

# PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA PIFA ARRAY POLARISASI SIRKULAR PADA FREKUENSI 2,35 GHz UNTUK APLIKASI RSPL NANO SATELIT

## DESIGN AND REALIZATION OF CIRCULARLY POLARIZED ARRAY PIFA ANTENNA ON 2,35 GHz FREQUENCY FOR NANO SATELLITE RSPL APPLICATIONS

<sup>1</sup>Galih Fajar Kurnia <sup>2</sup>Bambang Setia Nugroho <sup>3</sup>Agus Dwi Prasetyo

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[galihfajarkurnia@students.telkomuniversity.ac.id](mailto:galihfajarkurnia@students.telkomuniversity.ac.id) <sup>2</sup>[bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id](mailto:bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id)

<sup>3</sup>[adprasetyo@telkomuniversity.ac.id](mailto:adprasetyo@telkomuniversity.ac.id)

---

### ABSTRAK

Telkom University melalui AXC (*Aerospace eXploration Centre*) sedang mengembangkan teknologi satelit berukuran nano. Misi dari satelit nano tersebut adalah untuk komunikasi data, dimana data merupakan gambar hasil dari pemotretan kamera satelit terhadap bumi. Pada bagian space segment terdapat subsistem RSPL (*Remote Sensing Payload*) sebagai sensor *payload image* (gambar) berikut dengan sistem transmitter (antena). Antena yang akan dirancang adalah bagian *space segment* dari nano satelit tersebut yang berfungsi untuk mengirim data ke ground station. Permasalahan yang terjadi adalah bagaimana membuat sebuah antena yang efisien, berdimensi kecil, dan memenuhi spesifikasi untuk komunikasi satelit. Untuk saat ini banyak antenna yang dirancang dirasa kurang memenuhi spesifikasi sebagai transmitter satelit, pembuatan yang susah dan ukuran yang terlalu besar. Antena PIFA array diusulkan dapat memberikan solusi dari masalah yang terjadi, PIFA array merupakan kombinasi 4 antena PIFA pada sebuah Ground plane yang strukturnya terbuat dari bahan tembaga. Hasil pengukuran menunjukkan performansi antenna dengan frekuensi tengah 2.35 GHz mendapatkan bandwidth impedansi 165 MHz untuk target return loss  $\leq -14$  dB, bandwidth axial ratio mencapai lebih dari 50 MHz guna memenuhi prasyarat polarisasi sirkular, dan gain rata-rata 5.5 dB. Sementara pola radiasi unidireksional dengan nilai HPBW azimuth 89,67<sup>0</sup> dan HPBW elevasi 102,02<sup>0</sup> yang dapat menunjang sistem transmisi satelit.

**Kata Kunci :** AXC, PIFA array, satelit nano, RSPL

---

### ABSTRACT

Telkom University through AXC (*Aerospace eXploration Centre*) is developing nano-sized satellite technology. The mission of the nano satellites is for communication of data, where the data is the result of a shooting camera image of the Earth's satellite. In the space segment are RSPL subsystem (Remote Sensing payload) as the payload sensor image (picture) follows with a transmitter system (antenna). Antennas to be designed is part of the space segment of the nano satellites are used to send data to the ground station. The problem that occurs is how to create an efficient antenna, small dimension, and meet the specifications for satellite communications. For now many antennas are designed perceived lack meet the specifications as a satellite transmitter, which is difficult to manufacture and the size is too big. Proposed PIFA antenna array can provide the solution of problems that occur, PIFA antenna array is a combination of 4 PIFA on a ground plane structure is made of copper. The measurement results show the performance of the antenna with 2:35 GHz center frequency gain impedance bandwidth of 165 MHz for the target  $\leq -14$  dB return loss, axial ratio bandwidth of more than 50 MHz to meet the requirements of circular polarization, and the average gain of 5.5 dB. While the radiation pattern unidireksional with HPBW value HPBW azimuth is 89.67<sup>0</sup> and elevation is 102.02<sup>0</sup> to support the satellite transmission system.

**Keywords:** AXC, PIFA array, nano satellites, RSPL

---

## 1. Pendahuluan

*Aerospace eXploration Center* (AXC) merupakan suatu komunitas laboratorium yang berada di Telkom University, mereka bergerak pada bidang riset khusus yaitu satelit. Pada saat ini AXC bertujuan membangun dan mengembangkan teknologi satelit berukuran nano, salah satu progam besar mereka saat ini adalah mengembang satelit Tel-USAT. Tel-USAT memiliki misi mengambil gambar permukaan bumi dari luar angkasa kemudian mengirimkan datanya ke stasiun bumi, oleh karena itu *Remote Sensing Payload* (RSPL) merupakan muatan yang bersifat wajib. RSPL merupakan sebuah muatan yang berfungsi untuk memonitor bumi dari satelit. Gambar yang didapat kemudian di ubah menjadi bit-bit dan ditransfer ke stasiun bumi. Pada tugas akhir ini antena yang diusulkan adalah antenna PIFA array sebagai komponen transmitter satelit.

