

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP UHF 436 MHZ DENGAN POLARISASI SRIKULAR UNTUK *TELEMETRY, TRACKING, AND COMMAND* SATELIT MIKRO

DESIGN AND REALIZATION OF CIRCULARLY POLARIZED MICROSTRIP ANTENNA UHF 436 MHZ FOR *TELEMETRY, TRACKING, AND COMMAND OF MICROSATELLITE*

Ardian Nugraha¹, Heroe Wijanto², Agus Dwi Prasetyo³,
^{1,2,3}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

¹ardiannugraha@students.telkomuniversity.ac.id, ²heroewijanto@telkomuniversity.ac.id, ³adprasetyo@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Antena merupakan salah satu komponen subsistem komunikasi satelit, baik di sisi *space segment* dan di sisi *ground station*. Telkom University mengembangkan satelit berukuran mikro yang umumnya disebut satelit mikro. Satelit ini berbentuk kubus yang akan mengorbit pada lintasan *Low Earth Orbit* (LEO) pada ketinggian 500-1500 km dari permukaan bumi. Satelit memiliki fungsi dasar operasi yaitu melakukan *Telemetry Tracking and Command* (TT&C) yaitu operasi telemetri, penjejakan (*tracking*) satelit dan operasi pengiriman data perintah (*command*). Data operasi TT&C tersebut dikirim melalui antena UHF *transmitter* ke stasiun bumi. Untuk mengirim informasi data dari *payload* TT&C ke stasiun bumi, *transmitter* bekerja pada frekuensi UHF yaitu 436 MHz. Pada penelitian ini jenis antena dipilih mikrostrip karena bobotnya yang ringan, mendukung polarisasi sirkular, ukuran yang relatif kecil, dan konfigurasi yang *low profile*. Sehingga antena ini dapat disesuaikan dengan desain bentuk dan kebutuhan peralatan komunikasi modern, khususnya teknologi satelit mikro. Antena mikrostrip dirancang dengan menggunakan *truncated corner* agar didapatkan polarisasi sirkular untuk mengantisipasi efek rotasi *Faraday* akibat putaran ion yang ada di atmosfer. Teknik catuan yang digunakan adalah *probe coaxial*. Hasil perancangan disimulasikan dengan bantuan perangkat lunak bantu berbasis *Finite Integration Technique* (FIT) dengan menggunakan bahan substrat *epoxy* FR-4 dengan nilai $\mu_r = 4.3$. Hasil antena yang dirancang pada penelitian ini bekerja pada frekuensi *UHF-Band* 435 sd 437 MHz pada $VSWR \leq 1.5$ menghasilkan polarisasi sirkular ($AR < 3$ dB) yaitu sebesar 0.37 dB dan pola radiasi omnidireksional. Sedangkan lebar pita yang bekerja atau *effective bandwidth* pada antena tersebut saat $VSWR \leq 1.5$ dengan $AR < 3$ dB adalah ≈ 1.117 MHz.

Kata Kunci : Antena mikrostrip, *Telemetry Tracking and Command* (TTC), Satelit Mikro

Abstract

The antenna is a satellite communications subsystem components, both in the space segment and the ground station side. Telkom University developing micro-sized satellites are commonly called microsattellites. This satellite have a cubic shaped that will be orbit on the Low Earth Orbit (LEO) track at 500-1500 km from earth surface. Satellites have the basic functions that perform operations Telemetry Tracking and Command (TT & C) there are telemetry operations, tracking and satellite data transmission operation command. TT&C operation data is transmitted via UHF transmitter antenna to the earth station. On this thesis the type of antenna is microstrip because it have a light weight, support circular polarization, tiny size, and low profile configuration. So this antenna can be modified for design and requirement of modern communication tools, especially microsattelite technology. Microstrip antenna is design with truncated corner to get circular polarization to anticipate Faraday rotation effect because ion rotation on the atmosphere. The technique that is used in this thesis is probe coaxial. The results of the design is simulated with the help of software based on Finite Integration Technique (FIT) using epoxy substrate material FR-4 with a value of $\mu_r = 4.3$. Results antenna designed in this thesis work on the UHF-band frequency 435 - 437 MHz in $VSWR \leq 1.5$ produces circular polarization ($AR < 3$ dB) is 0,37 dB and omnidirectional radiation pattern. While the effective bandwidth of the antenna when the $VSWR \leq 1.5$ with $AR < 3$ dB is ≈ 1117 MHz.

