

**PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENNA DEPLOYMENT
UNTUK MUATAN AUTOMATIC PACKET REPORTING SYSTEM (APRS) PADA STRUKTUR
NANOSATELLITE**

*DESIGN AND REALIZATION OF ANTENNA DEPLOYMENT
FOR AUTOMATIC PACKET REPORTING SYSTEM (APRS) PAYLOAD ON THE NANOSATELLITE
STRUCTURE*

Ratih Tryas Prodoningrum¹, Heroe Wijanto,² Agus Dwi Prasetyo³

^{1,2,3}School of Telecommunication Engineering, Telkom University

¹ratihtryas@students.telkomuniversity.ac.id, ²heroew@telkomuniversity.ac.id,

³adprasetyo@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Telkom University bersama *Aerospace Exploration Center* tengah mengembangkan satelit nano dengan nama Tel-U Sat. Satelit tersebut memiliki dimensi 10 cm × 10 cm × 10 cm dengan berat kurang dari 10 kg. Salah satu muatan pada Tel-U sat 1 adalah *Automatic Packet Reporting System* (APRS). APRS *nanosatellite* bekerja pada frekuensi 145.880 MHz yang berfungsi untuk mengirimkan posisi satelit kepada *Ground Station* secara periodik^[1].

Komunikasi APRS membutuhkan sebuah antena dengan cakupan pola radiasi yang luas sehingga digunakan antena monopole dengan panjang 54.5 cm. Panjang antena tersebut mengganggu pengepakan satelit pada sebuah *launch adapter* sebelum di tumpangkan ke roket sehingga diperlukan alat untuk menggulung antena. Setelah satelit berada pada ketinggian orbit rendah (*Low Earth Orbit*) yaitu 300-1000 km di atas permukaan bumi, antena dilepaskan sehingga APRS dapat mulai berfungsi. *Antenna deployment* menggunakan antena monopole dengan struktur nanosatellite sebagai *groundplane*. Struktur dibuat dari bahan aluminium dengan ukuran 10 cm × 10 cm × 10 cm dengan tebal 2 mm. Antena monopole dibuat dari bahan meteran (seng) dengan panjang 54.5 cm. Mekanisme kerja teknik *deployment* adalah dengan memutuskan benang *nylon* dari resistor pemanas pada elemen pemanas yang dipicu oleh informasi ketinggian berdasarkan data GPS.

Hasil pengukuran antena monopole dengan struktur sebagai *groundplane* pada frekuensi kerja 145.880 MHz mendapatkan VSWR 1.358 dengan *bandwidth* 21.54 MHz. Polarisasi yang diperoleh adalah polarisasi elips dengan nilai *axial ratio* 12.58 dB. Pola radiasi yang diperoleh adalah *omnidirectional* dengan nilai HPBW $\theta = 90^\circ$ selebar 104.25° dan HPBW $\phi = 0^\circ$ selebar 77.63° dan nilai gain yang diperoleh sebesar 4.44 dB. Pengujian teknik *deployment* mendapatkan hasil antena terlepas (*deploy*) dengan waktu rata-rata 3.88 menit dengan perincian 3.85 menit waktu penguncian modul GPS dan 1.8 detik waktu yang dibutuhkan untuk memutuskan benang *nylon* dari resistor pemanas.

Kata Kunci : APRS, antenna deployment, GPS

ABSTRACT

Telkom University in collaboration with *Aerospace Exploration Center* are developing a nano satellite with the name Tel-U Sat. The satellite has a dimension of 10 cm × 10 cm × 10 cm with a weight less than 10 kg. The one of Tel-U Sat payloads is *Automatic Packet Reporting System* (APRS). APRS *nanosatellite* work on frequency 145 880 MHz that is used to transmit satellite position to the *Ground Station* periodically.

APRS communication requires an antenna with wide coverage radiation pattern that is used monopole antenna with a length of 54.5 cm. The length of the antenna disturb packaging process of satellite into *launch adapter* before it laying on the rocket so its necessary a techniques to roll up the antenna. When the satellite at a low altitude orbit (*Low Earth Orbit*) is 300-1000 km above the Earth's surface, the antenna is released so APRS can start active. *Antenna deployment* using monopole antenna with nanosatellite structure as a *groundplane*. The structure is made from aluminum with a size of 10 cm × 10 cm × 10 cm with a thickness of 2 mm. Monopole antenna is made from zinc of measurement tape with length of 54.5 cm. Mechanism of deployment technique is to cut off nylon thread from the heater resistor on the heating element which is triggered by altitude information based on GPS data.