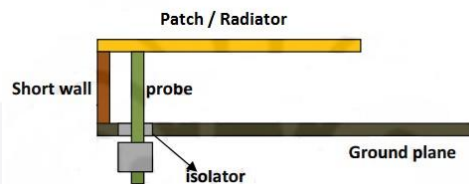
Antena PIFA array dipilih karena memiliki stuktur yang ringan serta dimensi yang relatif kecil sesuai dengan dimensi yang tersedia pada nano satelit. Meskipun dengan dimensi yang kecil antenna array pifa mampu memenuhi spesifikasi yang diperlukan oleh nano satelit. Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan realisasi antena PIFA array, hingga pada akhirnya dilakukan verifikasi kerja antena dengan melakukan pengukuran parameter. Penelitian hanya terfokus pada perancangan antena, tidak membahas secara menyeluruh mengenai system satelit nano lebih dalam.

## 2. Landasan Teori

Satelit memiliki definisi sebagai bintang siarah yang mengedari bintang siarah yang lebih besar [1]. Ada dua jenis satelit yaitu satelit alami dan satelit buatan. Satelit alami adalah benda-benda luar angkasa bukan buatan manusia yang mengorbit sebuah planet atau benda lain yang lebih besar daripada dirinya. Satelit buatan adalah satelit yang sengaja dibuat dan ditempatkan di orbit untuk keperluan tertentu [1]. Satelit berfungsi sebagai repeater aktif dimana terjadi penguatan daya sinyal dan translasi frekuensi.

Satelit nano sebagai objek dalam riset ini memiliki berat 10 kg dan akan mengorbit di orbit LEO, yaitu 700 km dari permukaan bumi [2]. Banyak Satelit Nano memiliki dimensi kubus atau lebih dikenal dengan cubesat. Standar ukuran dimensi satelit diberi nama "U", setiap "U" memiliki dimensi 10x10x10 cm [3]. Sebagai payload nantinya adalah *Remote Sensing Payload* (RSPL) dalam satelit dapat diartikan sebagai muatan yang dibawa sebuah satelit untuk mengakuisisi informasi tentang suatu obyek atau fenomena, tanpa melakukan kontak fisik dengan objek. Kemudian hasil akuisisi yang berupa gambar ini dikirim ke stasiun bumi menggunakan *s-band transmitter* untuk diproses lebih lanjut. Antena transmitter yang digunakan adalah antena PIFA array.

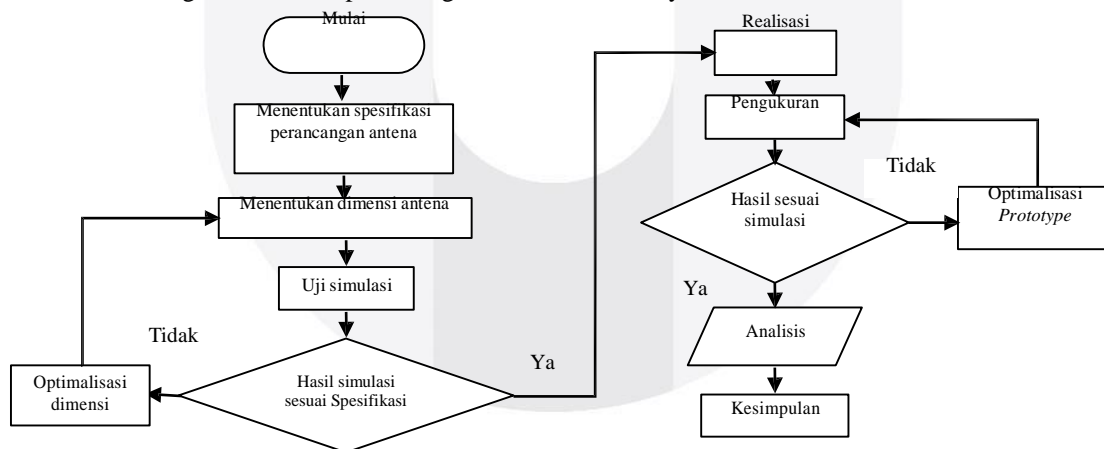
Planar Inverted F Antenna (PIFA) merupakan antena yang memiliki dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan antena mikrostrip segi empat biasa dengan dimensi  $\lambda/2$ , PIFA hanya memiliki dimensi sebesar  $\lambda/4$  [4]. Pada antena PIFA konvensional, ada 3 bagian yang menjadi komponen penting yaitu patch antena, ground antena, dan shorting-pin atau shorting-wall.



