

PERANCANGAN DAN REALISASI MODUL KOMUNIKASI SATELIT KUBUS PADA FREKUENSI UHF DENGAN MENGGUNAKAN *COMMERCIAL OFF-THE SHELF RADIO MODULE*

Archie Fauzan Primanda¹, Bambang Setia Nugroho², Edwar³

^{1,2,3} Universitas Telkom

archiefauzan@student.telkomuniversity.ac.id¹, bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id²,

edwarm@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Teknologi satelit merupakan teknologi dengan bidang pengembangan yang sangat luas. Salah satu jenis dari implementasi teknologi satelit adalah satelit kubus (Cubesat) yang memiliki ukuran 10x10x10 cm yang mengorbit di LEO (Low Earth Orbit) pada ketinggian 400-100 km. Cubesat sangat cocok untuk proyek-proyek universitas karena misinya yang sederhana dan biayanya yang murah. Sistem komunikasi satelit adalah teknologi yang menggunakan satelit buatan untuk mengirim dan menerima sinyal antara titik-titik yang berbeda. Pengembangan satelit nano di Indonesia merupakan bidang yang baru dan terus berkembang dengan bertujuan untuk menggunakan satelit yang kecil, berbiaya rendah dan memiliki performa tinggi untuk berbagai aplikasi. Penggunaan *Commercial Off-The Shelf Radio Module* (COTS) untuk satelit kubus di Indonesia merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk mengurangi biaya dan kompleksitas satelit yang dirancang. Pada penelitian ini, penulis menggunakan dua modul radio COTS yang berbeda, yaitu RFM69HW dan RF4463PRO, untuk merancang sistem komunikasi satelit nano yang beroperasi pada frekuensi 437 MHz (UHF). Sistem komunikasi satelit kubus ini didukung oleh mikrokontroler STM32F103 dan diintegrasikan pada board PC-104. Penelitian ini terdiri dari beberapa langkah yaitu penentuan komponen, proses desain dan fabrikasi, integrasi, dan pengujian.

Kata kunci: satelit nano, sistem komunikasi satelit, modul komunikasi, COTS, frekuensi UHF.

I. PENDAHULUAN

Teknologi satelit merupakan teknologi yang memiliki lahan pengembangan yang sangat luas. Teknologi ini digunakan karena memiliki keunggulan pada bidang cakupan observasi yang besar. Pada saat ini teknologi satelit diibandingkan dengan berbagai macam jenis, salah satunya adalah satelit nano yang memiliki spesifikasi ukuran 1-10 Kg. Satelit nano sendiri memiliki beberapa jenis, salah satunya adalah Cubesat yang memiliki dimensi 10 x 10 x 10 (1U) [1]. Cubesat mengorbit pada orbit LEO (Low Earth Orbit) dengan ketinggian antara 400 – 100 Km [2]. Cubesat pun biasanya memiliki misi yang relative sederhana dan tidak membutuhkan biaya yang besar, sehingga menjadi salah satu platform pengembangan satelit di ranah universitas [3].

Sistem komunikasi satelit adalah teknologi yang menggunakan satelit buatan untuk mengirim dan menerima sinyal antara lokasi yang berbeda di Bumi atau di luar angkasa. Sistem komunikasi satelit dapat menyediakan berbagai layanan, seperti suara, data, video, navigasi, penyiaran, dan penginderaan jauh. Sistem komunikasi satelit dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis sesuai dengan orbit satelit, seperti geostasioner (GSO), orbit Bumi menengah (MEO), orbit Bumi rendah (LEO), dan orbit Bumi tinggi (HEO). Setiap jenis sistem komunikasi satelit memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing dalam hal cakupan, latensi, kapasitas, biaya, dan kompleksitas [4].

