar (SAR) adalah teknik yang menggunakan pemrosesan sinyal untuk meningkatkan resolusi melampaui keterbatasan fisik antena aperture [2]. Di SAR, gerak maju antena yang sebenarnya digunakan untuk 'mensintesis' antena yang sangat panjang. SAR memungkinkan kemungkinan menggunakan panjang gelombang yang lebih panjang dan masih mencapai resolusi yang baik dengan struktur antena ukuran yang memadai.

Penggunaan SAR untuk penginderaan jauh sangat cocok untuk negara-negara tropis. Dengan pilihan yang tepat dari frekuensi operasi, sinyal microwave dapat menembus awan, kabut, hujan dan kabut dan curah hujan dengan sangat sedikit pelemahan, sehingga memungkinkan operasi dalam kondisi cuaca yang tidak menguntungkan yang menghalangi penggunaan sistem terlihat / inframerah [3]. Karena SAR adalah sensor aktif, yang

mempunyai sumber penerangan sendiri, sehingga dapat beroperasi siang atau malam; mampu menerangi dengan *look angle variabel* dan dapat meliputi cakupan wilayah yang luas. Selain itu, perubahan topografi dapat diperoleh dari perbedaan fasa antara pengukuran menggunakan radar interferometry. SAR telah terbukti sangat berguna pada berbagai aplikasi, termasuk kelautan dan pemantauan es[4],pertambangan[5],pemantauan pencemaran minyak [6], oseanografi [7], pemantauan salju [8], klasifikasi bumi medan [9] dan lain-lain.

2.3 Circular Polarized Synthetic Aperture Radar (CP-SAR)

Rotasi Faraday di ionosfer disebabkan oleh interaksi antara perambatan gelombang elektromagnetik dan medan magnet yang merambat di bumi. Secara umum, sudut orientasi (atau sudut kemiringan, θ) dari gelombang microwave polarisasi linear berubah ketika gelombang melewati lapisan ionosphere. Sampai sekarang, hanya gelombang microwave dengan polarisasi linier (baik vertikal dan polarisasi horizontal) yang telah dimanfaatkan dalam Sistem *Synthetic Aperture Radar (SAR)* (McCandless dan Jackson 2005). Dengan demikian, Sistem Linear Polarisasi SAR (LP-SAR) mau tidak mau dipengaruhi oleh rotasi Faraday pada arah perambatan downlink (dari satelit ke permukaan bumi) maupun uplink(dari bumi ke saelit). Oleh karena itu, seperti yang ditunjukkan oleh Freeman dan Saatchi (1997), metode dua kali lipat Faraday koreksi diperlukan untuk memperbaiki data yang diukur (backscatter signature). Seperti rotasi θ lebih besar untuk panjang gelombang yang lebih panjang, dalam praktiknya Frekuensi L-band (1.27GHz) paling

signifikan dipengaruhi; dalam kasus terburuk, rotasi sekitar 40° diharapkan untuk gelombang mikro dengan polarisasi linear [4].

Dibandingkan dengan polarisasi linear, efek rotasi Faraday hampir tidak berpengaruh untuk polarisasi melingkar (ITU 2002). Meskipun polarisasi melingkar secara luas digunakan dalam hubungan komunikasi ruang untuk menghindari masalah rotasi Faraday, penggunaannya dalam sistem pesawat ruang angkasa SAR untuk penginderaan jauh dan tujuan observasi Bumi belum dicoba. Alasan utama untuk kurangnya penelitian pada sistem polarisasi sirkuler (CP) - SAR dapat berasal dari kesulitan dalam membuat sistem antena yang menghasilkan *highquality* pola radiasi dengan berpolarisasi sirkular. Oleh karena itu, penelitian penggunaan polarisasi sirkular untuk penginderaan jauh mulai dikembangkan oleh Josaphat Tetuko Sumantyo bersama kawan-kawannya pada fitur sistem CP-SAR diusulkan untuk digunakan kapal platform pesawat ruang angkasa [5].

2.3.1 Polarisasi Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik terdiri dari medan listrik dan medan magnetik. Medan listrik menentukan arah polarisasi gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Medan listrik sesaat terkait dengan perjalanan pesawat gelombang umum dalam arah + z dapat diuraikan menjadi komponen x dan y [5].

$$E_x = E_1 \cos(\omega t - kz) \quad (2.2)$$

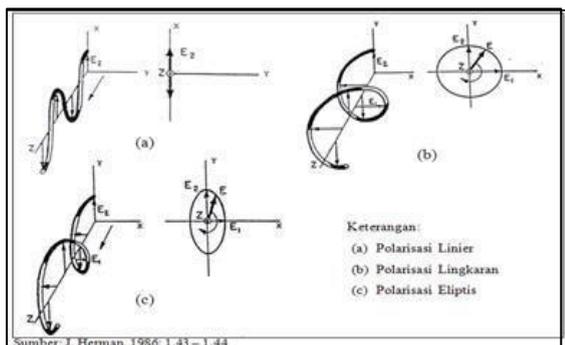
$$E_y = E_2 \cos(\omega t - kz + \tau) \quad (2.3)$$

Dimana, E_1 dan E_2 adalah amplitude medan listrik

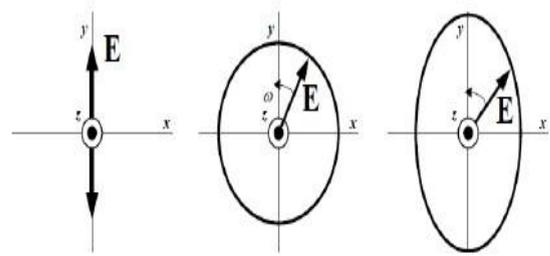
sesaat, ω adalah frekuensi radian, τ adalah fasa konstan, dan k adalah fasa dimana komponen y

mendahului komponen x pada medan listrik. Medan listrik yang dihasilkan adalah kombinasi

vektor dari dua komponen pada waktu yang sama [5]. Polarisasi dapat diklasifikasikan sebagai *linier* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (elips).



Gambar 2.1 Jenis-Jenis Polarisasi Gelombang Elektromagnetik [10]



Gambar 2.2 (a) Polarisasi Linier (b) Polarisasi Sirkular (c) Polarisasi Elips [23]

Polarisasi melingkar terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vector medan elektrik(atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu [5].

Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah [5]:

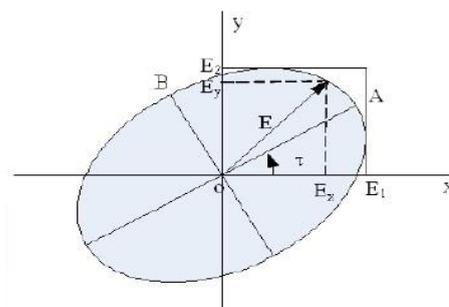
- a. Medan harus mempunyai dua komponen yang saling tegak lurus linier
- b. Kedua komponen tersebut harus mempunyai magnitudo yang sama
- c. Kedua komponen tersebut harus memiliki perbedaan fasa waktu pada kelipatan ganjil 90°.