Monopole antenna measurement results with the structure as *groundplane* on the working frequency 145.880 MHz are VSWR 1.358 and bandwidth 21.54 MHz. Obtained polarization is elliptical polarization with axial ratio value is 12.58 dB. The radiation pattern obtained is *omnidirectional* with HPBW at $\theta = 90^\circ$ is 104.25° and HPBW $\phi = 0^\circ$ is 77.63° and gain value obtained is 4.44 dB. Testing deployment technique get the antenna

release (deployed) with an average time of 3.88 minutes with details of 3.85 minutes of the GPS module locking time and 1.8 seconds of time to break the nylon thread from the heater resistor.

Keywords: APRS, antenna deployment, GPS

1. Pendahuluan

Telkom Engineering School bersama *Aerospace Exploration Center (AXC)* mengembangkan teknologi satelit yang biasa disebut nanosatellite dengan merancang TEL-U Sat. Bentuk satelit yang akan dikembangkan adalah *cubesat* tipe 1U dengan dimensi $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ [5] dan massa kurang dari 10 kg. Satelit tersebut akan mengorbit pada lintasan Low Earth Orbit (LEO) yaitu 300-1000 km diatas permukaan bumi. Salah satu bagian dari space segment adalah subsistem RF (*Radio Frequency*) yang terdiri atas *S-Band transmitter*, TTC (*Telemetry, Tracking, and Command*), dan *Automatic Packet Reporting System (APRS)*.

Pada penelitian ini dirancang dan diimplementasikan antenna VHF untuk aplikasi *Automatic Packet Reporting System* dengan frekuensi 145.880 MHz[6] yang akan digunakan pada satelit nano untuk mengirim data posisi satelit secara periodik ke *ground station*[1]. Antena deployment merupakan antenna yang menggunakan mekanisme *deploy* untuk melepaskan penggulungan antenna untuk keperluan proses peluncuran satelit. Antena yang akan digunakan pada aplikasi APRS adalah antenna *monopole*. Antena *monopole* memiliki dimensi yang tidak terlalu besar dan jenis pola radiasi *omnidirectional*. Antena *monopole* yang dirancang dianalisis menggunakan *groundplane* yang dibuat menyerupai struktur satelit dengan dimensi 1U. Teknik deployment yang digunakan yaitu penggunaan ketinggian tertentu yang akan diidentifikasi melalui modul GPS. Ketika ketinggian telah mencapai posisi yang diharapkan, *microcontroller* mengaktifkan rangkaian pemanas selama 10 detik. Rangkaian pemanas membakar resistor pemanas dan memutus benang nylon. *Antena deployment* dirancang untuk menjaga keamanan antenna dan memudahkan dalam proses pengepakan satelit ke dalam *launch adapter* sebelum ditumpangkan ke roket pada proses peluncuran.

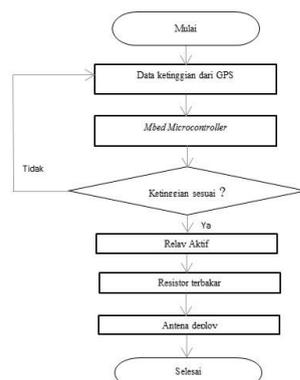
2. Landasan Teori

Automatic Packet Reporting System merupakan salah satu subsistem dalam sistem komunikasi satelit. APRS memiliki fungsi sebagai pengirim data posisi satelit secara periodik kepada Gound Station yang memiliki APRS *receiver*[1]. Antena monopole merupakan salah satu jenis antenna gelombang berdiri yang terbuat dari batang konduktor sedangkan antenna *deployment* merupakan sebuah sistem penggulungan dan pelepasan antenna satelit. Sistem ini dirancang untuk mempermudah proses pengepakan satelit pada launch adapter sebelum satelit ditumpangkan ke roket.