Pengembangan satelit nano di Indonesia merupakan bidang yang relatif baru dan sedang berkembang, yang

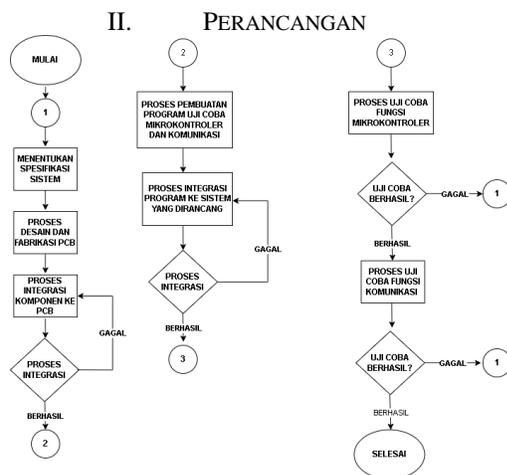
bertujuan untuk memanfaatkan satelit berukuran kecil dengan biaya rendah dan performa tinggi untuk berbagai aplikasi, seperti komunikasi, penginderaan jarak jauh, navigasi, ilmu pengetahuan, dan pendidikan [5]. Pengembangan satelit nano di Indonesia didorong oleh kebutuhan dan tantangan dari negara Indonesia yang merupakan negara kepulauan yang memiliki banyak pulau dan wilayah rawan bencana. Pengembangan satelit nano di Indonesia melibatkan berbagai pemangku kepentingan, seperti perguruan tinggi, lembaga penelitian, perusahaan swasta, dan instansi pemerintah. Salah satu contoh pengembangan satelit nano di Indonesia adalah proyek Surya Satelit-1, yang merupakan Cubesat berukuran 1U yang didesain dan dibangun oleh mahasiswa Universitas Surya dan didukung oleh LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional). Proyek Surya Satelit-1 ini bertujuan untuk menyediakan layanan pesan singkat untuk daerah terpencil dengan menggunakan muatan APRS (Automatic Packet Reporting System) [6].

Penggunaan modul radio komersial siap pakai (COTS) untuk satelit kubus di Indonesia merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk mengurangi biaya dan kerumitan dalam mengembangkan dan mengoperasikan satelit kecil untuk berbagai aplikasi. Makalah terbaru oleh Chan dkk. (2021) menjelaskan prototipe perangkat keras dan teknik pemrosesan data yang telah dikembangkan dan diuji untuk menunjukkan kelayakan balon GNSS-RO berdasarkan penerima GNSS COTS1 [7]. Makalah lain oleh Lovascio dkk. (2019) menjelaskan desain penerima frekuensi radio

telemetri, pelacakan, dan perintah (TTC) untuk satelit kecil berdasarkan komponen COTS, yang dapat digunakan untuk komunikasi dan kontrol satelit kubus [8].

Dari penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa pengembangan satelit nano di Indonesia memiliki potensi yang besar untuk memberikan manfaat bagi Indonesia, terutama dalam hal komunikasi untuk daerah-daerah terpencil dan rawan bencana. Namun, pengembangan satelit nano di Indonesia juga masih menghadapi banyak tantangan, seperti kurangnya pendanaan, infrastruktur, sumber daya manusia, regulasi, dan koordinasi. Oleh karena itu, dibutuhkan lebih banyak penelitian dengan pengembangan teknologi satelit nano di Indonesia khususnya dengan menggunakan modul radio COTS sehingga pengembangannya dapat lebih mudah dikembangkan dengan sumber daya yang ada. Adapun pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Saudara Ikhwan Muzakki telah dirancang sistem komunikasi satelit yang berkerja di frekuensi 145 MHz (VHF) dengan daya keluaran sebesar -12.64 dBm [9].