Parameter yang paling penting yang menjadi ciri khas antena polarisasi sirkular adalah rasio aksial (AR), nilai yang kesatuan (0 dB) untuk polarisasi melingkar. Nilainya sama dengan tak hingga (∞) untuk polarisasi linier dan nilai-nilai antara 1 dan tak hingga (∞) mewakili polarisasi elips. Definisi AR dapat ditulis sebagai [4]:

$$|R| = \frac{\text{major axis length}}{\text{min or axis length}} = \frac{E_{max}}{E_{min}} = \frac{OA}{OB} \leq 1 \quad (2.4)$$

$$R(\text{dB}) = 20 \log R \quad (2.5)$$

$$\epsilon = \cot^{-1}(R); \quad -45^\circ \leq \epsilon \leq 45^\circ \quad (2.6)$$



Gambar 2.3 Parameter Polarisasi Gelombang Elektromagnetik [5][23]

Dimana OA (E_{max}) dan OB (E_{min}) adalah maksimum dan minimum dari amplitudo medan

listrik masing-masing, R adalah nilai AR dan ε adalah sudut ellipticity. Jika parameter R bernilai

positif berarti RHCP dan negatif untuk LHCP [4][5].

Untuk sebuah antena dengan polarisasi sirkular, catuan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat meradiasikan gelombang elektromagnetik yang memiliki beda fasa ($\delta = 90^\circ$) antara komponen x (E_x) dan komponen y (E_y). LHCP terjadi ketika nilai $\delta = -90^\circ$, sebaliknya RHCP terjadi ketika nilai $\delta = 90^\circ$ [4][10].

Polarisasi pada medan apapun dapat direpresentasikan dengan dua buah medan polarisasi linier yang saling tegak lurus. Dengan mengasumsikan bahwa sebuah gelombang medan jauh merambat sepanjang z-axis. Vektor medan jauh hanya mempunyai komponen transverse. Kemudian dua buah medan polarisasi linier yang saling tegak lurus sepanjang x-axis dan sepanjang y-axis, untuk merepresentasikan medan TEM_z .

Susunan ini sebagai pengenalan konsep dari *vector* polarisasi [23].

Dengan konsep dari vector polarisasi ini, polarisasi sirkular dapat dijelaskan melalui persamaan di bawah ini [23].

$$E_x = E_y = E_m \text{ dan } \delta_L = \pm(\pi/2 + n\pi), n=0,1,2,\dots$$

$$e(t) = \hat{x} E_x \cos(\omega t) + \hat{y} E_y \cos[\omega t \pm (\pi/2 + n\pi)] \quad (2.7)$$

$$\Rightarrow E = E_m (\hat{x} \pm j\hat{y})$$

s

$$E = E_m (\hat{x} + j\hat{y}) \quad E = E_m (\hat{x} - j\hat{y})$$

$$\delta_L = +\frac{\pi}{2} + 2n\pi \quad \delta_L = -\frac{\pi}{2} - 2n\pi$$

(a)

(b)

Gambar 2.4 Ilustrasi Polarisasi Sirkular (a) RHCP dan (b) LHCP [23]

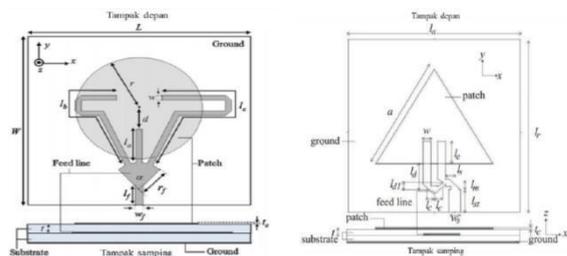
Tanda rotasi berubah jika arah dari propagasi juga berubah. Pada contoh di atas, jika gelombang

gelombang *right-hand* (RH), sedangkan ketika $E = E_m (\hat{x} - j\hat{y})$, menunjukkan polarisasi gelombang *left-hand* (LH) [23].

Dalam prakteknya, bagaimanapun, sulit untuk mencapai nilai konstan R yang persis sama dengan 0 dB untuk semua sudut azimuth dan elevasi diantena, seperti yang terlihat, misalnya, dalam Tetuko et al. (2005). Oleh karena itu, dalam prakteknya microwave dikatakan berpolarisasi sirkular jika AR kurang dari 3 dB di segala arah [4].

2.5. Teknik Menghasilkan Polarisasi Sirkular

Cara untuk menghasilkan polarisasi sirkular pada antena *microstrip* adalah dengan dua catuan yang saling *orthogonal* dan memiliki beda fasa sebesar 90° [11]. Untuk membuat dua catuan dengan beda fasa 90° dibutuhkan power divider atau hybrid 90° . Cara lainnya ialah dengan menggunakan tiga catuan yang memiliki beda fasa sebesar 120° satu sama lainnya [7]. Cara ini terkenal rumit karena harus didukung dengan *circular stub power divider* yang membagi catuan membagi tiga saluran.

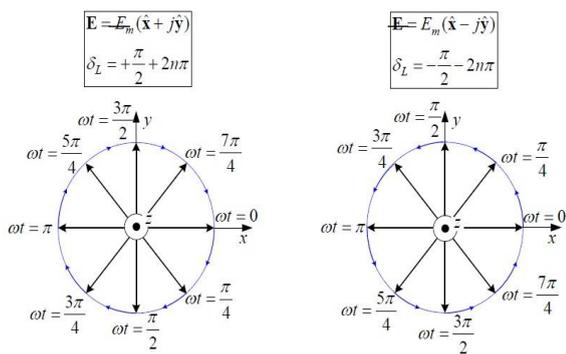


Gambar 2.5 Antena Polarisasi Sirkular dengan *Proximity Coupled Feed* (a) 3 Catuan [7] (b) 2 Catuan [11]

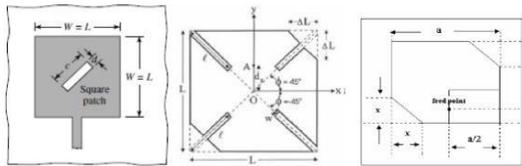
Selain menggunakan multi-catuan, teknik lain untuk membentuk polarisasi sirkular adalah menggunakan catuan tunggal. Jika bentuk *patch* dasar dicatu menggunakan catuan tunggal, maka polarisasi yang dihasilkan adalah linier. Maka dari itu, untuk membentuk polarisasinya menjadi sirkular, harus dilakukan modifikasi pada *patch*. Modifikasi ini biasa disebut dengan teknik *perturbasi*. Teknik *perturbasi* agar antena *microstrip* berpolarisasi sirkular telah banyak digunakan pada *patch square* diantaranya, memberikan *slot*, menyelipkan *slit*, dan *stacking* antena. Namun dalam proyek akhir ini, teknik *perturbasi* yang digunakan adalah *truncated edge/corner* atau pemotongan tepi pada sudut 45° dan 225° dari

merambat sepanjang $-\hat{z}$, dimana $E = E_m(\hat{x} + j\hat{y})$, menunjukkan polarisasi

sumbu pencatuan [12][13][21]. Teknik ini dinilai lebih sederhana dalam perancangan karena memiliki sedikit parameter untuk membentuk



polarisasi sirkular dan menggunakan catuan tunggal sehingga tidak memiliki kompleksitas dari segi pencatuan serta tidak dibutuhkan pembagi daya.



Gambar 2.6 Antena Polarisasi Sirkular dengan Pencatuan Single Feed [14][21]

2.6 Antena Microstrip

2.6.1. Kelebihan dan Kekurangan Antena Microstrip

Antena *microstrip* memiliki beberapa keunggulan. Ini adalah antena *low profile* yang dapat sesuai dengan planar dan permukaan nonplanar yang sesuai dengan desain bentuk dan kebutuhan peralatan komunikasi modern. Fleksibilitas strip antena bentuk mikro memungkinkan *mounting* mereka pada permukaan kaku yang membuat mereka kuat secara mekanis [13][15].