Keyword: Microstrip Antenna, Telemetry Tracking and Command (TT&C), Microstellite

I. Pendahuluan

Teknologi satelit berkembang begitu pesat saat ini, menjadikan teknologi ini sebagai solusi berbagai macam permasalahan. Masalah seperti wilayah geografi seperti di Indonesia yang terdiri dari berbagai macam kepulauan dapat diselesaikan dengan teknologi ini. Telkom University sejak 2011 tergabung dalam INSPIRE (*Indonesian Nano-Satellite Platform Initiative for Research & Education*) yang bertujuan membangun dan mengembangkan platform teknologi satelit nano di kalangan perguruan tinggi di Indonesia. Telkom University mengembangkan satelit berukuran mikro yang akan diluncurkan tahun mendatang. Jenis satelit ini memiliki bentuk kubus dan masa tidak lebih dari 100kg. Satelit mikro ini akan mengorbit pada lintasan LEO (*Low Earth Orbit*) sekitar 300-1.000 km diatas permukaan bumi. Satelit memiliki fungsi dasar operasi yaitu melakukan *Telemetry Tracking and Command* (TT&C) yaitu operasi telemetri, penjejakan (*tracking*) satelit dan operasi pengiriman data perintah (*command*) ke satelit untuk melaksanakan misi operasinya. Sehingga secara kontinu dilakukan proses verifikasi dan pemeliharaan kesehatan

satelit, konfigurasi data perintah ke satelit, mendeteksi, mengidentifikasi dan menyelesaikan selauruh masalah yang terjadi. Data operasi TT&C tersebut dikirim melalui antena UHF *transmitter* ke stasiun bumi^[4].

Untuk mengatasi efek rotasi *Faraday* antena mikrostrip didesain berpolarisasi sirkular agar tidak terjadi *polarization loss factor*, maka digunakan metode *truncated corner* yaitu dengan memotong bagian kedua ujung *patch rectangular*. Selain itu antena mikrostrip tersebut juga dirancang polaradiasi *omnidirectional*^[16].

II. Antena Mikrostrip Persegi *Truncated Corner*

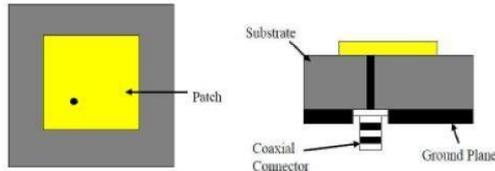
A. *Truncated Corner*^[6]

Teknik ini adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan polarisasi sirkular, yaitu dengan cara memotong ujung diagonal dari *patch*. Teknik ini biasanya disebut teknik perturbasi.

B. *Probe Coaxial*

Pada teknik ini, pencatuan dilakukan dengan cara melubangi *patch* untuk dihubungkan dengan elemen pencatu (konektor) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1. Penentuan letak titik catu yang tepat akan

memungkinkan antenna ini tidak membutuhkan rangkaian penyepadanan. Keuntungan teknik ini adalah penempatan konektor bisa di mana saja pada *patch* untuk menghasilkan impedansi antenna yang *match* dengan impedansi input konektor. Selain itu, karena kabel koaxial dihubungkan langsung dengan *patch*, maka kopling catuan dengan *patch* bisa diminimalkan.



Gambar 1. Teknik Pencatutan *Probe Coaxial* [20]

C. Dimensi Antena^[3]

1. Lebar *patch* (W)

Untuk menentukan lebar (W) *patch* antenna mikrostrip, digunakan persamaan,

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

Dimana:

- W : lebar konduktor (mm)
- ϵ_r : konstanta dielektrik
- c : kecepatan cahaya di ruang bebas ($3 \cdot 10^8$ m/s)
- f_0 : frekuensi kerja antenna yang diinginkan (Hz)

2. Panjang *patch* (L)

Pada umumnya *patch* mikrostrip memiliki panjang sebesar setengah panjang gelombang. Untuk menentukan panjang (L) dari elemen radiasi antenna mikrostrip digunakan persamaan [3]

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{r\text{eff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{r\text{eff}} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,813 \right)} \quad (2)$$

$$\Delta L = 0,412 \times h \frac{(\epsilon_{r\text{eff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{r\text{eff}} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,813 \right)} \quad (3)$$

Dimana h merupakan tinggi substrat atau tebal substrat, dan $\epsilon_{r\text{eff}}$ adalah konstanta dielektrik relative yang dirumuskan sebagai berikut,

$$\epsilon_{r\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-1/2} \quad (4)$$