Pada penelitian ini antenna akan dilipat pada struktur subchassis dan diikat menggunakan benang nilon sebelum dilakukan pelepasan. Ketinggian digunakan sebagai sensor pengaktifan *antena deployment* yang didapat dari data modul *Global Positioning System (GPS)*. GPS adalah sebuah sistem navigasi global berbasis satelit yang dikendalikan oleh *United States Department of Defense (USDOD)* [2]. Data yang diterima modul GPS diubah menjadi format NMEA dan diproses oleh *microcontroller*. Rangkaian pemanas aktif ketika data GPS sudah menunjukkan ketinggian yang tepat. Pemutus benang nilon menggunakan resistor 0.125 W dengan memanfaatkan batas power rating resistor. Power rating adalah jumlah maksimum daya yang masih dapat diterima oleh resistor. Integrasi keseluruhan teknik *deployment* menggunakan bahasa pemrograman C++ pada *microcontroller*.

3. Model Sistem

Berikut adalah *flowchart* dari mekanisme kerja *antenna deployment*,



Gambar 3.1 Antenna Deployment Flowchart

Teknik deployment aktif ketika data GPS menunjukkan ketinggian yang diharapkan. Kondisi tersebut mengaktifkan pin 8 pada *microcontroller* sehingga membuat relay pada rangkaian pemanas menjadi *normally open* selama 10 detik. Arus mengalir menyebabkan resistor terbakar dan memutus benang *nylon* penahan antenna pada *subchassis*.

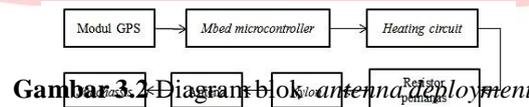
3.1 Spesifikasi Antena

Antena bekerja pada frekuensi rendah sehingga digunakan antena monopole untuk menghindari dimensi antena yang besar. Selain itu antena membutuhkan jangkauan area yang luas untuk kebutuhan *broadcast* data *telemetry* ke *Gorund Station* yang memiliki *APRS receiver* dan untuk menjaga agar komunikasi tetap berjalan meskipun satelit dalam keadaan *tumbling*, maka antena dirancang menggunakan monopole $\lambda/4$ dengan pola radiasi *omnidirectional*. Spesifikasi antena mengacu kepada referensi dan kebutuhan system[6]. Spesifikasi tersebut antara lain:

- a. Frekuensi Kerja : 145.88 MHz (*VHF*)
- b. Bandwidth : 20 kHz
- c. VSWR : 1.5
- d. Pola Radiasi : *Omnidirectional* dengan *HPBW* 74,88°
- e. Polarisasi : linear
- f. Gain : 2 dB

3.2. Tahap Perancangan

Diagram blok seluruh elemen antenna deployment dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Diagram blok antenna deployment

3.2.1 Antena

Dimensi antena monopole diperoleh dari persamaan 1 dan 2 dan lebar antena 15 mm (sesuai dengan lebar bahan meteran (seng) :

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{145.88 \times 10^6} = 205.648 \text{ cm} \tag{1} [4]$$

$$\tag{2} [4]$$

Tahap perancangan antena monopole menggunakan perangkat lunak FIT meliputi tiga kondisi yaitu :

a. Antena Monopole dengan Struktur dan *Subchassis* A

Antena monopole dirancang dalam bentuk persegi panjang pipih menyerupai bentuk meteran dengan ukuran sesuai perhitungan. Pada perancangan teknik *deployment* antena, antena monopole digulung mengitari sebuah lintasan (*subchassis*) yang diletakkan di atas struktur dengan ukuran 10 cm × 10 cm × 10 cm dan tebal 2 mm. Rancangan ini merupakan rancangan utama karena pada kondisi sebenarnya antena diletakkan di atas struktur berbahan logam dan sebuah *subchassis*. Rancangan dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Antena monopole dengan struktur dan *subchassis*

b. Antena Monopole tanpa Struktur A

Antena monopole dirancang di atas sebuah *groundplane* dengan ukuran 10 mm × 10 mm. Rancangan dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Antena monopole tanpa struktur

c. Antena Monopole dengan Struktur sebagai *Grounplane* A

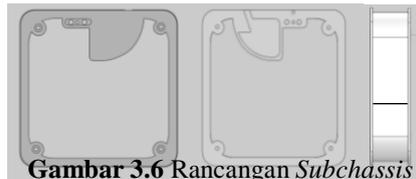
Kondisi terakhir perancangan adalah antena monopole diletakkan pada sisi atas struktur tanpa penambahan *subchassis*. Rancangan dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Antena monopole dengan struktur