Pada penelitian ini, penulis untuk merancang sebuah sistem komunikasi satelit nano yang bekerja pada frekuensi 437 MHz (UHF). Adapun pada penelitian ini dirancang dua buah sistem komunikasi satelit nano dengan menggunakan modul radio berbeda yaitu RFM69HW dan RF4463PRO. Pemilihan dua modul radio COTS ini beralasan dikarenakan komponen yang tersedia secara komersial yang dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam desain satelit kubus. Modul ini menawarkan keuntungan seperti biaya rendah, keandalan yang tinggi, dan kompatibilitas dengan standar komunikasi yang ada. Sistem komunikasi satelit kubus ini pun didukung oleh mikrokontroler STM32F103 dan akan diintegrasikan pada PCB PC-104



GAMBAR 1.
DIAGRAM ALIR PERANCANGAN

Penelitian tugas ini dirancang berdasarkan beberapa tahapan yang telah ditentukan oleh penulis. Diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1 diatas menjelaskan tahapan – tahapan tersebut. Perancangan sistem yang telah dirancang terdiri dari 3 main step, dimana pada tahap pertama akan dilakukan penentuan spesifikasi dari sistem yang akan dikembangkan. Pada penelitian ini dirancang sebuah modul

komunikasi yang bekerja pada frekuensi UHF (432-438 MHz) dengan menggunakan dua modul radio COTS yaitu RFM69HW dan RF4463PRO lalu diintegrasikan dengan sistem mikrokontroler STM32F103C8T6 dan nantinya akan diimplementasikan pada PCB dengan form factor PC-104. Pada penelitian ini pula digunakan LNA (Low Noise Amplifier) yang berguna sebagai penguat.

Setelah spesifikasi ditentukan, dilakukan proses desain dan fabrikasi dari PCB sebagai wadah untuk implementasi sistem yang dirancang. Tahap ini dilakukan diawali dengan mendesain PCB sesuai dengan mengaplikasikan komponen – komponen pendukung ke PCB sehingga sistem yang dirancang dapat bekerja dengan baik. Kemudian, desain yang telah dirancang akan selanjutnya dilakukan fabrikasi. PCB yang telah difabrikasi kemudian akan dilakukan pengintegrasian komponen utama dan komponen pendukung. Jika proses integrasi berhasil maka tahap perancangan akan dilanjutkan ke milestone kedua.

Pada milestone kedua, dilakukan pembuatan program yang nantinya akan digunakan untuk pengujian fungsi mikrokontroler dan komunikasi. Program yang telah dibuat akan kemudian diintegrasikan dengan sistem yang telah dirancang. Jika pengintegrasian program ke sistem berhasil maka penelitian dapat dilanjutkan ke milestone terakhir yaitu pengujian dari sistem yang telah dirancang.

Pada milestone ketiga, terdapat 2 tahapan penting yaitu pengujian fungsi mikrokontroler dan pengujian fungsi komunikasi dari sistem yang telah dirancang. Pada pengujian fungsi mikrokontroler, jika pengujian tidak berhasil maka akan dilakukan analisis terhadap milestone pertama yaitu penentuan spesifikasi sistem, desain dan fabrikasi PCB, dan akan dilanjutkan ke analisis program yang dibuat. Namun, jika pengujian fungsi mikrokontroler berhasil maka penelitian dapat dilanjutkan ke pengujian fungsi komunikasi. Sama seperti dengan pengujian fungsi mikrokontroler, jika pengujian fungsi komunikasi tidak berhasil maka akan dilakukan analisis terhadap milestone pertama, Berikut merupakan tahapan alir perancangan dari penelitian ini.

A. Spesifikasi Sistem

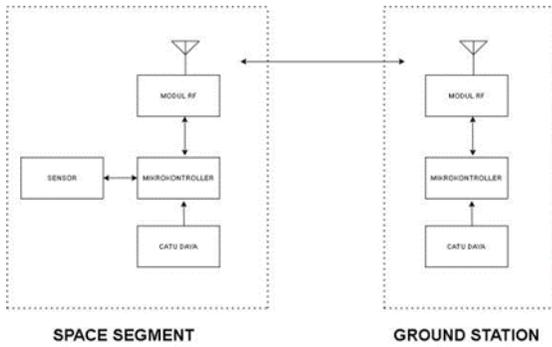
Pada penelitian ini, dirancang sistem yang memiliki spesifikasi pada Tabel 1 berikut:

TABEL 1.
SPESIFIKASI SISTEM

PARAMETER	KETERANGAN
FREKUENSI	432 – 438 MHz
MODULASI	GFSK
DAYA KELUARAN MAKSIMAL (TRANSMIT)	Up to +20 dBm
SENSITIVITAS	-126 dBm
FORM FACTOR PCB	PC-104

Kemudian, Gambar 2 merupakan gambaran dari sistem komunikasi satelit yang akan direalisasikan pada penelitian ini. Berdasarkan blok diagram sistem yang dirancang, sistem dibagi menjadi dua segmen yaitu space segment dan ground segment.

Serupa dengan sistem space segment, sistem ground segment menggunakan mikrokontroler dan modul RF. Pada sistem ground segment, cara kerjanya adalah menerima sinyal yang dikirimkan oleh space segment dan menampilkannya melalui terminal sehingga dapat diamati oleh end user. Ground segment pun dilengkapi koneksi jalur catu daya untuk mengaliri daya ke komponen utama.



GAMBAR 2. DIAGRAM BLOK SISTEM

B. KOMPONEN

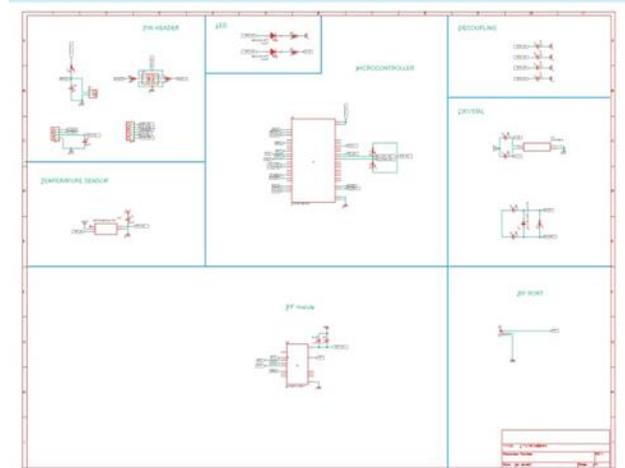
Pada penelitian digunakan beberapa komponen yang nantinya akan diintegrasikan ke dalam PCB yang memiliki form factor PC-104. Komponen – kompoen yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2. LIST KOMPONEN

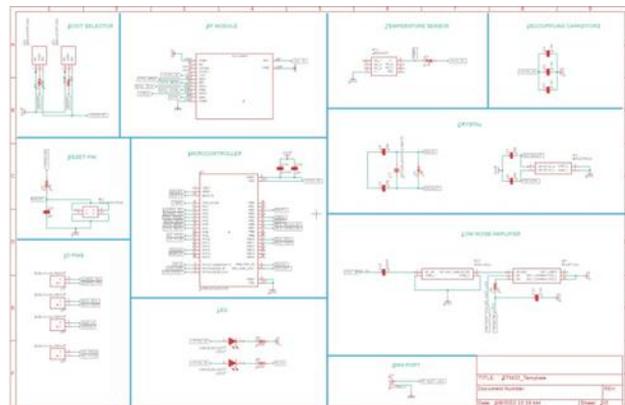
KOMPONEN	KETERANGAN
MIKROKONTROLER	STM32F103C8T6
MODUL RADIO	RFM69HW & RF4463PRO
SENSOR SUHU	LM335DT
LOW NOISE AMPLIFIER	PGA-102+

C. SKEMATIK

Berikut merupakan dokumentasi dari skematik yang dirancang pada penelitian ini. Skematik digunakan untuk menentukan pin yang berada di suatu komponen tersambung ke pin yang ada di komponen lainnya dengan benar. Gambar 3 merupakan skematik yang dirancang untuk modul komunikasi yang dibuat dengan menggunakan RFM69HW sebagai modul radionya. Sedangkan, Gambar 4 merupakan skematik dari modul komunikasi yang menggunakan RF4463PRO sebagai modul radionya.