Antena *microstrip* bisa diproduksi secara massal dengan menggunakan teknologi modern papan sirkuit cetak sederhana dan murah. Penggunaan teknologi manufaktur papan sirkuit cetak juga memungkinkan pabrikasi jaringan catuan dan *pe-matching*-an dengan struktur antena. Hal ini juga dapat diintegrasikan dengan desain MMIC. Dari sudut pandang desainer antena *microstrip* pandangan menyajikan berbagai macam pilihan. Perancang dapat bervariasi pilihan jenis substrat, struktur antena, jenis gangguan dan teknik menyusui untuk mencapai tujuan desain antenna [13].

Antena *Microstrip* memiliki *bandwidth* impedansi sempit, efisiensi rendah dan mereka hanya dapat digunakan dalam aplikasi daya rendah [14]. Mereka juga menunjukkan kerugian ohmik tinggi bila digunakan dalam struktur *array*. Kebanyakan antena *microstrip* hanya memancarkan setengah-ruang, karena mereka diimplementasikan pada laminasi sisi ganda di mana satu sisi digunakan sebagai dasar. Setengah radiasi ruang membatasi penggunaannya dalam beberapa aplikasi. Penelitian di *microstrip* desain antena terutama berfokus pada bagaimana mengatasi kekurangan ini [13].

2.7 Antena Array Microstrip

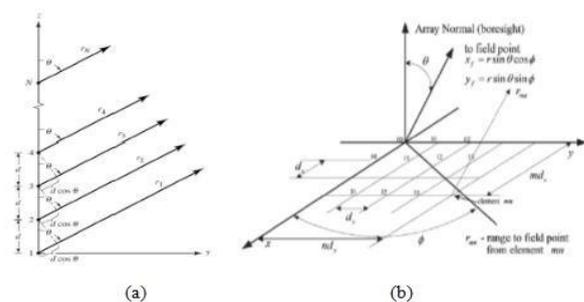
Dalam mode elemen tunggal, pola radiasi dari antena *microstrip* relatif luas, dan masing-masing elemen memberikan nilai *directivity* (*gain*) yang rendah. Untuk meningkatkan kinerja *microstrip*

antena, beberapa antena tunggal terhubung dan diatur dalam struktur teratur untuk membentuk satu antena. *Array* antena mampu menghasilkan pola radiasi yang dikombinasikan, mempunyai karakteristik dimana satu antena tidak memilikinya.

Misalnya, dalam konfigurasi *array*, *gain* antena akan lebih tinggi dan meningkatkan *directivity*, dengan demikian *beam-width* menjadi sempit. Total bidang *array* ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan terpancar oleh masing-masing elemen antena. Dalam antena *array*, medan dari masing-masing antena dapat bersifat menguatkan maupun melemahkan ke arah tertentu.

Keuntungan utama dari antena *array* lebih dari satu elemen dibanding antena tunggal adalah kemampuan mereka dalam pemindaian; dimana, *lobus* utama dapat diarahkan menuju arah tertentu dengan mengubah fase arus eksitasi pada setiap elemen *array* (antena *array* bertahap), idealnya ini dapat dicapai, tetapi praktis itu hanya mendekati. Kinerja antena *array* ditentukan oleh beberapa parameter seperti geometri, jarak antara elemen, amplitudo, fase, dan pola radiasi dari masing-masing elemen tunggal [5][14].

Ada beberapa macam konfigurasi antena *array*, di antaranya: linier, planar, dan sirkular. Antena *array* linier adalah *array* dengan titik pusat elemen *array* berada pada satu garis lurus. Antena *array* planar adalah *array* dengan susunan elemen *array* membentuk sebuah area yang berbentuk kotak. Antena *array* circular adalah antena *array* dengan elemen *array* terletak pada suatu lingkaran dengan radius tertentu. Masing-masing konfigurasi memiliki keuntungan, misalnya linier *array* memiliki kelebihan dalam perhitungan yang tidak terlalu rumit, sedangkan planar *array* memiliki kelebihan dalam pengaturan dan pengendalian arah pola radiasi [5].



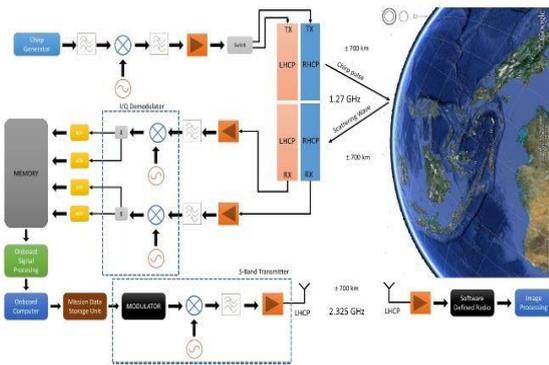
Gambar 2.7 (a) Geometri dari Linier Array (b) Geometri dari Planar Array [5]

3.1. CP-SAR Onboard SAT

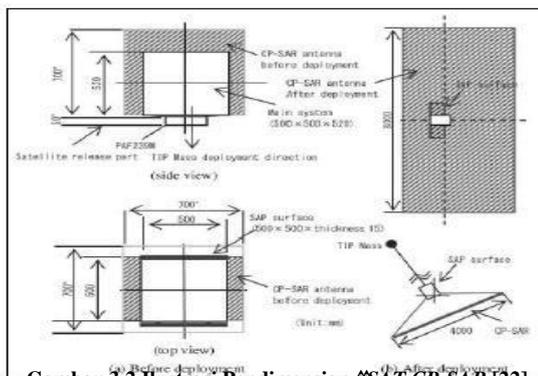
Dari Gambar 3.1 menunjukkan blok sistem dari CP-SAR. Pada dasarnya, sistem ini disusun oleh pemancar, penerima, *onboard signal processing*, data pemancar dan *ground segment*. Pemancar tersusun atas *chirp generator*, *band pass filter* (BPF), *local oscillator* (LO), *power amplifier*

(PA), *switch* untuk pemilihan antenna jenis polarisasi antenna, dua panel antenna susunan *microstrip* berpolarisasi sirkular (LHCP dan RHCP). Sinyal yang dipancarkan menggunakan *chirp pulse* yang dibangkitkan dari *chirp generator* kemudian dipancarkan oleh antenna *microstrip* dengan polarisasi sirkular LHCP atau RHCP. Sinyal dalam bentuk *chirp pulse* ini akan ditembakkan ke objek yang berada di bumi, kemudian ditangkap sinyal pantulnya oleh penerima [1][2].

Pada bagian penerima tersusun atas dua panel antenna susunan *microstrip* yang berpolarisasi sirkular (LHCP dan RHCP), *low noise amplifier* (LNA), *band pass filter* (BPF), *I/Q demodulator* untuk menghasilkan *in-phase* dan *quadrature* data dari sinyal *chirp pulse* yang diterima, *analog to digital converter* (ADC), *temporary memory* untuk proses data, unit *onboard signal processing* (OSP), data *transmitter* sistem. Didalam unit OSP, sinyal hasil pantulan akan diproses dalam beberapa tahap diantaranya, *range compression*, *corner turn*, *azimuth compression*, dan lain-lain untuk menghasilkan gambar SAR. Kemudian gambar ini dikirim ke stasiun bumi menggunakan *S-band transmitter* untuk diproses lebih lanjut



Gambar 3.1 Blok Diagram Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar (CP SAR) [1][2]