Dengan panjang *patch* (L) dirumuskan oleh

$$L = L_{\text{eff}} - 2\Delta L \quad (5)$$

Dimana L_{eff} merupakan panjang *patch* efektif yang dapat dirumuskan dengan,

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}}} \quad (6)$$

3. Menentukan *truncated corner*^[6]

Untuk menentukan daerah sudut yang dipotong diagonal didapat dari perhitungan berikut. Dari persamaan dapat diketahui bahwa luas daerah perturbasi adalah

$$\Delta S = \frac{L}{2Q_r} \quad (7)$$

dengan menghitung terlebih dahulu 3 faktor kualitas^[18]

- a. Faktor kualitas akibat rugi-rugi dielektrik

$$Q_d = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{1}{0,01} = 100 \quad (\sigma/\omega\epsilon) \quad (8)$$

Dimana

$$\tan \delta = \text{rugi-rugi tangensial bahan } (\sigma/\omega\epsilon)$$

- b. Faktor kualitas akibat rugi-rugi konduktor

$$Q_c = h \sqrt{\pi} \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \sigma \quad (9)$$

- c. Faktor kualitas radiasi

$$x = \frac{\alpha}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (10)$$

$$F(x) = 2,666667378 - 1,06662519 \cdot x^2 + 0,209534311 \cdot x^4 - 0,019411347 \cdot x^6 + 0,001044121 \cdot x^8 - 0,000049747 \cdot x^{10} \quad (11)$$

Sehingga faktor kualitas radiasi dirumuskan

$$Q_r = \frac{4 \cdot a \cdot (\alpha^2 - 1) \cdot \epsilon_r^{3/2}}{h \cdot \alpha^3 \cdot F(x)} \quad (12)$$

Maka, faktor kualitas total^[6]

$$Q_t = \left[\frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_r} \right]^{-1} \quad (13)$$

Sehingga luas daerah perturbasi dirumuskan dengan,

$$\Delta S = \frac{L}{2Q_t} \quad (14)$$

Maka dapat ditentukan panjang sisi daerah perturbasi

$$l = \sqrt{\frac{\Delta S}{2}} \quad (15)$$

4. Menentukan Dimensi *Ground Plane*

Setelah didapat W dan L dari dimensi *patch* tersebut, maka untuk menentukan dimensi minimal *ground plane* dapat menggunakan persamaan

$$Ag = 6t + a \quad (16)$$

Dimana a adalah W dan L , dan t adalah tebal substrat.

III. PERANCANGAN

Sebelum melakukan realisasi antenna, terlebih dahulu dilakukan perancangan. Perancangan ini dilakukan dengan menggunakan software simulator perancangan antenna berbasis *Finite Integration Technique* (FIT). Setelah dihasilkan dimensi optimal antenna, langkah selanjutnya yaitu fabrikasi. Fabrikasi dilakukan dengan menggunakan jasa pencetakan *Printed Circuit Board* (PCB).

A. Model Perancangan

Dalam tahap ini menentukan spesifikasi awal antenna yang akan digunakan untuk men-transmitte data satelite. Mengacu pada system komunikasi yang dimiliki satelit LAPAN-TUBSAT untuk melayani komunikasi pengiriman data telemtri, data komando (*command data*) dan juga system muatannya. Spesifikasi^[16] tersebut seperti pada table 1 yaitu,

Tabel 1. Kebutuhan antenna TT&C ^[16]

Sistem Antena	
Frekuensi	436 MHz (UHF-Band)
Gain	3 dB
Polarisasi	Circular
Lebar pancaran (Beamwidth)	Omnidirectional (typical 450 x 3600)
Return Loss	25 dB
Lebar Pita (Bandwidth)	7.6 KHz (no guard band)
Konektor	SMA
Dimensi	15 x 15 x 15

Setelah ditentukan spesifikasi antenna kemudian dilakukan perhitungan dimensi mikrostrip, mulai dari substrat, *groundplane* dan *patch*. Dimensi tersebut dihasilkan dari perhitungan secara matematis. Dengan frekuensi kerja sebesar 436 Mhz.