GAMBAR 3. SKEMATIK MODUL KOMUNIKASI RFM69HW



GAMBAR 4. SKEMATIK MODUL KOMUNIKASI RF4463PRO

D. PERHITUNGAN LINK BUDGET

Satelit pada yang mengorbit pada orbit LEO (Low Earth Orbit) memiliki ketinggian diantara 200-2000 Km di atas permukaan bumi. Perhitungan ini diperlukan untuk mengetahui apakah modul komunikasi yang dirancang memiliki spesifikasi yang cukup untuk menjalin komunikasi dari space segment ke ground segment. Perhitungan dilakukan dengan mneggunakan persamaan link budget sebaagai berikut dengan menggunakan parameter daya kirim sebesar 20 dBm, rugi – rugi dari transmitter ke antana sebesar 0.5 dB, gain antena pengirim sebesar 5 dBi, free space path loss pada jarak 400 Km sebesar 137.3 dB, loss tracking + atmosphere attenuation sebesar 1.2 dB, gain antena penerima sebesar 5 dBi, dan rugi–rugi dari receiver ke antenna sebesar 0.5 dB. Maka didapatkan hasil – 109.5 dBm

$$PRx = PTx - LTx + GTx - Lpath - L + GRx - LRx(1)$$

$$PRx = 20 - 0.5 + 5 - 137.3 - 1.2 + 5 - 0.5(2)$$

$$PRx = -109.5 \text{ dBm}(3)$$

Dengan *Lpath* yang melambangkan *Free Space Loss* yang merupakan pe;emahan energi radio antara antara pengirim dan penerima yang diakibatkan oleh jarak dan

Panjang gelombang sinyal. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung besaran *Free Space Loss*,

$$L_{path} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right) - G_t - G_r(4)$$

$$L_{path} = 20 \log_{10}(400) + 20 \log_{10}(437) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{3 \times 10^8} \right) - 5 - 5(5)$$

$$L_{path} = 137,3 \text{ dB}(6)$$

III. HASIL DAN ANALISA

A. RELISASI I DESAIN PCB PADA BOARD PC-104

Proses realisasi desain PCB pada board PC-104 dilakukan dengan melalui tahap fabrikasi terhadap desain yang telah dirancang sebelumnya. Setelah PCB selesai difabrikasi, dilakukan integrasi terhadap komponen yang digunakan ke PCB. Dengan berhasilnya proses integrasi komponen, maka setelah itu dapat dilakukan pengujian terhadap fungsi mikrokontroler dan fungsi komunikasi dari sistem yang dirancang. Gambar 5 merupakan hasil fabrikasi dan integrasi sistem dengan menggunakan modul radio RFM69HW. Sedangkan Gambar 6 merupakan hasil fabrikasi dan integrasi sistem dengan menggunakan modul radio RF4463PRO



GAMBAR 5. PCB MODUL KOMUNIKASI RFM69HW



GAMBAR 6. PCB MODUL KOMUNIKASI RF4463PRO

B. Pengujian Fungsi Mikrokontroler

Pengujian mikrokontroler dilakukan setelah proses integrasi komponen ke board PC-104 berhasil dilakukan. Pengujian ini dilakukan dengan memberi perintah sederhana yang selanjutnya akan dieksekusi oleh mikrokontroler. Adapun perintah yang dilakukan adalah mengeluarkan output berupa kata ke terminal Gambar 7 merupakan hasil pengujian pada sistem yang menggunakan modul radio RFM69HW. Se,emyata Gambar 8 merupakan hasil dari

pengujian pada sistem yang menggunakan modul radio RF4463PRO



GAMBAR 7. HASIL PENGUJIAN FUNGSI MIKROKONTROLER PADPADA MODUL KOMUNIKASI MENGGUNAKAN MODUL RFM69HW



GAMBAR 8. HASIL PENGUJIAN FUNGSI MIKROKONTROLER PADA MODUL KOMUNIKASI RF4463PRRO

C. Pengujian Fungsi Komunikasi

Pengujian fungsi komunikasi dilaksanakan dengan 6 tahapan yaitu kondigurasi modul radio yang dimana modul radio akan dilakukan konfigurasi menggunakan *software* yang telah disediakan oleh pabrikan yang dapat dilihat pada Gambar 9 dna Gambar 10.