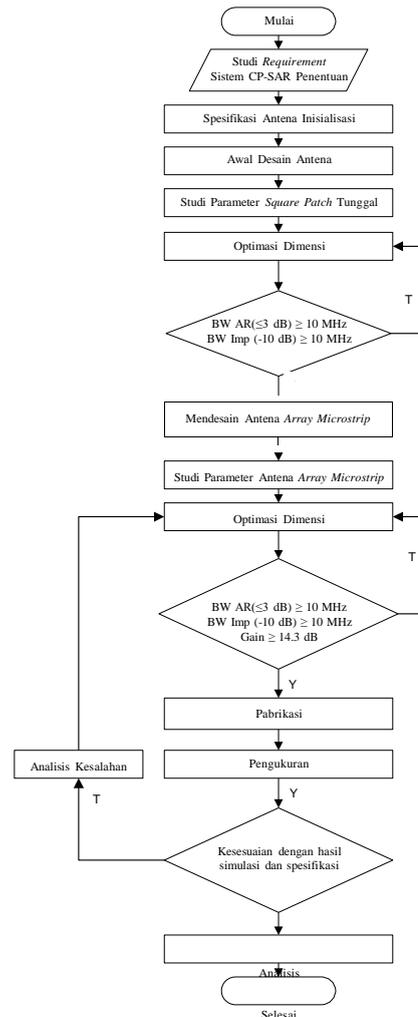
Gambar 3.2 Ilustrasi Pendimensian Antena CP-SAR [22]

Berikut ini table spesifikasi dari system CP-SAR.

Tabel 3.1 Spesifikasi Sistem CP-SAR [1][2]

Parameter	CP-SAR Onboard μ SAT	CP-SAR Onboard UAV
Ketinggian platform	500-700 km	1-4 km
Frekuensi	1.27 GHz	1.27 GHz
Polarisasi	Tx:RHCP+LHCP Rx: RHCP+LHCP	Tx:RHCP+LHCP Rx: RHCP+LHCP
Spatial Resolution	30 m	1 m
Swath width	50 km	1 km
Axial ratio	≤ 3 dB	≤ 3 dB
Antena Gain	> 30 dBic (<i>microstrip</i>)	14.32 dBic (<i>microstrip</i>)
Chirp Pulse Bandwidth	10 MHz	173.23-233.31 MHz
Impedansi Sistem	50 ohm	50 ohm

3.2 Langkah Perancangan



Gambar 3.3 Flowchart Perancangan Antena

3.3 Penentuan Spesifikasi

Sensor antenna yang digunakan pada sistem CP-SAR membutuhkan jenis antenna yang mudah saat penginstalan pada jenis *platform* satelit mikro maupun pesawat tanpa awak. Maka dari itu, dipilih jenis antenna *microstrip* karena desain dari antenna *microstrip* mudah untuk disesuaikan dengan *platform* satelit mikro maupun pesawat tanpa awak. Sifat dasar polarisasi antenna *microstrip* adalah linier, namun hal ini dapat ditangani dengan ditambahkan gangguan (perturbasi) pada *patch* sehingga memungkinkan untuk membentuk

polarisasi sirkular. Antena *microstrip* pun dikenal sebagai jenis antena yang menghasilkan *narrow bandwidth*, namun sekarang ini banyak teknik yang dikembangkan untuk melebarkan *bandwidth*-nya.

Pemilihan jenis antena yaitu *microstrip* dalam proyek akhir ini diharapkan dapat dicapai

keberhasilan dalam pemenuhan spesifikasi yang sudah ditentukan.

3.4 Model Perancangan

Patch persegi panjang adalah konfigurasi yang paling banyak digunakan. Hal ini sangat mudah untuk menganalisis menggunakan kedua metode, *transmission-line* dan *cavity model*, yang mana paling akurat untuk substrat tipis [14].

3.4.1 Transmission Line

Hal ini ditunjukkan sebelumnya bahwa model *transmission-line* adalah yang paling mudah dari semua tapi menghasilkan hasilnya yang kurang akurat dan kurang fleksibel. Namun, hal ini memberikan pandangan fisik(dimensi). sebuah antena *microstrip* persegi dapat direpresentasikan sebagai *array* dua permukaan peradiasi yang sempit (*slot*), masing-masing adalah lebar (*W*) dan tinggi (*h*), dipisahkan oleh jarak (*L*). Pada dasarnya model *transmission-line* merepresentasikan antena *microstrip* dengan *dua slot* yang dipisahkan oleh jarak (*L*). Pada dasarnya model *transmission-line* merepresentasikan antena *microstrip* dengan *dua slot* yang dipisahkan oleh impedansi rendah Z_c panjang (*L*) saluran transmisi [14].

Menentukan ukuran lebar *patch* efektif (L_{eff}) dengan rumus [9]:

$$L_{eff} = \frac{\lambda d}{2} ; \lambda d = \frac{V_o}{f[\epsilon_r]^{1/2}} \tag{3.1}$$

Nilai konstanta dielektrik efektif ϵ_{reff} dapat ditentukan melalui persamaan [9]:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon + \epsilon_0}{2} \tag{3.2}$$

Dengan mensubstitusikan nilai ϵ_{reff} pada persamaan di bawah ini maka akan didapatkan nilai ΔL [9]:

$$\epsilon_{reff} = 2,64$$

Setelah itu substitusikan nilai ΔL , pada persamaan di bawah ini untuk mendapatkan ukuran lebar *patch* aktual (*L*) [9]:

$$L = L_{eff} - \Delta L \tag{3.4}$$

Dari persamaan di atas, didapatkan ukuran dari panjang *patch* persegi $l = 57.5 \text{ mm}$ $p_1 = 19 \text{ mm}$ dan $w_1 \approx 2.81 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm}$. Ukuran ini dijadikan sebagai inialisasi awal dalam perancangan pada simulator antena. Ukuran dimensi dapat berubah untuk tujuan optimasi.

3.4.2. Finite Integration Technique (FIT)

Dalam proyek akhir ini, perhitungan parameter-parameter dasar dari antena menggunakan simulator antena berbasis *Finite Integration Technique* (FIT) dengan memakai software Computer Simulation Technology Microwave Studio 2010 (CST MWS 2010). Dimensi awal antena yang didapat dari perhitungan dengan analisis *transmission-line* diverifikasi menggunakan CST MWS 2010. *Groundplane*, catuan, dan *patch* menggunakan bahan yang sama, yaitu tembaga dengan tebal 0.035 mm. Sementara substrat menggunakan FR-4 *Epoxy* dengan ketebalan 1.6 mm perlayer. *Proximity coupled* menggunakan dua lapis substrat yang memiliki tebal yang sama, dimana catuan berada ditengah-tengah kedua substrat, *groundplane* berada dilapisan bawah, dan *patch* berada dilapis atas.