1. Lebar *patch* (W)

Untuk menentukan lebar (W) *patch* antenna mikrostrip, digunakan persamaan (1), sehingga didapatkan $W = 0,2093 \text{ (m)} = 20,93 \text{ (cm)}$

2. Panjang *patch* (L)

Dari persamaan (2) didapatkan nilai ΔL sebesar $7,522125 \cdot 10^{-4} \text{ (m)}$. Kemudian dihitung nilai $\epsilon_{r \text{ eff}}$ dari persamaan (4) diperoleh nilai $\epsilon_{r \text{ eff}}$ sebesar 4,0834. Nilai L_{eff} didapat dari persamaan (6) sebesar 0,17025 (m), sehingga didapatkan nilai L dari persamaan (5) sebesar 0,1687 (m).

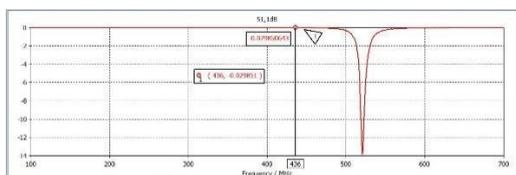
3. Menentukan *truncated corner*

Untuk menentukan daerah sudut yang dipotong diagonal didapat dari persamaan (15), dengan terlebih dahulu dihitung 3 faktor kualitas. Dari persamaan (13), yaitu factor kualitas total didapatkan $Q_t = 47,332$. Sehingga didapatkan l (panjang sisi *truncated corner*) = 0,943 (mm).

4. Menentukan Dimensi *Ground Plane*

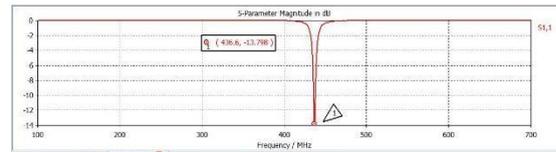
Dari persamaan (16) didapatkan dimensi *ground plane* sebesar 22 x 22 cm².

Dari hasil kalkulasi didapatkan grafik *return loss* sebagai berikut,



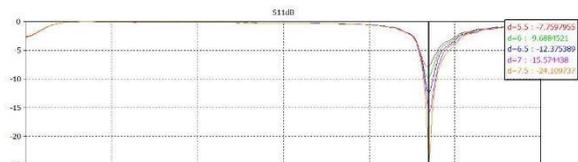
Gambar 2. Grafik Return Loss Perancangan Antena dengan Dimensi perhitungan

Berdasarkan gambar 2, belum didapatkan hasil *return loss* pada frekuensi 436 MHz sesuai yang diharapkan yaitu -10 dB. Kemudian dilakukan *adjustment* dengan mengubah ukuran *patch* dan *substrat* menjadi 162 mm dan 250 mm, didapatkan nilai *return loss* seperti pada gambar 3 yaitu,

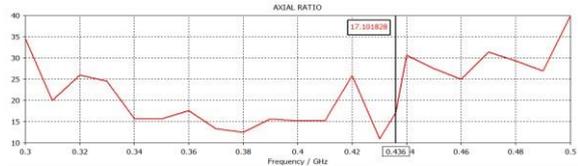


Gambar 3. Grafik Return Loss Setelah Dilakukan Adjustment pada Patch dan Substrat

Untuk mendapatkan polarisasi sirkular dilakukan teknik *truncated corner*, yaitu memotong kedua ujung pada *patch*. Dalam simulasi dilakukan analisis perubahan lebar sisi miring *truncated corner* terhadap nilai *return loss*. Hasil menunjukkan bahwa semakin lebar potongan *truncated* mengakibatkan nilai *return loss* semakin meningkat, dapat kita lihat pada gambar 4



Gambar 4. Grafik Perubahan Sisi Miring Truncated terhadap Nilai Return Loss

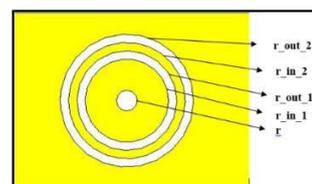


Gambar 5. Grafik Nilai Axial Ratio Hasil Penambahan Truncated Corner

Berdasarkan [18] nilai *axial ratio* untuk polarisasi sirkular adalah < 3 dB. Akan pada gambar 5, menunjukkan hasil penambahan *truncated corner* belum mendapatkan polarisasi sirkular. Maka dilakukan penambahan *slot* lingkaran pada *patch* seperti yang dilakukan oleh [19], dengan radius awal sesuai referensi yaitu $r = 5 \text{ mm}$. Sehingga didapatkan nilai *axial ratio* sebesar 16,76 dB. Nilai ini masih jauh dari yang diharapkan yaitu <3dB. Kemudian dilakukan modifikasi dengan menambahkan slot antenna lagi dengan parameter seperti pada table 2, agar dicapai nilai *axial ratio* yang diinginkan (<3dB).