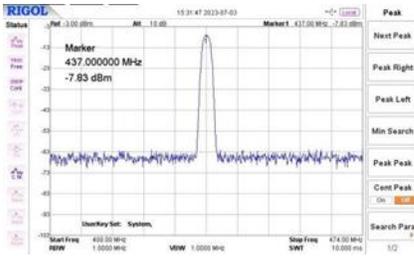


GAMBAR 9. KONFIGURASI MODUL RADIO PADA MODUL KOMUNIKASI RFM59HW



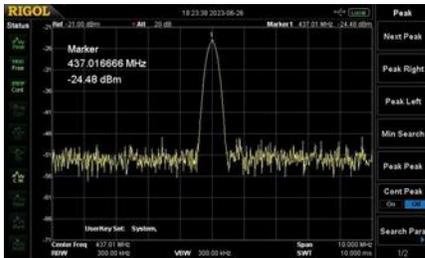
GAMBAR 10. KONFIGURASI MODUL RADIO MODUL KOMUNIKASI RF4463PRO

Selanjutnya anlisis menggunakan *spectrum analyzer* yang dilaksanakan dengan maksud melihat frekuensi kerja dan daya keluaran dari modul pada saat keadaan *transmit* yang dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



GAMBAR 11.

OUTPUT SPECTRUM PADA MODUL KOMUNIKASI RFM59HW



GAMBAR 12.

OUTPUT SPECTRUM PADA MODUL KOMUNIKASI RF4463PRO

Perhitungan *link budget* dimana hasil daya keluaran yang telah dianalisis dengan menggunakan *spectrum analyzer* kemudian dihitung untuk mengetahui apakah sistem dapat berkomunikasi dari *space segment* ke *ground segment* pada ketinggian orbit 400 Km yang dapat dilihat pada persamaan dibawah.

$$PRx = PTx - LTx + GTx - Lpath - L + GRx - LRx \quad (4)$$

$$PRx = 22.17 - 0.5 + 5 - 137.3 - 1.2 + 5 - 0.5(5)$$

$$pRx = -107.33 \text{ dBm}(6)$$

$$PRx = PTx - LTx + GTx - Lpath - L + GRx - LRx \quad (7)$$

$$PRx = 15.52 - 0.5 + 5 - 137.3 - 1.2 + 5 - 0.5(8)$$

$$PRx = -113.98 \text{ dBm}(9)$$

Kemudian pengujian pengiriman data yang dilakukan dengan cara mengirimkan pesan dari satu modul dan nantinya akan diterima di modul yang lain dan menampilkan pesan yang dikirim pada terminal yang dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.

```

Transmit Test      Receive Test
Sent Failed        Receive Failed
    
```

GAMBAR 13.

PENGUJIAN PENGIRIMAN DATA PADA RFM69HW

```

Transmit Test
Sending Data...Board Test, Message Number : 1
Totals : 1
*****
Sending Data...Board Test, Message Number : 2
Totals : 2
*****
Sending Data...Board Test, Message Number : 3
Totals : 3
*****

Receive Test
Received Message: Board Test, Message Number : 1
Received Message: Board Test, Message Number : 2
Received Message: Board Test, Message Number : 3
    
```

GAMBAR 14.

PENGUJIAN PENGIRIMAN DATA PADA MODUL KOMUNIKASI RF4463PRO

Setelah uji pengiriman data dilakukan, maka selanjutnya dilakukan *range test* yang bertujuan untuk mensimulasikan pengiriman data dengan jarak yang ditentukan. Adapun pada pengujian ini jarak yang digunakan adalah 949.22 M seperti yang dapat dilihat pada Gambar 15.