3.2.2 Subchassis

Subchassis berfungsi sebagai lintasan untuk menggulung antena, tempat peletakkan konektor antena dan tempat resistor pemanas. Subchassis dirancang dengan ukuran 9.5 cm × 9.5 cm × 1.9 cm dengan bahan plastik ABS. Rancangan dapat dilihat pada gambar 3.6

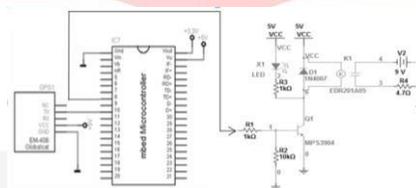


Gambar 3.6 Rancangan Subchassis

3.2.3 Elemen Pemanas

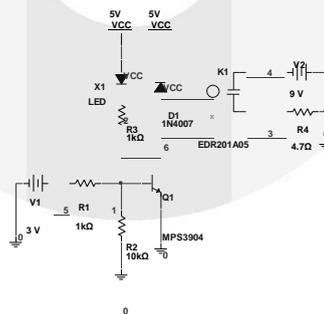
Dalam perancangan elemen pemanas dilakukan dalam beberapa tahapan di antaranya:

1. kema Elemen Pemanas
Elemen Pemanas terdiri atas modul GPS, microcontroller, dan rangkaian pemanas yang dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Skema Elemen Pemanas

2. ancarangan rangkaian pemanas menggunakan perangkat lunak bantu
Rangkaian pemanas berfungsi untuk membakar resistor dengan menggunakan saklar berupa relay. Sebelum direalisasikan, rangkaian dirancang menggunakan *multisim* dan diuji hingga rangkaian bekerja dengan baik. Rancangan rangkaian pemanas dapat dilihat pada gambar 3.8. Selanjutnya jalur rangkaian di cetak dalam bentuk PCB dengan bahan FR2 dengan rancangan menggunakan perangkat lunak bantu *altium*.



Gambar 3.8 Rancangan Rangkaian Pemanas

3.2.4 Hasil Simulasi

a. Antena Monopole Tanpa Struktur

Simulasi antena monopole untuk panjang 514.12 mm nilai $|S_{11}| = -0.01458$ dB. Kemudian dilakukan parameter sweep dan didapat *sample* dengan ukuran terpanjang 680 mm dengan hasil masih belum mencapai spesifikasi yang diinginkan sehingga pada parameter berikutnya hanya dilakukan optimalisasi pada dua kondisi antena yang lain.

Tabel 3.1 Hasil Simulasi Antena Sebelum Optimalisasi

Parameter	Antena tanpa struktur	Antena dengan struktur	Antena dengan struktur dan subchassis
Return Loss (dB)	-0.0145	-1.4911	-1.4976
VSWR (dB)	1191.42	11.68	11.63
Gain (dB)	-0.0145	-1.4911	-1.4976

b. Perbandingan Hasil Simulasi Setelah Optimalisasi

Hasil simulasi dengan panjang dari perhitungan awal belum memenuhi spesifikasi yang diharapkan, maka dilakukan optimalisasi. Hasil dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Simulasi Antena setelah Optimalisasi

Parameter	Antena dengan struktur	Antena dengan struktur dan subchassis
Panjang (mm)	680	680
Return Loss (dB)	-18.972	-19.168
Axial Ratio (dB)	40	40
VSWR	1.2537	1.2474
Bandwidth (MHz)	7.77	8.1
Penguatan (dB)	1.85	1.85
Polarisasi	Linier Vertikal	Linier Vertikal
Pola Radiasi	Omnidirectional	Omnidirectional

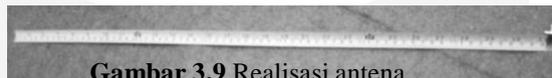
Data pada tabel 3.2 menunjukkan bahwa penambahan subchassis memberikan selisih nilai return loss, dan VSWR masing-masing sebanyak 0.196 dB dan 0.0063 dengan hasil penguatan yang sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa subchassis tidak mengganggu performansi antena.