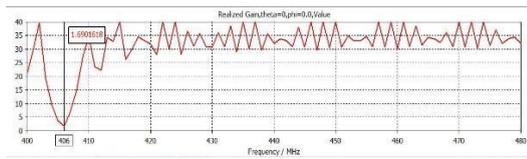
Tabel 2. Keterangan Dimensi Slot Lingkaran

Parameter	Keterangan
r	slot lingkaran utama
r_in_1	batas lingkaran dalam pertama
r_out_1	batas lingkaran luar pertama
r_in_2	batas lingkaran dalam kedua
r_out_2	batas lingkaran luar kedua



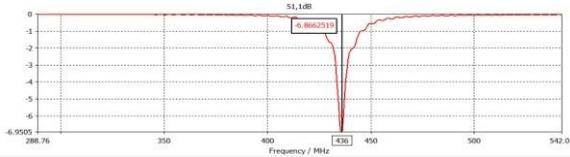
Gambar 6. Keterangan Parameter Slot pada Patch

Setelah dilakukan penambahan slot pada patch seperti gambar 6, didapatkan nilai axial ratio sebagai berikut,

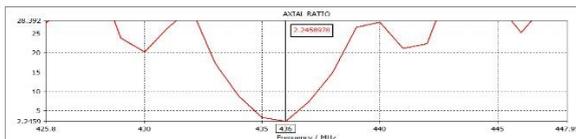


Gambar 7. Grafik Hasil Simulasi Penambahan Slot pada Patch

Dari gambar 7 didapatkan nilai axial ratio sebesar 1.69 dB akan tetapi pada frekuensi 406 MHz, sehingga untuk mendapatkan pada frekuensi yang diinginkan (436 MHz) dilakukan perubahan dimensi antenna. Karena pada penggunaan perangkat lunak berbasis Finite Integration Technique (FIT) ini adalah trial and error maka penulis melakukan adjustment kembali dengan mengubah-ubah nilai truncated corner, patch, substrat dan slot lingkaran. Sehingga didapatkan hasil nilai return loss dan axial ratio seperti pada gambar 8 dan 9 berikut,



Gambar 8. Grafik Nilai Return Loss dengan Penggunaan Slot pada Patch

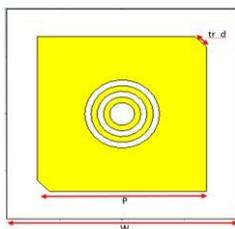


Gambar 9. Grafik Nilai Axial Ratio pada Frekuensi 436 MHz Hasil Adjustment Truncated, Patch, Substrat dan Slot Lingkaran

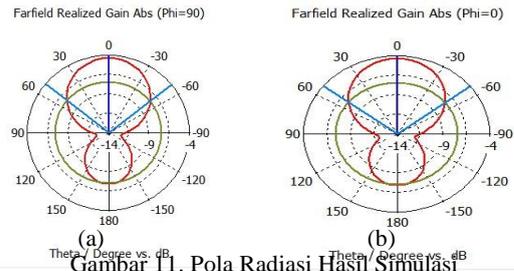
Sehingga didapatkan dimensi optimal seperti pada gambar 10 untuk setiap parameter yang ditunjukkan pada Tabel 3,

Tabel 3 Tabel dimensi Antena hasil optimalisasi

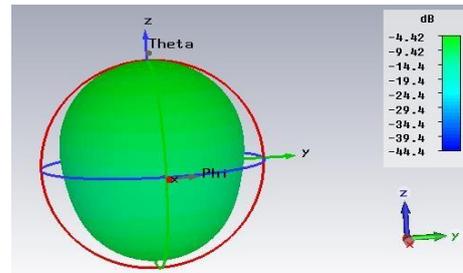
Parameter	Dimensi (mm)	Keterangan
P	136	Patch
W	185	Groundplane dan Substrat
Hs	1.6	Tinggi Substrat
Ht	0.0035	Tinggi konduktor
tr_d	13	sisi miring truncated
r_1	10	slot lingkaran utama
r_in_1	15	batas lingkaran dalam pertama
r_out_1	20	batas lingkaran luar pertama
r_in_2	20	batas lingkaran dalam kedua
r_out_2	30	batas lingkaran luar kedua