GAMBAR 15.

LOKASI PENGUJIAN RANGE TEST

Lalu, pengujian terakhir yang dilakukan adalah analisa konsumsi daya yang dilakukan dengan cara mengkonfigurasi modul radio untuk bekerja pada modulasi dan data rate yang berbeda – beda. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3.
ANALISA KONSUMSI DAYA
PENGUJIAN KONSUMSI DAYA

MODULASI	DATA RATE	VOLTASE (V)	ARUS (A)	DAYA (W)
2FSK	4800 kbps	3.299	0.135	0.445
	9600 kbps	3.297	0.135	0.445
2GFSK	4800 kbps	3.297	0.135	0.445
	9600 kbps	3.297	0.135	0.445
4FSK	4800 kbps	3.297	0.135	0.445
	9600 kbps	3.297	0.135	0.445
4GFSK	4800 kbps	3.297	0.135	0.445
	9600 kbps	3.297	0.135	0.445

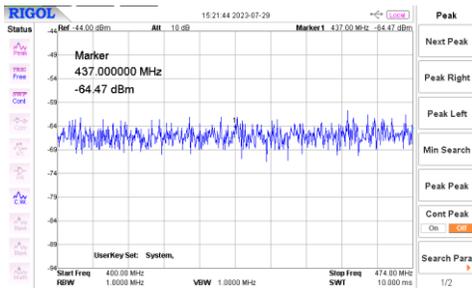
Pada Pengetesan selanjutnya dilakukan percobaan pengujian pengiriman data dengan konfigurasi modulasi, data rate, dan jarak yang berbeda. Berikut pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa pengujian yang dilakukan pada modulasi 2FSK, 2GFSK, dan 4FSK dapat dinyatakan berhasil dikarenakan komunikasi antar modul dapat terjalin. Sedangkan, pengujian dengan menggunakan modulasi

4GFSK dinyatakan gagal setelah komunikasi antar modul tidak dapat terjalin, hal tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah konfigurasi WDS3 dan kondisi kabel penghubung antara board dengan perangkat pengujian.

TABEL 4.
HASIL PENGUJIAN RANGE TEST DENGAN PERBEDAAN MODULASI DAN DATA RATE

RANGE TEST DENGAN PERBEDAAN MODULASI DAN DATA RATE						
MODULASI	JARAK					
	50 METER		100 METER		150 METER	
	4800 kbps	9600 kbps	4800 kbps	9600 kbps	4800 kbps	9600 kbps
2FSK	Pengujian Berhasil					
2GFSK	Pengujian Berhasil					
4FSK	Pengujian Berhasil					
4GFSK	Pengujian n Gagal					

Pada pengujian ini dilakukan simulasi komunikasi antara ground segment dan space segment dengan jarak 400 Km. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan spectrum analyzer untuk melihat seberapa besar daya yang dikirimkan pada jarak 400 Km. Pengujian ini dilakukan dengan cara menambahkan attenuator sebesar 140 dB pada output sisi pengirim sesuai dengan perhitungan yang dilakukan pada bagian 3.6 lalu kemudian dihubungkan ke antenna. Di sisi penerima, spectrum analyzer dihubungkan ke antenna sehingga selanjutnya dapat dilihat besar daya keluaran yang diterima. Pada Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa daya keluaran yang diterima adalah sebesar -64.47 dBm. Hasil ini masih belum sesuai dengan hasil perhitungan yang dilakukan, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah ketidaktepatan hasil yang dikeluarkan oleh spectrum analyzer dan terjadinya kebocoran sinyal sehingga daya yang diredam oleh attenuator tidak maksimal.