3.5 Square Patch Truncated Edge/Corner

Penentuan dimensi awal luas segmen *truncated* pada antena *microstrip* dengan bentuk *patch* persegi (ΔS) merupakan perbandingan antara faktor kualitas total. Sementara nilai faktor kualitas total terdiri dari faktor kualitas akibat dari rugi-rugi

dielektrik (Q_d), faktor kualitas akibat rugi-rugi konduktor (Q_c), dan faktor kualitas radiasi (Q_r) seperti pada persamaan berikut [17],

$$\Delta S = \frac{L}{2Q_t} \tag{3.5}$$

$$Q_t = \left[\frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_r} \right] \tag{3.6}$$

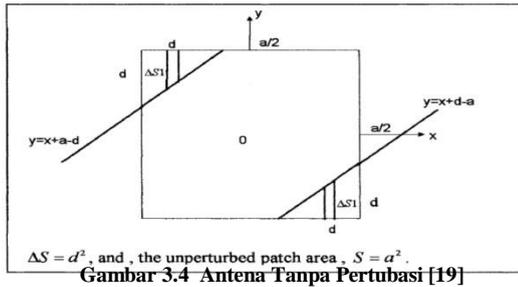
Daerah pertubasi (memotong sedikit) didesain $\Delta L = 0,412h \times$

$\frac{\epsilon_{\text{reff}}}{h}$

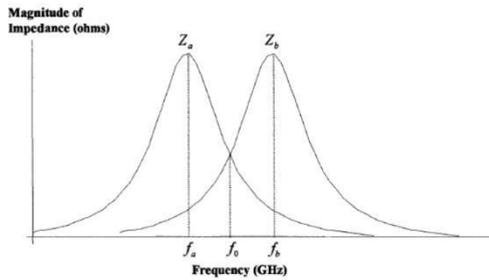
sedemikian rupa
sehingga dapat
memenuhi dua
 $(\epsilon_{\text{reff}} = 0,258) \frac{L_{\text{eff}}}{h} + 0,8$

(3.3)

mode yang sesuai dengan kondisi untuk polarisasi sirkular seperti yang diperlihatkan Gambar 3.4 Ilustrasi dari penurunan mode pada antena simetris dengan menggunakan segmen pertubasi diilustrasikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Antena Tanpa Pertubasi [19]



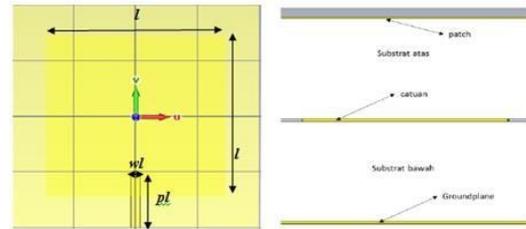
Gambar 3.5 Dua Mode Frekuensi [19]

3.5.1 Studi Parameter Dimensi Antena

Untuk mengetahui karakteristik dasar dari antena yang sedang dirancang, maka perlu dilakukan studi parameter dimensi dari antena. Hal ini bermanfaat untuk mengetahui parameter apa saja dan apa pengaruhnya terhadap performa antena. Dalam hasil penelitian sebelumnya [13], disebutkan bahwa untuk catuan *proximity coupled single feed* dengan penambahan segment pertubasi berupa *truncated edge* pada *patch* diketahui parameter yang mempengaruhi terhadap performa kesirkularan dari antena adalah, panjang *patch* (l), segmen pertubasi (tr), dan panjang *feedline* (pl). Maka dari itu, perlu dilakukan pengambilan beberapa sampel untuk masing-masing parameter terkait dengan perubahannya terhadap performa antena yang dalam tugas akhir ini ditekankan pada nilai *returnloss* dan nilai *axial ratio* pada $\theta=0^\circ$ atau sumbu z positif karena diasumsikan pola radiasi dari antena adalah unidireksional.

Dalam perancangan kali ini, studi parameter dimensi antenna dimulai pada saat ketika antenna belum dipertubasi.

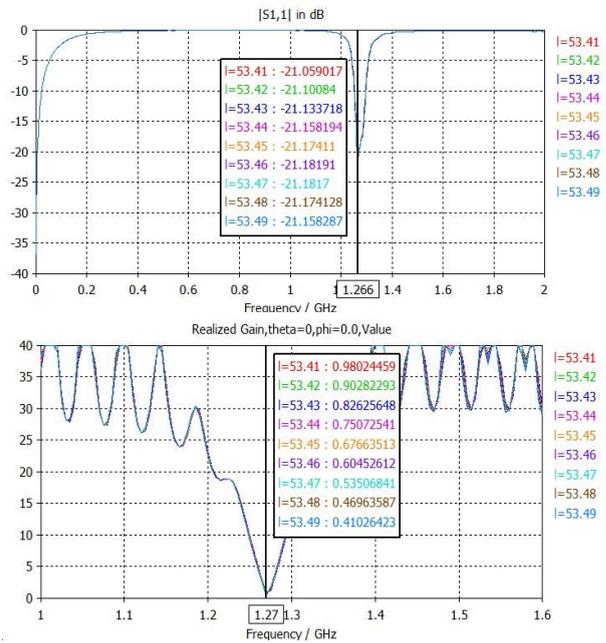
Dari simulasi antenna tanpa pertubasi didapat inialisasi awal ukuran dimensi antenna square patch tanpa pertubasi adalah sebagai berikut; lebar patch (l)=52.7mm; panjang catuan (pl) = 21mm; dan lebar saluran (wl) = 3mm. Langkah selanjutnya adalah memberi pertubasi pada antenna tersebut, sehingga dapat dibentuk polarisasi sirkular.



Gambar 3.6 (a) Desain Antena Tanpa Pertubasi Tampak Depan (b) Desain Antena Tampak Samping

Setelah diberikan pertubasi dengan dalam *truncated* 5mm, pada ukuran sebelumnya, dan dioptimasi lagi untuk mendapatkan nilai parameter sesuai spesifikasi, berikut hasil simulasi akhirnya.

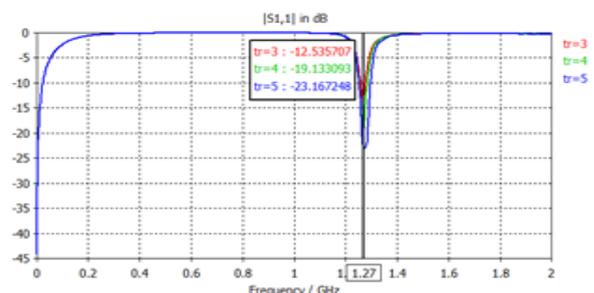
Pengaruh perubahan lebar patch (l) terhadap frekuensi *return loss* dan *axial ratio*.

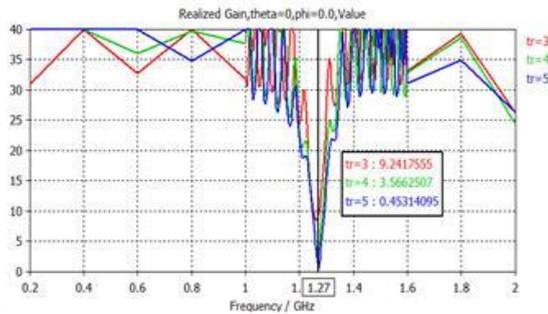


Gambar 3.7 Grafik Return Loss dan Axial Ratio Terhadap Perubahan Ukuran Patch (l)

Perubahan sebesar 0.01mm tidak berpengaruh signifikan terhadap pergeseran frekuensi *return loss* maupun *axial ratio* namun hanya berpengaruh terhadap besar nilainya. Sedangkan, perubahan sebesar 1mm akan mengakibatkan frekuensi RL bergeser ke kiri(turun) sedangkan frekuensi axial ratio akan bergeser ke kanan(naik).

Pengaruh perubahan dalam *truncated* (tr) terhadap frekuensi *return loss* dan *axial ratio*.





Gambar 3.8 Grafik Return Loss dan Axial Ratio Terhadap Perubahan Ukuran Dalam Truncated (tr)

Perubahan sebesar 1mm pada *truncated* akan mengakibatkan frekuensi RL bergeser ke kiri(turun) sedangkan frekuensi axial ratio akan bergeser ke kiri(turun) juga, namun nilai axial rasionya menjadi besar.

3.5.2 Proses Desain

a) Proses Desain Antena Single Patch dengan Pertubasi

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, belum ditemukan metode untuk melakukan inialisasi terhadap nilai *tr*. Maka dari itu, dalam proses desain antena menggunakan metode eksperimental dalam penentuan nilai inialisasi dari segmen *truncated*. Secara random dipilih nilai $n=5$ Sementara itu dari hasil simulasi dengan memberikan pertubasi pada patch menghasilkan frekuensi resonansi di 1.28 GHz. Karena hasil simulasi tersebut belum menunjukkan performa yang baik, maka dilakukan optimisasi dengan mengubah nilai lebar *patch*(*l*).