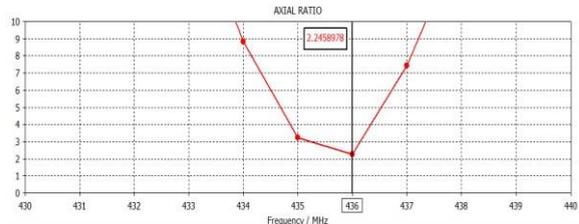
Gambar 10. Hasil Rancangan Desain Antena Setelah Adjustment



Gambar 11. Pola Radiasi Hasil Simulasi (a) Azimuth (b) Elevasi



Gambar 12. Gain Hasil Simulasi



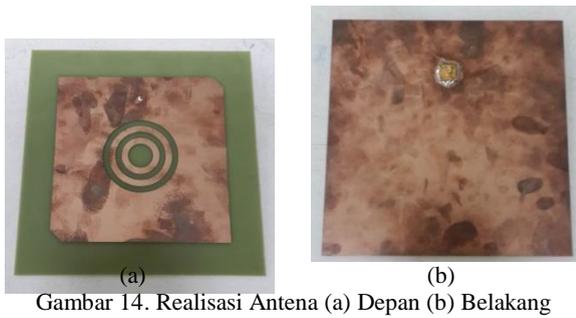
Gambar 13. Grafik Polarisasi Hasil Simulasi

B. Hasil Simulasi

Gambar 11a menunjukkan hasil pola radiasi secara azimuth, dan gambar 11b menunjukkan pola radiasi secara elevasi. Gain yang dihasilkan sebesar -4.42 dBi seperti pada gambar 12. Gambar 13 menunjukkan grafik nilai axial ratio hasil simulasi yaitu pada frekuensi 436 MHz didapatkan sebesar 2.24 dB, sehingga telah memenuhi syarat agar terjadi polarisasi sirkular yaitu axial ratio < 3dB^[18]. Dimana bandwidth axial ratio sebesar 0,89 MHz, melebihi spesifikasi yang diinginkan yaitu 7,6 KHz. Hal ini diakibatkan penambahan slot lingkaran pada patch yang memberikan dampak polarisasi sirkular sekaligus memperlebar bandwidth antenna.

C. Tahap Realisasi

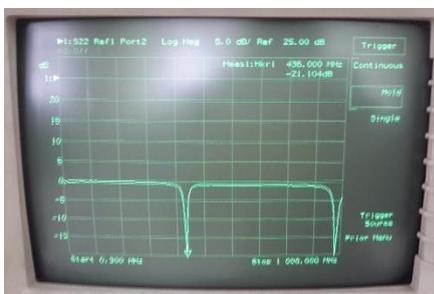
Tahap Selanjutnya antenna yang telah dirancang dan disimulasikan dengan perangkat lunak berbasis Finite Integration Technique (FIT), kemudian direalisasikan dengan menggunakan bahan yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu substrat Epoxy FR-4 di pabrik pencetakan dengan menggunakan jasa pencetakan antenna Printed Circuit Board (PCB). Hasil realisasi antenna tampak depan dapat kita lihat pada gambar 14a, dan tampak belakang pada gambar 14b,



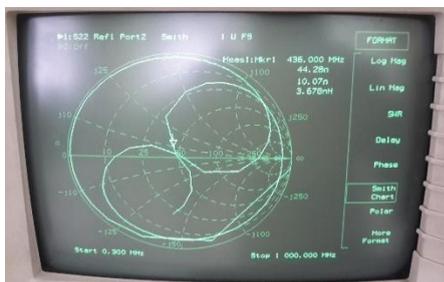
Gambar 14. Realisasi Antena (a) Depan (b) Belakang

IV. PENGUKURAN DAN ANALISIS

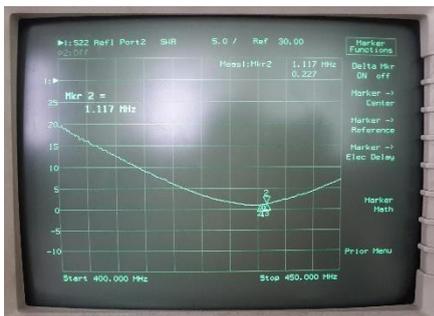
Setelah dilakukan realisasi antena hasil optimal dari simulasi maka dilakukan tahap selanjutnya yaitu pengukuran. Pengukuran dilakukan pada medan dekat dan medan jauh. Pengukuran medan dekat menggunakan perangkat Network Analyzer untuk melihat nilai *return loss*, *bandwidth* dan impedansi antena.