GAMBAR 16,
HASIL SIMULASI KOMUNIKASI GROUND SEGMENT DENGAN SPACE SEGMENT

IV. KESIMPULAN

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan merealisasikan modul komunikasi untuk satelit kubus

dengan menggunakan modul radio COTS. Modul komunikasi mengikuti format papan PC-104, yang merupakan ukuran standar untuk komponen Cubesat. Modul ini terdiri dari dua bagian: pengirim dan penerima, keduanya beroperasi pada frekuensi 437 MHz. Modul komunikasi diuji kinerja dan fungsionalitasnya dengan menggunakan berbagai metode. Daya output dari dua modul radio, RFM69HW dan RF4463PRO, diukur dan dibandingkan. Komunikasi antara modul pengirim dan penerima juga diuji dengan menggunakan modulasi dan kecepatan data yang berbeda. Jangkauan komunikasi modul RF4463PRO dievaluasi dengan menempatkan modul pada jarak yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul komunikasi menggunakan modul radio COTS berhasil dirancang dan direalisasikan. Modul RF4463PRO memiliki daya output yang lebih rendah daripada modul RFM69HW, tetapi dapat berkomunikasi antara modul pengirim dan penerima, tidak seperti modul RFM69HW. Modul RF4463PRO juga mencapai komunikasi pada jarak 900 m dan pada berbagai modulasi dan kecepatan data, kecuali untuk modulasi 4GFSK. Modul komunikasi memenuhi persyaratan untuk sistem komunikasi satelit kubus.

REFERENSI

- [1] J. Chin, R. Coelho and R. Coelho, CubeSat101 Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers, San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 2017.
- [2] Dzaky Ivansyah, M., Mufti, N., Hian, H., & Putra, D. (2021). Development of a CubeSat Single Channel LoRa Receiver Module for Space-based IoT Application. Journal of Measurements, Electronics, Communications, and Systems, 08, 8–16. <https://doi.org/10.0000/0000000>
- [3] Bandar Lampung, U., Muhida, R., Setiawan, J. D., Rahmono, A., Yanto, H. A., Edwar, E., & Budiyono, A. (n.d.). Mechatronics Systems View project Novel relative humidity sensor View project Riza Muhida Nanosatellite Applications in Indonesia: Status, Challenges and Future Prospects. <https://www.researchgate.net/publication/365838731>
- [4] X. Zhang, Y. Liu, and Z. Wang, “Research Status of Typical Satellite Communication Systems,” in 19th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON), 2021.
- [5] Riza Muhida, Joga D. Setiawan, Agung Rahmono, Harki A. Yanto, E. Edwar, and Agus Budiyono. “Nanosatellite Applications in Indonesia: Status, Challenges and Future Prospects”. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/365838731> [Nanosatellite Applications in Indonesia Status Challenges and Future Prospects](https://www.researchgate.net/publication/365838731)
- [6] Riza Muhida, Joga D. Setiawan, Agung Rahmono, Harki A. Yanto, E. Edwar, and Agus Budiyono. “Nanosatellite Applications in Indonesia: Status, Challenges and Future Prospects”. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/365838731> [Nanosatellite Applications in Indonesia Status Challenges and Future Prospects](https://www.researchgate.net/publication/365838731)

- [7] B. C. Chan et al., "GNSS Radio Occultation on Aerial Platforms with Commercial Off-The-Shelf Receivers," arXiv preprint arXiv:2109.13328, 2021. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2109.13328.pdf>
- [8] A. Lovascio, S. D'Amico, and A. Graziani, "Design of a Telemetry, Tracking, and Command Radio-Frequency Receiver for Small Satellites Based on Commercial Off-The-Shelf Components," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 55, no. 6, pp. 3427-3438, Dec. 2019, doi: 10.1109/TAES.2019.2913880.
- [9] I. Muzakki, "PERANCANGAN DAN REALISASI PURWARUPA SISTEM KOMUNIKASI SATELIT NANO DENGAN MENGGUNAKAN MODUL RF4463PRO". Bandung: Universitas Telkom. 2022.