Gambar 1. Struktur antena PIFA [5]

## 3. Desain Dan Realisasi Sistem

Berikut adalah diagram blok dari perancangan antena PIFA array,



Gambar 2. Diagram blok pengerjaan Tugas Akhir

### 3.1 Penentuan Spesifikasi Antena

#### 3.1.1 Frekuensi Kerja dan Bandwidth

Antena PIFA array sebagai aplikasi S-Band transmitter RSPL satelit nano dirancang bekerja pada frekuensi tengah 2,35 GHz. Penentuan frekuensi kerja dari antena PIFA array ini berdasarkan Frekuensi tersebut dipilih karena perangkat modul transmitter pada RSPL Tel-U Sat bekerja pada frekuensi S-Band 2,1 GHz – 2,5 GHz [6]. Lebih spesifik frekuensi tengah yang digunakan masuk ke dalam bandwidth frekuensi radio amatir dengan rentang frekuensi 2,3 GHz – 2,4 GHz yang dapat digunakan secara bebas namun harus memenuhi peraturan yang sudah

ditetapkan badan yang menangani yaitu ORARI, maupun badan regulasi frekuensi Negara, peraturan Menteri maupun daftar bandplan yang berlaku di Indonesia [7]. Antena juga dirancang memiliki bandwidth sebesar 50 MHz [6]. Sehingga pada akhir perancangan antenna PIFA array memiliki spesifikasi frekuensi kerja 2,325 GHz – 2,375 GHz.

**3.1.2 Impedansi dan Return Loss**

Pada perancangan antenna array PIFA ini, digunakan komponen saluran transmisi yang memiliki impedansi  $Z_0=50\Omega$ . Agar terjadi transfer daya maksimum pada antenna quadrifilar heliks yang dibuat, maka impedansi input dari antenna array PIFA (ZA) harus matching dengan saluran transmisi. Optimalisasi impedansi dilakukan pada saluran pencatu antenna. Sedangkan batas returnloss yang digunakan pada antenna array PIFA adalah  $\leq -14$  dB.

$$Z_{in} = Z_0 = 50 \Omega \tag{1}$$

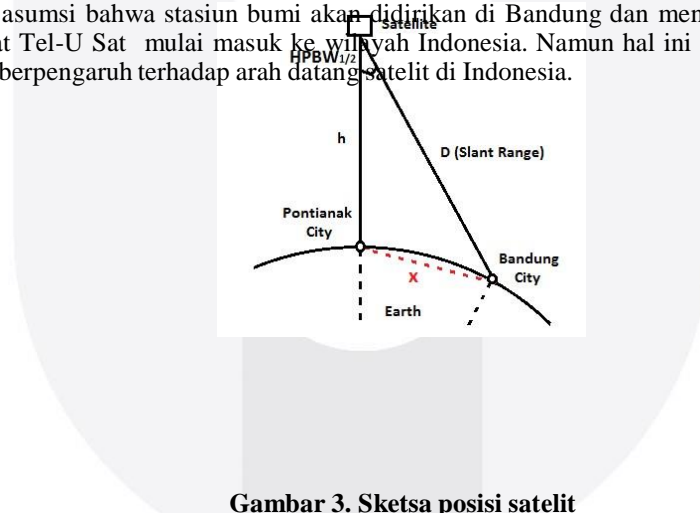
$$\Gamma = \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right| \tag{2}$$

$$RL = -20 \log \Gamma \tag{3}$$

Nilai RL [8] tersebut dalam kondisi ideal sehingga koefisien refleksi ( $\Gamma$ ) dianggap nol, namun hal itu tidak mungkin didapatkan. Sehingga ada *threshold* untuk mendapatkan RL bisa dikatakan *acceptable* yaitu -14.

**3.1.3 Pola Radiasi dan Half-Power Beamwidth (HPBW)**

Perancangan spesifikasi pola radiasi dan HPBW antenna PIFA array ini berdasarkan daerah (foot-print) yang harus dicakupi oleh Tel-U Sat. Transmitter RSPL Tel-U Sat akan aktif mengirim data saat memasuki daerah Indonesia, maka HPBW pada antenna ini dirancang agar dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Pada perancangan HPBW ini digunakan asumsi bahwa stasiun bumi akan didirikan di Bandung dan menggunakan kota pontianak sebagai titik acuan saat Tel-U Sat mulai masuk ke wilayah Indonesia. Namun hal ini perlu peninjauan kembali karena sudut inklinasi berpengaruh terhadap arah datang satelit di Indonesia.