(a)



(b)



(c)

Gambar 15. Hasil Pengukuran (a) *Return Loss* ≤ -10 dB (b) Impedansi (c) *Bandwidth*

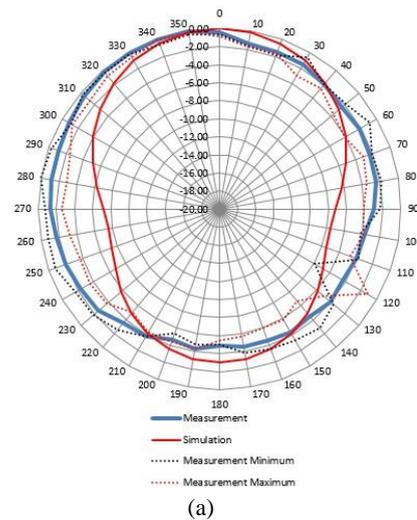
Dari gambar 15a didapatkan nilai return loss sebesar -21.104 dB. Pada gambar 15c terlihat bahwa *bandwidth* yang didapat yaitu 1,117 MHz dan pada gambar 15b didapatkan nilai impedansi antena yang terukur sebesar (44,28-j10,07) Ω .

Pengukuran medan jauh untuk mengukur pola radiasi, polarisasi dan *gain*. Perangkat yang digunakan saat medan jauh yaitu Signal Generator, Spectrum Analyzer dan antena referensi. Antena referensi yang digunakan yaitu dipole dengan gain 2,14 dB dan frekuensi kerja pada 436 MHz.

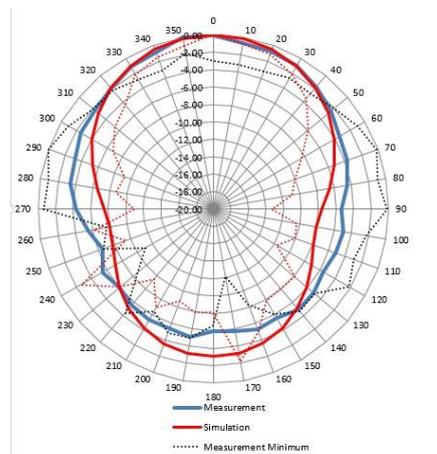
Dari hasil pengukuran *gain* didapatkan nilai pengukuran seperti pada table 4, dengan *gain* rata-rata sebesar -2.2256 dBi

Tabel 4 Hasil Pengukuran Gain Antena

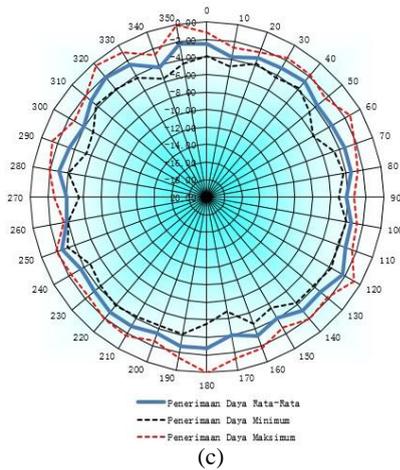
Frekuensi (MHz)	Gain Pengukuran (dBi)
435	-2.53
436	-2.34
437	-1.81
Rata-rata	-2.2266



(a)



(b)



Gambar 16. Hasil Pengukuran Pola Radiasi (a) Azimuth (b) elevasi (c) Polarisasi

Pada gambar 16a menunjukkan hasil pengukuran pola radiasi secara azimuth dan gambar 16b hasil pengukuran pola radiasi secara elevasi, dari kedua gambar didapatkan pola radiasi omnidireksional. Dari gambar 16c menunjukkan hasil pengukuran polarisasi, didapatkan polarisasi dari hasil nilai rata-rata *axial ratio* sebesar 0.37 dB sehingga dapat dinyatakan bahwa antenna ini memiliki polarisasi sirkular.

V. Kesimpulan dan Saran

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi antenna mikrostrip berpolarisasi sirkular dengan metode *truncated corner* dengan bentuk *patch rectangular*, adalah sebagai berikut:

1. Tujuan utama pembuatan Penelitian ini tercapai yaitu merealisasikan antenna dengan polarisasi sirkular untuk frekuensi 436 MHz, dengan nilai Axial Ratio sebesar 2.24 dB pada simulasi dan 0.37 dB pada pengukuran.
2. Penggunaan teknik *truncated corner* pada *patch* memberikan polarisasi sirkular, akan tetapi berdampak pada meningkatnya nilai dari *return loss*.
3. Pola radiasi yang didapatkan sesuai target yaitu omnidireksional.