Nilai ukuran lebar *patch*(*l*) harus dinaikkan, karena frekuensi resonansi ingin diturunkan dari 1.28 GHz ke 1.27 GHz terkait dengan nilai panjang gelombang yang semakin panjang. Dipilih sampel lebar *patch* dari 52.6-54mm dengan perubahan tiap 0.1mm (*parameter sweep*).

Dari hasil *parameter sweep* didapatkan kombinasi nilai $l=53.49$ $n=5$ $pl=30$ mm, dan $wl=7.2$ mm memiliki performa antena yang paling baik. Dari kombinasi nilai tersebut didapatkan nilai *return loss* minimum sebesar -23.16725 dB pada frekuensi 1.27 GHz, nilai *axial ratio* minimum sebesar 0.453 dB pada frekuensi 1.27 GHz, dan capaian gain sebesar 2.698 dB. Bandwidth impedansi pada *return loss* -10 dB sebesar 44 MHz dan bandwidth *axial ratio* ≤ 3 dB sebesar 14 MHz.

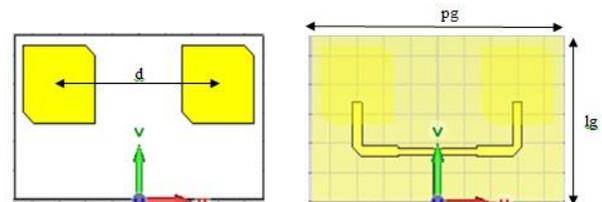
Dengan melakukan simulasi yang mengkominasikan nilai *tr*, *r*, dan *pl*, didapatkan hasil yang optimal dengan nilai parameter-parameter dimensi antena sebelum dan sesudah optimisasi adalah sebagai berikut,

Tabel 3.2 Dimensi Antena Single Patch

Parameter	Ukuran sebelum pertubasi (mm)	Ukuran sesudah pertubasi (mm)	Definisi
l	52,7	53,49	Lebar patch
pl	21	30	Panjang catuan patch
wl	3	7.2	Lebar catuan patch
tr	0	5	Dalam truncated
pg	80	70	Panjang Groundplane
lg	80	70	Lebar Groundplane

Setelah proses optimisasi, diketahui nilai *return loss* dan *axial ratio* sudah mencapai kebutuhan dari spesifikasi. Untuk *bandwidth* sistem CP-SAR yang digunakan merupakan irisan dari *bandwidth impedansi* dan *bandwidth axial ratio*. Didapatkan hasil sebesar 14 MHz dari kebutuhan spesifikasi 10 MHz. Bandwidth Impedansi pada -10 dB sebesar 44 MHz, dengan gain capaian sebesar 2.698 dB.

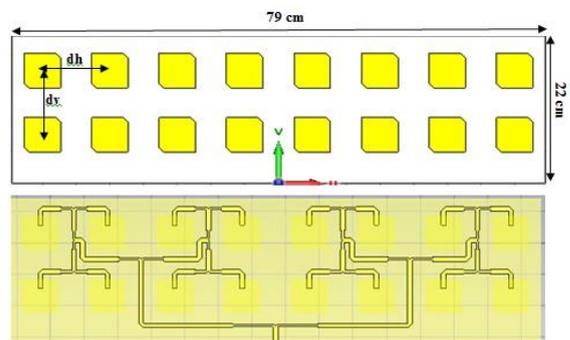
b) Proses Desain Antena Array Dua Elemen



Gambar 3.9 Desain Antena Array 2 Elemen

Hasil simulasi antenna *Microstrip* array 2 elemen menunjukkan bahwa nilai *return loss* pada frekuensi 1.27 GHz sebesar -19.393369dB dan nilai *axial ratio* pada frekuensi yang sama sebesar 0.879 dB. Gain capaian sebesar 6.50 dB dengan polaradiasi unidirectional. Antena ini sudah memenuhi syarat bandwidth *axial ratio* ≤ 3 dB sebesar 10.97 MHz, dengan bandwidth impedansi *return loss* -10 dB sebesar 54.51 MHz. Namun, gain capaian masih jauh dari target gain yang dibutuhkan, Untuk itu antena ini perlu ditambah jumlah elemen untuk di-array.

c) Desain Antena Array Microstrip 16 Elemen



Gambar 3.10 Desain Antena Array 16 Elemen

Tabel 3.2 Dimensi Antena Array 16 Elemen

Parameter	Definisi	Dimensi(mm)
l	Dimensi patch	54.74
dh	Jarak horizontal antar patch	100
dv	Jarak vertikal antar patch	100
l	Ukuran patch	54.91
wl	Lebar saluran	7
wl1	Lebar saluran	7.1
wl2=wl4=wl8=wl11	Lebar saluran	3.23
wl3=wl5=wl6=wl7=wl9=wl10	Lebar saluran	7.2
wl12	Lebar saluran	7.4

Dari hasil simulasi setelah optimasi didapat, nilai return loss pada frekuensi 1.27 sebesar -23.718 dB, axial ratio sebesar 0.33 dB pada frekuensi 1.27, dangain capaian pada frekuensi tersebut adalah sebesar 13.29dB. Bandwidth axial ratio ≤ 3 dB sebesar 13.24 MHz, sedangkan bandwidth impedansi -10 dB sebesar 35.75 MHz.

3.5.3 Hasil Desain

Pada saat realisasi nantinya, antenna perlu direkatkan dengan baut agar memperkecil gap udara antar kedua substrat. Agar hasilnya pangukuran antenna realisasi tidak bergeser, maka untuk bautnya disimulasikan lagi pada simulator antenna. Berikut ini hasil optimasi setelah antenna dipasang baut berdiameter 1mm.

Setelah dioptimasi, hasil akhir didapat nilai return loss pada frekuensi 1.27 GHz sebesar -28.519329 dB, nilai axial ratio pada frekuensi 1.27 GHz sebesar 0.153 dB, dan capaian gain sebesar 13.384 dB. Bandwidth axial ratio sebesar 13.43 MHz, sedangkan bandwidth impedansi sebesar 39.11 MHz.

3.6 Realisasi Antena

Dimensi antenna realisasi sebesar 80cmx23cm.



Gambar 3.11 (a) Catuan (b) Patch (c) Antena

4. Verifikasi Hasil Pengukuran dan Simulasi

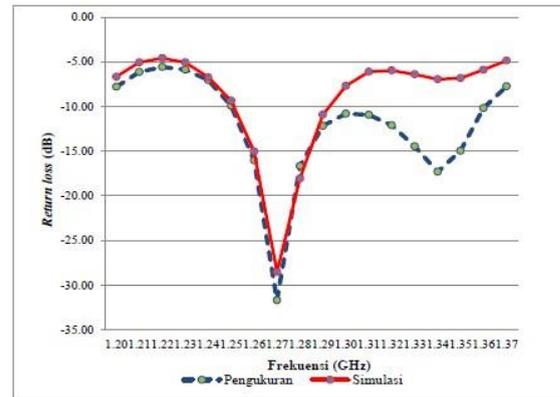
4.1 Pendahuluan

Pada bagian ini akan mengulas verifikasi antena hasil desain yang telah dirancang pada bab sebelumnya dengan menggunakan simulator antena CST MWS 2010. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan pengukuran yang telah direalisasikan.