3.4 Tahap Realisasi

Realisasi dilaksanakan setelah hasil simulasi telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Tahap realisasi meliputi :

3.4.1 Realisasi Antena

Realisasi antena menggunakan struktur aluminium dengan ketebalan 2 mm. Antena yang digunakan berbahan seng dari meteran yang memiliki sifat elastis sehingga memudahkan untuk proses *deployment*. Realisasi dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Realisasi antena

3.4.2 Realisasi Subchassis

Subchassis dibuat dari bahan plastik ABS menggunakan 3D *printing*. Realisasi *subchassis* dapat dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Realisasi *subchassis*

3.4.3 Realisasi Rangkaian Pemanas

Jalur rangkaian pemanas dibuat dengan bahan FR2 menggunakan perangkat lunak bantu *Altium*. Realisasi dapat dilihat pada gambar 3.11

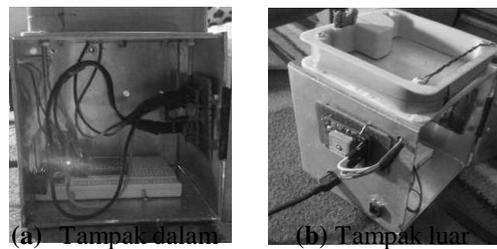


Gambar 3.11 Realisasi Rangkaian Pemanas

3.4.4 Integrasi Rangkaian Pemanas dengan module *Global Positioning System* dan *Microcontroller*

Pada tugas akhir ini ketinggian orbit satelit akan diasumsikan dengan ketinggian wilayah Deyeuh Kolot yaitu 600 m di atas permukaan laut[3]. Untuk memproses NMEA data yang diterima dan mengaktifkan pin 8, mikrokontroler menggunakan pemrograman menggunakan bahasa C++. Setelah semua bagian direalisasikan selanjutnya adalah integrasi seluruh bagian *antenna deployment* menjadi satu sistem pada *prototype* struktur

satelit. Struktur satelit dibuat menggunakan bahan aluminium dengan dimensi panjang 10 cm, lebar 10 cm, tinggi 10 cm, dan tebal 2 mm. Subchassis dan antenna diletakkan di sisi atas struktur untuk menjaga pola radiasi antenna saat memancar dan menghindari penumpukan dengan *solar cell* yang akan dipasang pada sisi samping satelit. Selanjutnya mikrokontroler, modul GPS dan rangkaian pemanas diintegrasikan di bagian dalam struktur satelit. Hasil integrasi tersebut dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Integrasi Antenna Deployment

4. Pengukuran, Pengujian, dan Analisis

4.1. Pengukuran VSWR, Bandwidth, dan Impedansi

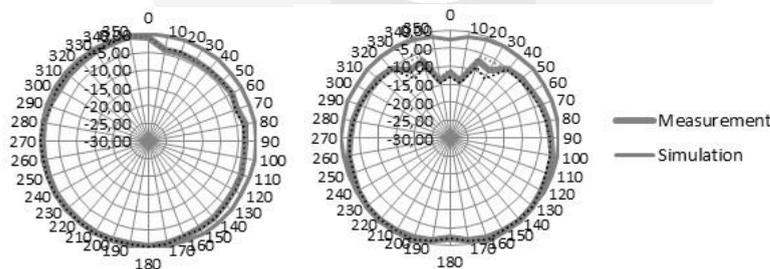
Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Pengukuran

Parameter	Tipe Perancangan			
	Antena tanpa struktur		Antena dengan struktur dan subchassis	
	L= 68 cm	L= 54.5 cm	L= 68 cm	L= 54.5 cm
VSWR	8.66	1.853	6.737	1.358
Return Loss (dB)	-2.014	-10.23	-2.598	-16.434
Impedansi (Ω)	433	70.79	271.7	57.87