**Gambar 3. Sketsa posisi satelit**

Untuk menentukan besar kebutuhan beamwidth agar antenna dapat mengcover area yang telah ditentukan, dilakukan pendekatan menggunakan perhitungan slant range atau jarak satelit dengan stasiun bumi. Slant range dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut [9],

$$D = \sqrt{h^2 + 2R_e R_e + h^2} (1 - \cos \theta) \tag{4}$$

Dimana h dan  $R_e$  merupakan ketinggian satelit dan jari-jari bumi, sedangkan  $\theta$  adalah selisih longitude koordinat stasiun bumi dengan satelit dan  $\Delta \lambda$  merupakan latitude koordinat stasiun bumi. Dengan menggunakan slant range (D) kita dapat mencari nilai beam yang dibutuhkan menggunakan persamaan berikut,

$$HPBW_{1/2} = \cos^{-1} \left( \frac{h^2 + R_e^2 - D^2}{2R_e h} \right) \tag{5}$$

Sebelumnya telah dicari jarak bandung dengan Pontianak (x) dengan mempertimbangkan kelengkungan bumi. Dengan nilai  $x=620,35$ km, ketinggian satelit  $h=700$ km, dan slant range  $D=1010,46$ km maka diketahui kebutuhan HPBW nano satelit sebesar  $74,88^\circ$ . Kebutuhan HPBW untuk nano satelit dapat dipenuhi oleh antenna PIFA Array.

**3.1.4 Polarisasi**

Polarisasi yang dirancang untuk antenna PIFA array ini adalah Left Hand Circular Polarization (LHCP). Penentuan arah polarisasi sirkular ditentukan oleh *roadmap planning riset* pada perancangan transmitter pada space segment dan receiver pada ground station. Digunakan polarisasi jenis ini untuk mengurangi *Polarization Loss Factor* (PLF). PLF ini terjadi karena Rotasi Faraday yang terjadi dilapisan ionosfer sering kali memberikan efek pada sinyal berpolarisasi linear yang menyebabkan penurunan daya terima pada sinyal hasil pantul akibat dari mismatch polarisasi. Hal ini dapat ditangani dengan menggunakan sensor antenna berpolarisasi sirkular karena keuntungannya yang tidak terpengaruh secara signifikan oleh efek rotasi faraday [10].

**3.1.5 Gain**

Penentuan besar nilai gain antenna PIFA array ini didasarkan beberapa skenario link budget dari Tel-U Sat 1, selain itu besar gain antenna juga didasari dengan lebar beamwidth antenna sebagai parameter yang dianggap lebih penting. Sedangkan nilai minimum gain yang harus dipenuhi, diperoleh dari scenario link budget dari system komunikasi satelit dengan ground station. Nilai gain dari antenna dihitung menggunakan perhitungan link budget yang dengan menghitung dari rencana power yang akan dipancarkan ke satelit dari stasiun bumi untuk mendapatkan suatu nilai C/N total dari suatu link dengan memperhatikan datasheet referensi produk yang dilampirkan. Dalam perhitungan link budget ini besarnya power yang dipancarkan akan tergantung dari : jenis carrier, ukuran antenna penerima, karakteristik satelit, lokasi stasiun bumi dan layanan yang diharapkan. Hasil perhitungan link budget yang dilakukan menentukan bahwa antenna PIFA array sebagai antenna pada S-Band transmitter harus memiliki gain  $\geq 4$  dB [7].

**3.1.6 Hasil Penentuan Spesifikasi Antena**

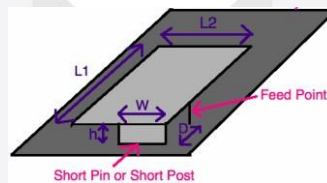
Dari perhitungan link budget dan referensi, serta mengacu kebutuhan sistem, maka spesifikasi antenna dapat disimpulkan sebagai berikut,

1. Frekuensi kerja : 2,325 GHz – 2,375 GHz
2. Return Loss :  $\leq -14$  dB
3. Pola Radiasi : Unidirectional
4. Polarisasi : Left Handed Circularly Polarized (LHCP)
5. HPBW : 74,88° (dengan arah mainlobe pada 0°)
6. Gain : 4 dB – 6,2475 dB