4.2 Verifikasi Pengukuran Return Loss

Hasil desain menunjukkan performa yang baik dari segi frekuensi kerja. Selanjutnya adalah dengan melakukan realiasi dari antena hasil desain dan melakukan verifikasi hasil dengan pengukuran. Pengukuran menggunakan *Network Analyzer (NA)* bermerk *Advantest R3770* (300 KHz – 20 GHz).

Berikut ini grafik perbandingan nilai return loss hasil pengukuran dan simulasi.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai Return loss antara Simulasi dan Pengukuran

Dari pengukuran, didapatkan hasil yang lebih baik dibanding dengan hasil simulasi, dimana pada simulasi pada frekuensi resonansi 1.27 GHz sebesar -23.718 dB sedangkan pada hasil pengukuran nilai return loss pada frekuensi 1.27 GHz sebesar -28.519 dB. Sedangkan, bandwidth hasil pengukuran lebih besar daripada bandwidth hasil simulasi. Bandwidth impedansi hasil simulasi sebesar 39.11 MHz, sedangkan bandwidth impedansi hasil pengukuran sebesar 52 MHz. VSWR antenna ini sebesar 1.055 pada frekuensi 1.27 GHz.

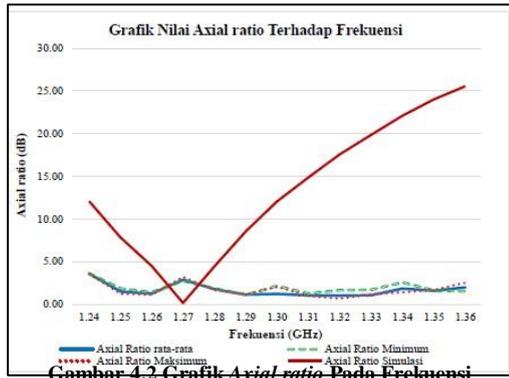
Hasil pengukuran impedansi ini menunjukkan adanya pergeseran pada nilai return loss dan bandwidth. Namun pergeseran ini bersifat konstruktif. Hal ini disebabkan karena keterbatasan perangkat lunak bantu dalam hal modifikasi penghubungan antena dan konektor juga dapat diatur sedemikian rupa agar mendapatkan nilai yang optimal (proses optimalisasi antena terfabrikasi).

4.3 Verifikasi Pengukuran Axial Ratio

Pengukuran nilai *axial ratio* dimaksudkan untuk melakukan verifikasi antena hasil desain dan untuk membuktikan kebenaran polarisasi sirkular dari antena. Berikut ini data hasil pengukuran.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Axial Ratio dari fekuensi 1.24 GHz-1.36 GHz

Frekuensi	Axial ratio rata-rata (dB)	Axial ratio Minimum (dB)	Axial ratio Maksimum (dB)	Axial ratio Simulasi (dB)
1.24	3.59	3.63	3.57	12.09
1.25	1.50	1.85	1.23	7.84
1.26	1.24	1.39	1.11	4.50
1.27	2.89	2.75	3.21	0.15
1.28	1.76	1.85	1.68	4.43
1.29	1.13	1.11	1.15	8.55
1.30	1.22	2.15	2.04	12.06
1.31	1.05	1.26	0.96	14.88
1.32	1.00	1.66	0.68	17.58
1.33	1.06	1.69	1.17	19.86
1.34	1.83	2.57	1.42	22.11
1.35	1.69	1.63	1.69	24.02
1.36	1.98	1.53	2.53	25.56



Gambar 4.2 Grafik Axial ratio Pada Frekuensi 1.25 GHz- 1.29 GHz

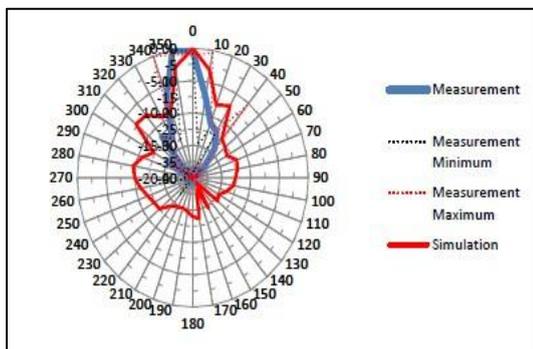
Dari hasil simulasi dan pengukuran terdapat perbedaan. Pada simulasi, titik terendah (sirkular) berada pada frekuensi 1.27 GHz dengan nilai axial ratio sebesar 0.153 dB, sedangkan hasil pengukuran pada frekuensi 1.27 GHz, nilai axial ratio sebesar 1.27 dB. Nilai axial ratio terendah jatuh pada frekuensi 1.29 GHz, yaitu sebesar 1.05 dB. Namun demikian, dari frekuensi 1.24 GHz sampai 1.29 GHz, nilai axial ratio masih memenuhi syarat kesirkularan antenna ($AR \leq 3dB$). Sehingga dapat dilihat besar bandwidth axial ratio $\leq 3dB$ sebesar 40 MHz.

4.4 Verifikasi Pengukuran Polaradiasi dan Gain

Pengukuran polaradiasi dan gain digunakan untuk mengetahui hasil antenna realisasi setelah disimulasi. Adapun untuk besar nilai gain dijadikan sebagai referensi untuk kemudian antenna ini dapat dikembangkan lagi agar mencapai gain antenna sebesar 13.97 dB. Untuk pengukuran polaradiasi dan gain hanya diambil sampel frekuensi di 1.27 GHz, sedangkan untuk pengukuran gain diambil 10 sampel pada frekuensi yang sama.

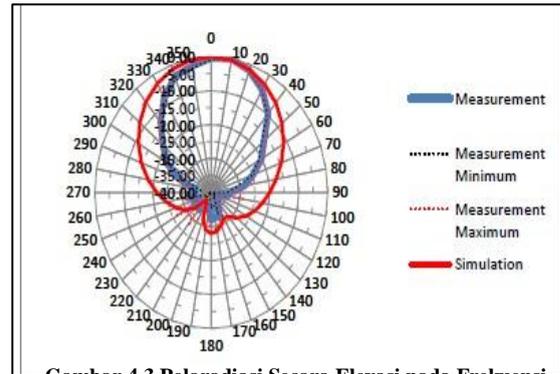
4.4.1 Pengukuran Polaradiasi

Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa antenna ini berpolaradiasi unidirectional.



Gambar 4.2 Polaradiasi Secara Azimuth pada Frekuensi 1,27 GHz

Gambar di atas menunjukkan polaradiasi bidang azimuth. Untuk polaradiasi di bidang elevasi, ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.3 Polaradiasi Secara Elevasi pada Frekuensi 1,27 GHz

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa pengukuran polaradiasi bidang azimuth sudah mendekati simulasi, namun untuk bidang elevasi masih jauh dari hasil simulasi. Perbedaan nilai penerimaan pada sudut-sudut tertentu diakibatkan oleh kondisi lingkungan yang kurang ideal pada saat pengukuran. Pada saat pengukuran azimuth didapatkan nilai variasi medan rata-rata sebesar 2.08 dB dan pada elevasi sebesar 1.13 dB.