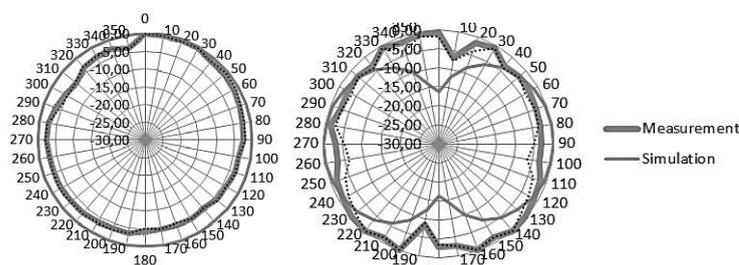
Dari hasil pengukuran di atas dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran pada antenna tanpa struktur dan dengan struktur dan *subchassis* dengan panjang hasil simulasi belum memenuhi spesifikasi, maka dilakukan optimasi panjang antenna hingga memenuhi parameter yang dibutuhkan pada panjang 54.5 cm.

4.2. Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi dilakukan pada frekuensi kerja yaitu 145.880 MHz. Pengukuran dilakukan dengan arah $\theta = 90^\circ$ dan $\phi = 0^\circ$ dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Pola radiasi arah $\theta=90^\circ$ dan $\phi=0^\circ$ pada antenna tanpa struktur



Gambar 4.2 Pola radiasi arah $\theta=90^\circ$ dan $\phi=0^\circ$ pada antenna dengan struktur dan subchassis

Tabel 4.2 Hasil simulasi dan pengukuran HPBW arah $\theta = 90^\circ$ dan $\phi = 0^\circ$

Antena (L=54.5cm)	HPBW antena tanpa groundplane		HPBW antena dengan groundplane dan subchassis	
	Theta = 90°	Phi = 0°	Theta = 90°	Phi = 0°
Simulasi	102.4°	85.1°	360° (-2.4dB)	85.7°
Pengukuran	91.25°	210.53°	104.25°	77.63°

Hasil dari tabel 4.2 menunjukkan bahwa terjadi perbedaan pola radiasi hasil simulasi dan pengukuran. Namun, nilai HPBW yang didapat dari seluruh hasil telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu melebihi 74.88°. Maka, antena tersebut layak digunakan sebagai antena APRS Tel-U Sat.

4.3. Pengukuran Axial Ratio dan Polarisasi

Dari hasil pengukuran tercatat level daya yang terbaca pada spectrum analyzer. Dari level daya tersebut dapat menganalisis kuat medan elektrik sehingga dapat diketahui jenis polarisasi dari antena. Besar kuat medan elektrik dapat dihitung dengan persamaan 3.

$$AR = \frac{E_{major}}{E_{minor}} = \sqrt{\frac{P_{\text{watt major}} \times 10^{17}}{A_e}} \div \sqrt{\frac{P_{\text{watt minor}} \times 10^{17}}{A_e}} \tag{3} [4]$$

Berdasarkan tabel pengukuran polarisasi untuk antena *monopole* L= 54.5 mm tanpa struktur level dan hasil perhitungan axial ratio yang didapat adalah 2.58 dB mengindikasikan antena memiliki polarisasi circular. Sedangkan untuk antena *monopole* L=545 mm dengan struktur dan subchassis nilai axial ratio hasil perhitungan adalah 12.58 dB mengindikasikan antena memiliki polarisasi elips.

4.4 Pengukuran Gain

Merupakan perbandingan densitas radiasi antena pada jarak titik tertentu terhadap daya input total antena (P_{in}/P_m) yang diradiasikan secara isotropis. Metode pengukuran gain untuk frekuensi rendah VHF menggunakan dua antena identik. Hasil pengukuran gain dapat dilihat pada gambar 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran gain

Antena (L=54.5cm)	Gain	
	Antena tanpa struktur (dB)	Antena dengan struktur dan subchassis (dB)
Simulasi	-24.5	-2.36
Pengukuran	2.53	4.44

4.5 Pengujian Teknik Deployment

4.5.1 Pengujian Modul GPS

Pengujian modul GPS ini dilakukan dalam keadaan *indoor* dan *outdoor*. Parameter ketinggian orbit diasumsikan dengan ketinggian Deyeuh Kolot sebagai lokasi pengujian yaitu 600 m di atas permukaan laut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bangunan dan berpengaruh terhadap lama penguncian lokasi GPS.