**3.2. Desain Antena dan Simulasi**

**3.2.1 Single Antenna**

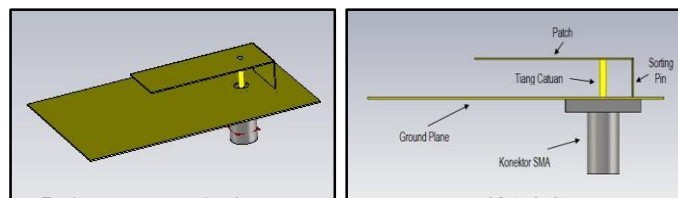
Perancangan awal dimulai dengan pembuatan antenna PIFA single sebagai dasar perancangan antenna sesungguhnya, struktur antenna masih dalam single patch belum dilakukan penambahan elemen antenna PIFA lainnya. Seperti terlihat pada gambar 3.2, dimana antenna PIFA single ini terdiri dari groundplane, substrat, dan patch yang tercatu langsung menggunakan konektor [10].



**Gambar 4 Dimensi antenna PIFA<sup>[11]</sup>**

Dimana,

$$L1 + H = \frac{1}{4} \lambda \tag{6}$$

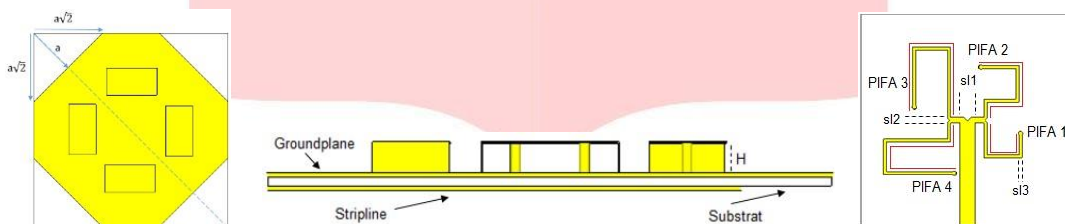


**Gambar 5. Antena PIFA single tampak perspektif (kiri) dan samping (kanan)**

Setelah dilakukan optimasi pada panjang patch, didapatkan nilai frekuensi resonan yang diinginkan. Pada frekuensi 2,35 GHz nilai returnloss dari simulasi antenna sebesar -27,016 dB. Untuk kondisi saat ini panjang patch menjadi 2,75 cm. Dan nilai axial ratio pada pusat antena yang masih tinggi, yaitu 40 dB menandakan bahwa polarisasi masih linear. Hal ini wajar karena antena PIFA pada dasarnya memiliki polarisasi linier.

### 3.5.2 Array

Pada akhir perancangan yang diinginkan adalah antenna PIFA array yang memiliki spesifikasi yang telah ditentukan. Keempat Antenna PIFA disusun melingkar di atas lapisan groundplane dan berurutan sesuai beda fasa, jarak antar masing-masing elemen antenna PIFA sudah ditentukan sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan salah satu spesifikasi parameter yaitu *Left Hand Circular Polarization* (LHCP). Dibawah groundplane merupakan lapisan dielektrik FR-4  $\epsilon_{rel} = 4,4$ , lapisan ini berfungsi membatasi lapisan groundplane dengan saluran feeding network yang nantinya akan mencatu masing-masing antenna PIFA. Pada gambar juga terlihat untuk *feed divider* penulis melakukan pemotongan siku pada kedua ujung dan ujung tengah, hal ini diharapkan arus masuk dari saluran pencatu 50  $\Omega$  yang akan didistribusikan ke saluran pembagi 100  $\Omega$  dapat meminimalisasi arus yang kembali lagi ke catuan 50  $\Omega$ , begitu juga distribusi ke saluran pembagi 200  $\Omega$  dapat meminimalisasi arus yang kembali ke catuan 100  $\Omega$ . Cara ini cukup efektif membuat nilai *return loss* menjadi lebih kecil meskipun tidak terlalu besar.



Gambar 6. Antena PIFA array tampak (kiri) depan, (tengah) samping, dan (kanan) belakang

Tabel 1. Parameter Inisialisasi dan Optimisasi Array

Parameter	Dimensi sebelum optimisasi (mm)	Dimensi setelah optimisasi (mm)	Keterangan
$L1$	27,5	25,6	Panjang PIFA
$L2$	10	14	Lebar PIFA
$H$	5	6	Tinggi PIFA
$SI1$	5,6	6,95	Lebar catuan utama
$SI2$	2,8	2,8	Lebar catuan kedua
$SI3$	1,4	1,4	Lebar catuan ketiga
$Lp1$	45,63	44,9234	Panjang saluran pencatu PIFA 1
$Lp2$	60,85	56,5924	Panjang saluran pencatu PIFA 2
$Lp3$	76,06	78,3314	Panjang saluran pencatu PIFA 3
$Lp4$	91,27	86,8983	Panjang saluran pencatu PIFA 4
$a$	0	25	Pemotongan sudut <i>grounplane</i>

### 3.5.3 Analisa Hasil Simulasi

Setelah proses optimisasi, diketahui nilai parameter antenna PIFA array hasil simulasi pada tabel berikut yang sudah mencapai kebutuhan dari spesifikasi, dimana frekuensi bawah antenna 2,325 GHz, frekuensi tengah 2,35 GHz, dan frekuensi atas antenna 2,375 GHz.