B. Saran

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

1. Hendaknya pengukuran dilakukan di area yang minim pantulan dan interferensi sehingga lebih akurat dan variasi medan bisa $\leq 0,25$ dB.
2. Antena hasil perancangan pada penelitian ini dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan teknik lain untuk memperkecil dimensi antenna dan teknik untuk meningkatkan gain dengan tetap mendukung polarisasi sirkuler.
3. Sesuaikan datasheet bahan atau substrat yang ada di pasar maupun dipabrik dengan simulasi agar tidak terjadi kesalahan dalam pencetakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Krauss, John D. (1988). *Antenas for All Applications*, North America : McGraw-Hill Book Company.
- [2] Darwis, R. Sasmita, "Perancangan dan Pembuatan Antena UHF 436,5 MHz Berpolarisasi Sirkular Untuk Downlink Stasiun Bumi Satelit IINUSAT-01". Indonesian Student Conference on Satellite, Surabaya. December 17, 2011
- [3] Sujadi, Alan, Widyanto Dwiputra P, Eko Setijadi "Desain Antena Mikrostrip Array dengan Teknik Tapered Peripheral Slits untuk Satellite Nano pada Frekuensi 436,5 MHz". Indonesian Student Conference on Satellite, Surabaya, December 17, 2011
- [4] Ramesh,G, Bratiash, Prakash, "Microstrip Antena Design Handbook", Artech House, London, 2000
- [5] V. Rajya Lakshmi1, M. Sravani 2, G.S.N.Raju, "Parametric Study of a Novel Stacked Patch Antena". International Journal of Advances in Engineering & Technology, Jan 2012.
- [6] Zulkifli, Fitri Yulia, "Studi tentang Literatur Antena Mikrostrip". Makalah Seminar Penelitian Universitas Indonesia.2008
- [7] Abuzairi,Tommy. <http://tomyabuzairi.blogspot.com/2009/08/antena-mikrostrip.html>. Diakses 08 Mei 2013
- [8] Balanis, Constantine A. 2005. "Antena Theory Analisis and Desain 3rd edition". United Stated: Wiliey InterScience
- [9] 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
- [10] J. Q. Howell. Microstrip Antena Technology. IEEE Transactions on Antenas & Propagation, AP-29 (1):90-3, Januari 1975
- [11] Priyambodo, Tri Kuntoro; dkk. (2011). IINUSAT-1: Satelit-Nano Perdana di Indonesia untuk Penelitian dan Pendidikan. Jurnal Ilmiah KURSOR, Vol. 6, No. 1, hal. 45.
- [12] Putra, Praditya Rizky Pratama. "Perancangan dan Realisasi Susunan Antena Mikrostrip Berpolarisasi Sirkular Menggunakan Front-End Parasitik untuk S-Band Transmitter Sistem Synthetic Aperture Radar (Sar) Pada Space Segment". Telkom University, 2013.
- [13] Amrithesh and Singh, Kshetrimayun Milan. "Design of Square patch Microstrip Antena for Circular Polarization Using IE3D Software". National Institute of Technology Rourkela, Orissa, India, 2015
- [14] Iskander, M.F.. "Electromagnetic Fields and Waves".Prentice-Hall,1992.
- [15] Kusmaryanto, Sigit. "Spacecraft". Universitas Brawijaya. 2013
- [16] Judianto, Chusnul Tri. "Perancangan Operasi Satelit Lapan Tubsat untuk Perolehan Data Seluruh Wilayah Indonesia". Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). 2010

- [17] Syauki, Ahmad Yanuar.2012. “*Dasar Komunikasi Satelit*”. Surabaya : Universitas Narotama
- [18] <http://www.antena-theory.com/definitions/axial.php>. Diakses 18 Februari 2014
- [19] Fauzi,Ahmad, “*Antena Mikrostrip Slot Lingkaran Untuk Memperlebar Bandwidth Dengan Teknik Pencatuan Coplanar Waveguide Pada Frekuensi 2,3 GHz*”.Penelitian Universitas Indonesia.2010
- [20] <http://www.ispacs.com/journals/acte/2012/acte-00116/> Diakses 9 Juni 2014
- [21] Prasetyo, Bimo Jago. 2012. “*Perancangan daan Realisasi Antena Quadrifillar Heliks Untuk Remote Sensing Payload Pada IiNUSAT-I*”.Bandung : Institut Teknologi Telkom