Tabel 4.4 Hasil pengujian modul GPS *indoor*

Pengujian	Waktu Penguncian Lokasi (menit)	Ketinggian Penguncian Lokasi (mdpl)
Pertama	28.06	609.4
Kedua	32.78	603.4
Ketiga	31	609.5
Rata-rata	30.61	607.4

Tabel 4.5 Hasil pengujian modul GPS *outdoor*

Pengujian	Waktu Penguncian Lokasi (menit)	Ketinggian Penguncian Lokasi (mdpl)
Pertama	3	632.9
Kedua	3.77	667.2
Ketiga	4.77	696.5
Rata-rata	3.85	665.5

Hasil tabel 4.3 dan 4.4 menunjukkan rata-rata waktu penguncian lokasi pada modul GPS di kondisi indoor dan outdoor adalah 30.61 menit dan 3.85 menit.

4.5.2 Pengujian Antenna Deployment

Pengujian ini dilakukan setelah seluruh elemen telah diintegrasikan dan modul GPS telah mengunci lokasi dan ketinggian. Pengujian waktu terputusnya benang nylon dan terlepasnya antenna disebut pengujian rangkaian pemanas dengan hasil pengujian dapat dilihat di tabel 4.4.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Rangkaian Pemanas

Percobaan	Waktu Pelepasan Antena (detik)
Pertama	1
Kedua	3
Ketiga	1
Keempat	1
Kelima	3

Data tabel 4.5 menunjukkan bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan benang nylon putus dan antenna terlepas adalah 1.8 detik pada suhu ruangan menggunakan catu daya 9 V dan arus 1 A. Jika data pengujian modul GPS dan data pengujian rangkaian pemanas digabungkan maka waktu yang diperlukan dihitung dari pengaktifan modul GPS untuk melepaskan antenna dari penggulung adalah 3.88 menit.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari perancangan dan realisasi antenna deployment adalah sebagai berikut.

1. Antena monopole dengan groundplane dan subchassis memenuhi spesifikasi parameter pada panjang antenna 54.5 cm setelah dilakukan optimalisasi pada frekuensi kerja 145.880 MHz.
2. Bandwidth yang didapatkan dari hasil pengukuran return loss > -14 dB adalah di frekuensi 130.96 MHz dan 152.50 MHz sebesar 21.54 MHz. Hasil tersebut telah mencapai spesifikasi bandwidth yang dibutuhkan yaitu 20 KHz.
3. Seluruh hasil pengukuran maupun simulasi pola radiasi antenna dengan kondisi antenna tanpa struktur dan antenna dengan struktur dan subchassis menghasilkan HPBW lebih dari 74.88° .
4. Polarisasi pada simulasi menghasilkan polarisasi linear vertikal dengan AR 40 dB, namun hasil pengukuran menghasilkan polarisasi elips dengan AR 12.58 dB. Hal ini dikarenakan ada efek multipath pada pengukuran.
5. Gain hasil pengukuran antenna dengan struktur dan subchassis adalah 4.4 dB.
6. Penambahan elemen *subchassis* tidak mengganggu kinerja antenna dan penambahan struktur pada antenna dapat berfungsi sebagai *groundplane*.
7. Pengujian teknik *deployment* mendapatkan hasil antenna terlepas (*deploy*) dengan waktu rata-rata 3.88 menit dengan perincian 3.85 menit waktu rata-rata penguncian modul GPS dan 1.8 detik waktu rata-rata untuk memutuskan benang *nylon* penahan antenna dari resistor pemanas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adnane, Abdelhak, El Bachir, dkk. "Design of APRS Network using Low Cost Nanosatellite" European Association for Signal Processing (EURASIP) Conference.2013
- [2] A. L. Michael, M. N. Lisa, N.N. Andrew, S.Z. Victor, "Time and Frequency Measurements Using the Global Positioning System", The International Journal of Metrology.2001
- [3] Badan Statistik Kabupaten Bandung. "Dayeuh Kolot dalam Angka 2014".2 Januari 2015. <http://bandungkab.bps.go.id/>
- [4] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design 3rd edition*. United State: Wiliey InterScience.
- [5] D. James, W. Lucas, and W. Stephanie, "A Modular and Adaptable Cubesat Frame Design".2010.
- [6] VK2XJG. "APRS via Satellite". 2 Februari 2015. <http://www.aprs.net.au>