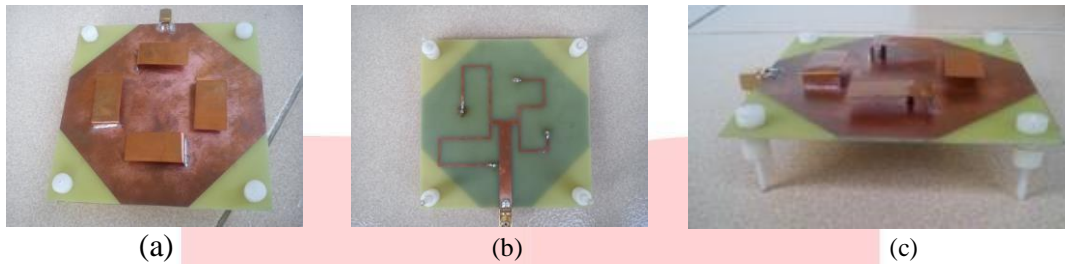
Tabel 2. Perbandingan Spesifikasi Kebutuhan dengan Hasil Simulasi

Parameter	Spesifikasi Awal	Pra Optimalisasi	Pasca Optimalisasi
<b>Return Loss</b>	Frekuensi tengah	< -14 dB	-11,4333 dB
	Frekuensi bawah	< -14 dB	-10,308 dB
	Frekuensi atas	< -14 dB	-12,557 dB
<b>Axial Ratio</b>	Frekuensi tengah	< 3 dB	4,5592 dB
	Frekuensi bawah	< 3 dB	3,0026 dB
	Frekuensi atas	< 3 dB	6,2848 dB
<b>Bandwidth</b>	Impedansi	50 MHz	-
	<i>Axial Ratio</i>	50 MHz	28,75 MHz
<b>HPBW</b>	Elevasi	74,88°	64°
	Azimuth	74,88°	63,4°
<b>Gain</b>	4 dB	5,8 dB	5,5 dB



### 3.6. Tahap Realisasi Antena

Realisasi atau fabrikasi antena dilaksanakan setelah hasil simulasi telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Realisasi antena dilaksanakan pada bahan sesuai dengan standar bahan yang telah ditentukan pada tahap perancangan. Proses pembuatan harus diperhatikan ketelitiannya karena akan berpengaruh terhadap performansi antena yang akan direalisasikan.



Gambar 7. Realisasi antena PIFA array tampak (a) depan (b) belakang dan (c) samping

## 4. Verifikasi Hasil Pengukuran dan Analisis

### 4.1. Pengukuran *Return Loss* dan *Bandwidth*

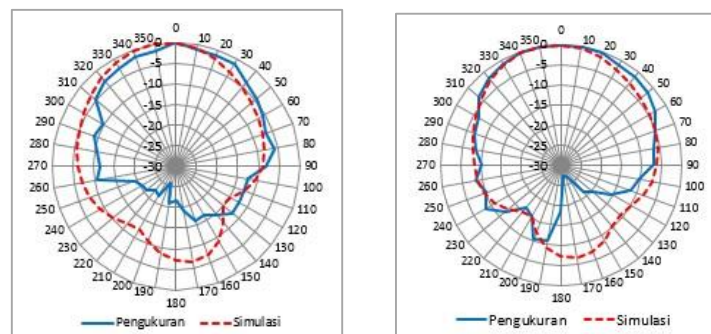


Gambar 8. Grafik *Return Loss* Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran antena, antena memiliki nilai returnloss yang lebih baik. Pada rentang frekuensi kerja antena antara 2,325 – 2,375 GHz nilai *return loss* antena dibawah -14 dB. Hal ini menunjukkan bahwa bandwidth impedansi yang dimiliki antena juga sudah lebih dari 50 MHz, yaitu sebesar 165 MHz.