4.4.2 Pengukuran Gain

Pengukuran gain dilakukan dengan skematik seperti pada Gambar 4.4. Dalam pengukuran gain pada tugas akhir ini, diambil 10 sampel pada frekuensi 1.27 GHz. Metode yang digunakan adalah metode perbandingan gain (gain comparison). Prosedur ini memerlukan dua kali pengukuran. Pertama antenna yang diukur ditempatkan pada penerima dengan polarisasi yang sesuai dan daya yang diterima dicatat. Kemudian antenna referensi diukur juga dengan cara yang sama (polarisasi, orientasi dan posisi). Maka gain absolut terhadap isotropic adalah sebagai berikut.

$$G_{REF} [dBi] = G_{AUT} [dBi] + 10 \log \left(\frac{P_{RX}}{P_{REF}} \right) \quad (4.1)$$

Dimana:

- PREF = daya terima antenna referensi
- PRX = daya terima AUT
- GRAF = gain antenna referensi absolut terhadap isotropic

Dari hasil simulasi dan pengukuran ada perbedaan. Pada simulasi menggunakan simulator antenna, didapat gain antenna pada frekuensi 1.27 GHz sebesar 13.384 dBi, sedangkan hasil pengukuran menunjukkan gain perolehan pada frekuensi yang sama sebesar 13.97 dBi, selisih 0.586 dBi dari hasil simulasi. Walaupun demikian, target gain 14.32 dBic masih belum terpenuhi.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi antenna array *Microstrip* berpolarisasi sirkular catuan *proximity coupled* dengan bentuk *patch square*, adalah sebagai berikut.

1. Parameter *return loss* dan *axial ratio* telah berhasil diverifikasi dan sesuai dengan spesifikasi perancangan awal antena sehingga dapat diaplikasikan dalam sistem CP-SAR, dengan nilai *return loss* pada frekuensi 1.27 GHz sebesar -31.399 dB dan nilai *axial ratio* sebesar 1.27 dB pada frekuensi yang sama.
2. *Bandwidth* impedansi dari hasil simulasi sebesar 39.11 MHz sedangkan hasil pengukuran sebesar 52 MHz.
3. *Bandwidth axial ratio* dari hasil simulasi sebesar 13.384 MHz sementara dari hasil pengukuran sebesar 40 MHz.
4. Besar HPBW *axial ratio* pada sweep theta; phi =0 sebesar 20° dan HPBW *axial ratio* pada theta=0; sweep phi sebesar 20°.
5. Gain capaian pada antenna ini sebesar 13.97 dBi.
6. Teknik *truncated edge* pada *patch* berbentuk sirkular berhasil membuat polarisasi antena pada frekuensi yang sama menjadi sirkular dengan parameter dimensi antena yang mempengaruhi kesirkularan adalah lebar *patch (l)*, lebar segmen *truncated (tr)*, dan panjang dari catuan (*pl*) dengan sudut *truncation* 45° dan 225°.

5.2. Saran

Untuk mendapatkan performa antena yang lebih baik pada perancangan berikutnya, terdapat beberapa hal yang bisa dijadikan saran dan sebagai bahan pertimbangan antara lain:

1. Perlu dilakukan pengkajian ulang pada perancangan antena ini terutama dalam teknik peningkatan gain tanpa menambah dimensi antena, agar sesuai dengan spesifikasi system maupun spesifikasi dimensi CP-SAR *Onboard UAV* atau CP-SAR *Onboard UAV*.
2. Perlu dipertimbangkan dengan matang metode pengukuran yang digunakan, mengingat masih terbatasnya alat & ruang pengukuran yang memadai untuk antena dengan ukuran dimensi yang besar.

Daftar Pustaka

[1] Sumantyo, Josaphat Tetuko Sri. "*Development of Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar Onboard UAV for Earth Diagnosis*". EUSAR.2012

[2] Sumantyo, Josaphat Tetuko Sri. "*Development of Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar Onboard Microsatellite for Earth Diagnosis*". IGARSS.2011

[3] Y K Chan, Y K Koo. "*An Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR)*". PIERB.2008

[4] Rizki Akbar P., J.T. Sri Sumantyo, Hiroaki Kuze, "*A Novel Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar (CP-SAR) Sistem Onboard A Spaceborne Platform*", International Journal of Remote Sensing, 2000.

[5] Yohandri, H. Kuze, J.T. Sri Sumantyo. "*Development of Circularly Polarized Microstrip Antenas for CP-SAR Sistem Installed on Unmanned Aerial Vehicle*". Dissertation Chiba University.2011

[6] Yohandri, V. Wissan, I. Firmansyah, P.Rizki Akbar, J.T. Sri Sumantyo, Hiroaki Kuze. "*Development of Circularly Polarized Array Antena for Synthetic Aperture Radar Installed on UAV*". PIERC.2011

[7] Yohandri, Hiroaki Kuze, J.T. Sri Sumantyo. "*A New Triple Proximity-fed Polarized Microstrip Antena*". Elsevier GmbH.2011

[8] Merna Baharuddin, J.T. Sri Sumantyo. "*Circularly Polarized Microstrip Antenas with Proximity coupled Feed for Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar*". PIERC.2010

[9] Umar Farooq, M.Javid Asad, & Habibullah Jamal. "*Design Of Circularly Polarized Square Microstrip Patch Antena*". Proceedings IEEE INMIC.2003

[10] Ali Hanafiah R. "*Rancang Bangun Antena Microstrip Patch Segiempat Planar Array 4 Elemen Dengan Pencatuan Aperture-Coupled Untuk Aplikasi CPE Pada Wimax*".Tesis Fakultas Teknik Universitas Indonesia.2008

[11] Merna Baharuddin, Victor Wissan, J.T. Sri Sumantyo, Hiroaki Kuze. "*Equilateral Triangular*

Microstrip Antena for Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar". Elsevier GmbH.2010.

[12] Agus Dwi Prasetyo, Heroe Wijanto, J.T. Sri Sumantyo, Arifin Nugroho. "*RHCP-LHCP Dual-Circularly Polarized Antena Design for Circularly-Polarized Synthetic Aperture Radar Onboard Microsatellite (mSAT CP-SAR)*". Thesis Telkom University. 2013

[13] Marwa Shakeeb, A. Sebak. "*Circularly Polarized Microstrip Antena*". Thesis Concordia University Canada. 2010

[14] Balanis, Constantine A. 2005. "*Antena Theory Analisis and Desain 3rd edition*". United Stated: Wiliey InterScience

[15] Ramesh, G, Bratiash, Prakash, "*Microstrip Antena Design Handbook*", Artech House, London, 2000

[16] Krauss, John D. 1998. "*Antenas*".United Stated: McGraw-Hill Book Company.

[17] Halim, Mohd Aly Rajaiebin., Puan Elfarizanis bt Baharudin. "*Design of Single Feed Circularly Polarized Microstrip Antena Using Truncated Corner Method*". Universitas Teknologi Tun Hussein Onn

[18] Hasniah, Yudo Prasetyo. "*Pengenalan Teknologi Radar untuk Pemetaan Spasial di Kawasan Tropis*". Vol. 32 No.2 Tahun 2011, ISSN 0852-1697

[19] Lim, Eng G. "*Circular Polarised Microstrip Antena Design Using Segmental Methods*". Doctoral Thesis, Northumbria University.2002

[20] Pramod Benjwal, A K Gautam. "*Square Microstrip Antena for Circular Polarization Operation*". International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 36– No.4, December 2011.

[21] Denny Osmond P., Ali Hanafiah R. "*Studi*

Perancangan Antena Microstrip Patch Segiempat Dengan Tipe Polarisasi Melingkar Menggunakan Ansoft". Vol.3 No.1/Juli 2013.

[22] Sri Sumantyo, J. T., et al., Maret 2009. "*Development of Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar Onboard Microsatellite (μ SAT CP-SAR)*." PIERS Proceedings, Beijing, China.

[23] Nikolova, 2014. Lecture 5: *Polarization and Related Antena Parameters*.