### 4.2. Pengukuran Pola Radiasi

Pada pengukuran polaradisasi ini, penulis hanya melakukan pengukuran pada frekuensi tengah kerja antena, yaitu 2.35 GHz. Selanjutnya hasil pengukuran pola radiasi akan dianalisa dengan membandingkan hasil pengukuran dengan hasil simulasi. Perbandingan pola radiasi simulasi dan pengukuran antena disajikan pada gambar 4.6.

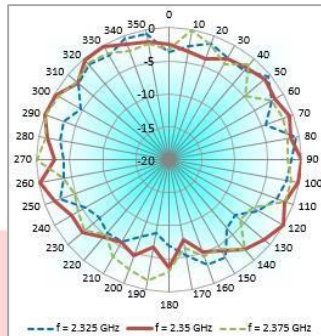


Gambar 9. Hasil simulasi dan pengukuran polaradisasi arah (kiri) azimuth dan (kanan) elevasi

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa pengukuran polaradisasi baik azimuth maupun elevasi sudah bisa dikatakan mendekati hasil simulasi. Perbedaan nilai pada sudut-sudut tertentu diakibatkan oleh kondisi lingkungan yang kurang ideal pada saat pengukuran sehingga memunculkan nilai variasi medan. Hasil HPBW simulasi  $75^{\circ}$

untuk elevasi dan  $76^0$  untuk azimuth. Sedangkan pengukuran  $102,02^0$  untuk elevasi dan  $89,67^0$  untuk azimuth. Lebar berkas HPBW baik azimuth maupun elevasi sudah sesuai kebutuhan, meski tidak sebagus nilai yang dihasilkan pada simulasi. Dan arah mainlobe sudah pada sudut  $0^0$  atau pada sumbu z positif sehingga bisa dikatakan unidireksional.

#### 4.3. Pengukuran Axial Ratio dan Polarisasi



Gambar 10. Pengukuran polarisasi antenna

Setelah dilakukan pengukuran maka nilai axial ratio dapat dibandingkan dengan nilai hasil simulasi seperti yang ada pada gambar 4.4. Pengukuran polarisasi antenna dilakukan pada tiga frekuensi kerja antenna, yaitu frekuensi batas bawah, frekuensi tengah antenna, dan frekuensi batas atas antenna. Nilai *axial ratio* minimum dan maksimum adalah nilai *axial ratio* yang sudah dihitung dengan mempertimbangkan nilai variasi medan pada saat pengukuran di sudut dan frekuensi tertentu. Untuk lebih jelasnya, nilai *axial ratio* dihadirkan dalam tabel berikut,

Tabel 3. Tabel Nilai *Axial Ratio*

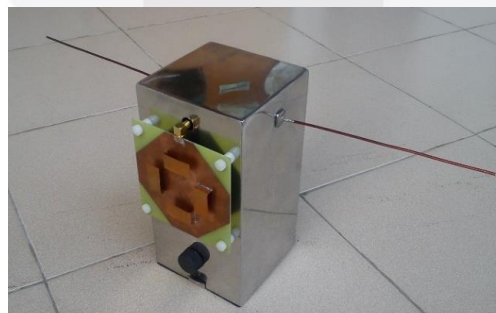
		Frekuensi (GHz)		
		2.325	2.35	2.375
Axial Ratio (dB)	Simulasi	1,9398	0,5231	2,1696
	Pengukuran	1,36	1,65	1,01

Dengan nilai axial ratio  $< 3$  dB [12], maka polarisasi dari antenna adalah circular direntang frekuensi kerjanya. Sehingga polarisasi yang didapatkan pada pengukuran antenna sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

#### 4.4 Pengukuran Gain

Berdasarkan hasil pengukuran daya terima antenna, didapatkan rata-rata daya terima sebesar -36,09 dB. perhitungan gain antenna dapat dicari menggunakan metode tiga antenna, hasil pengukuran memiliki nilai lebih kecil dari pada hasil simulasi. Pada simulasi didapatkan *gain* sebesar 5,5 dB sedangkan pada pengukuran didapat 4,21 dB. Namun, dengan demikian hasil pengukuran gain sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu  $> 4$  dB.

### 5 Pengukuran Antena pada Struktur



Gambar 11. Pengukuran polarisasi antenna

Setelah semua parameter kerja antenna sesuai spesifikasi yang diinginkan. Tahap akhir adalah pengukuran parameter kerja antenna pada struktur satelit nano. Posisi instalasi antenna tampak seperti gambar 4.5,

**Tabel 4. Hasil pengukuran antenna**

	Return Loss (dB)				Axial Ratio (dB)				HPBW		Gain (dB)
	Frek. Bawah	Frek. Tengah	Frek. Atas	BW (MHz)	Frek. Bawah	Frek. Tengah	Frek. Atas	BW (MHz)	Elevasi	Azimuth	
<b>Spesifikasi awal</b>	< -14	< -14	< -14	50	< 3	< 3	< 3	50	74,88°	74,88°	4
<b>Pengukuran</b>	-15,549	-20,461	-19,839	200	1,32	1,02	0,8	>50	110,74	110,48	4,16

Hasil pengukuran antenna dengan struktur ditunjukkan pada tabel 5.1. Untuk semua parameter kerja antenna meskipun mengalami perubahan setelah proses instalasi pada struktur, namun masih sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

## 6 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi antenna PIFA array adalah sebagai berikut:

1. Antena PIFA array yang telah dirancang memiliki dimensi 10×10×6 cm sesuai untuk digunakan pada struktur nano satelit dengan ukuran 2U.
2. Antena bekerja pada rentang frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi yaitu 2.325 GHz – 2.375 GHz dengan return loss dan axial ratio telah berhasil diverifikasi dan sesuai dengan spesifikasi perancangan awal.
3. Bandwidth return loss simulasi yang didapat adalah 123,33 MHz pada kondisi tanpa struktur, sedangkan bandwidth return loss pengukuran yang didapat adalah 167 MHz.
4. Bandwidth axial ratio simulasi yang didapat adalah 75,8 MHz pada kondisi tanpa struktur, sedangkan bandwidth axial ratio pengukuran yang didapat adalah lebih dari 50 MHz pada kondisi tanpa struktur.
5. Pola radiasi yang dihasilkan antenna adalah unidirectional. Dengan nilai HPBW antenna realisasi antenna tanpa struktur sebesar 102,020 untuk elevasi dan 89,670 untuk azimuth. HPBW antenna realisasi dengan struktur memiliki nilai HPBW lebih besar 8,54% untuk elevasi dan 23,2% untuk azimuth.
6. Hasil gain antenna simulasi sebesar 5,5 dB sedangkan gain antenna realisasi didapatkan sebesar 5,26 dB. antenna memiliki gain yang memenuhi kebutuhan link budget system RSPL satelit nano.
7. Teknik menggabungkan antenna dengan polarisasi linear berhasil membentuk antenna array, dengan saluran pencatu sebagai kunci untuk membagi fasa pada masing-masing antenna, sehingga antenna memiliki polarisasi sirkular dengan nilai axial ratio sebesar < 3 dB direntang frekuensinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Departemen Pendidikan Nasional. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta. Balai Pustaka. 2002.
- [2] Syaiki, Ahmad Yanuar. *Dasar Komunikasi Satelit*. Surabaya : Universitas Narotama. 2012.
- [3] Buchen, Elizabeth, DePasquale, Dominic. *2014 Nano/Microsatellite Market Assessment*. SpaceWorks Enterprises, Inc. Atlanta. 2014
- [4] Firmansyah, Faisal. *Rancang Bangun Desain Antena PIFA untuk Penangkapan Daya Elektromagnetik Pada Frekuensi GSM 900MHz dan DCS 1800MHz dengan metode electromagnetic Harvesting*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November. 2010
- [5] Dewi K, Mayang. *Rancang Bangun Dual Band Planar Inverted F Antena (PIFA) untuk Aplikasi Wimax 2.3 GHz dan 3.3 GHz*. Depok : Universitas Indonesia. 2009
- [6] Aerospace Exploration Center. *Mission Analysis Tel-U SAT*. Telkom University. Bandung. 2014.
- [7] Organisasi Amatir Radio Indonesia Daerah Jawa Barat. *Peraturan Perundang-Undangan yang Mendasari Keamatradioan di Indonesia*. Sekretariat ORARI. Jawa Barat. 2013
- [8] Balanis, Constantine A. *Antenna Theory Analysis And Design Third Edition*. JWS. New Jersey. 2005
- [9] Maral, G dan Bousquet, M, *Satellite Communication System (System, Technique and Technology) 2nd edition*. John Willey and Son. England. pp. 245-253
- [10] AlAmoudi, Ahmed and Langley, Richard, *Design of Inverted F Antenna for Low Earth Orbit (LEO) Satellite Application*, King Abdulaziz City for Science and Technology, Riyadh, Saudi Arabia, The University of Sheffield, Sheffield, UK.
- [11] PIFA - The Planar Inverted-F Antenna, Antenna Theori, www.antenna-theory.com, diakses terakhir tanggal 23 November 2011
- [12] Marwa Shakeeb, A. Sebak. "Circularly Polarized Microstrip Antenna". Thesis Concordia University Canada. 2010