

SENSOR NODE BERBASIS LoRa UNTUK KOMUNIKASI LANGSUNG KE SATELIT (DTS) UNTUK SPACE-BASED IoT

(LoRa Sensor Node For direct-to-Satellite (DtS) Communication for Space-based IoT)

Ihsan Nuur Razzak Hantriono¹, Heroe Wijanto², Edwar³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹maulanamma@student.telkomuniversity.ac.id, ²heroe@telkomuniversity.co.id,

³edwarm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Indonesia dengan karakteristik geografisnya memiliki kesulitan tersendiri dalam menerapkan perkembangan IoT dalam skala masif (satu Indonesia). Kesulitannya dikarenakan dalam infrastruktur untuk pemasangan di tempat yang sulit di jangkau dan banyak perangkat telekomunikasi IoT yang masih terrestrial sehingga sulit untuk komunikasi jarak jauh. Dalam penelitian ini, peneliti ingin merancang purwarupa node sensor untuk komunikasi *direct to satellite* (DTS) berbasis LoRa (yang merupakan teknologi telekomunikasi IoT) untuk satelit IoT berorbit LEO. Penelitian ini ingin menekankan pada komunikasi M2M yang merupakan hal krusial dalam IoT. Purwarupa sendiri ini akan dilengkapi dengan modul LoRa, sensor dummy, dan subsistem powersupply yang terdiri dari modul panel surya dan agar sensor node dapat hidup selama 24 jam. Hasil dari penelitian ini akan terciptanya sensor node berbasis LoRa untuk komunikasi DTS satelit berorbit LEO dengan hasil pengukuran dan pengujian purwarupa dapat berkerja sesuai dengan fungsinya untuk transmisi data dari sensor, purwarupa sendiri dapat bekerja dengan sesuai fungsinya catuan baik dari panel surya yang sedang mengisikan daya baterai, panel surya sendiri (baterai dalam keadaan daya penuh), dan baterai sendiri, lalu rata-rata daya keluaran RF yang dihasilkan oleh purwarupa sensor node ini adalah 18,20 dBm, dan yang terakhir konsumsi daya dari hasil pengukuran purwarupa node sensor ini selama 24 jam adalah 4838,4 mWh yang dimana sudah tertutupi oleh daya baterai yang terisi oleh panel surya sebesar 5838 mWh untuk pengisian selama 3 jam.

Kata kunci: : Sensor Node, komunikasi *Direct-to-satellite*, LoRa, Satelit IoT

Abstract

Indonesia with its geographical characteristics has its own difficulties in implementing the development of IoT on a massive scale (one Indonesia). The difficulty is due to the infrastructure for installation in places that are difficult to reach and many IoT telecommunication devices are still terrestrial, making it difficult for long distance communication. In this study, researchers want to design a prototype sensor node for direct to satellite (DTS) communication based on LoRa (which is an IoT telecommunications technology) for IoT satellites orbiting LEO. This research wants to emphasize on M2M communication which is crucial in IoT. The prototype itself will be equipped with a LoRa module, a dummy sensor, and a power supply subsystem consisting of a solar panel module and so that the sensor node can live for 24 hours. The results of this study will be the creation of a LoRa-based sensor node for DTS communication with LEO orbiting satellites with the results of measurements and testing of the prototype that can work according to its function for transmitting data from the sensor, the prototype itself can work according to its function, both from the solar panel while charging the battery. , the solar panel itself (the battery is fully charged), and the battery itself, then the average RF output power generated by this sensor node prototype is 18.20 dBm, and the last is the power consumption from the measurement results of this sensor node prototype for 24 hours. hours is 4838.4 mWh which has been covered by battery power charged by solar panels of 5838 mWh for charging for 3 hours

Keywords: Sensor Node, komunikasi *Direct-to-satellite*, LoRa, Satelit IoT

1. Pendahuluan

Dalam mengikuti perkembangan teknologi telekomunikasi, yaitu IoT, Indonesia memiliki kesulitan tersendiri dalam menerapkan teknologi IoT dengan cakupan satu Indonesia. Hal ini dikarenakan teknologi IoT yang beredar di market mayoritas masih terbatas untuk komunikasi terrestrial dan karena Indonesia yang memiliki kondisi geografis negara archipelago [1]. Untuk mengatasi masalah itu penulis mngusulkan untuk melakukan penelitian pembuatan purwarupa sensor node berbasis LoRa untuk komunikasi langsung dengan satelit (*Direct to satellite*), untuk menjalankan kan IoT dengan skala besar, dengan focus pada sisi M2M communication. Pada tugas

akhir ini penulis akan membuat purwarupa dengan dalam bentuk PCB yang dilengkapi dengan komponen mikrokontroler ATSAM21G18, modul LoRa HOPE RFM95W untuk modul komunikasi. Dan purwarupa akan ditambahkan subsistem power supply yang terdiri dari modul panel surya sebesar 10 W dan modul baterai dengan kapasitas 5200 mAh. Pada penelitian ini peneliti hanya akan membahas :

1. Menggunakan Modul LoRa yang dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler untuk merancang terminalnya.
2. Perancangan alat hanya sampai tahap purwarupa yang dapat bekerja sendiri dengan pengaturan daya sendiri.
3. Pengujian hanya akan mensimulasikan proses *uplink* dan hanya akan menguji performansi dari sisi pengirim.

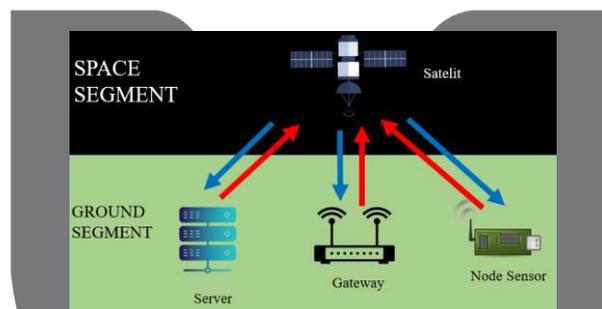
2. Dasar Teori

2.1. Sensor Node

Node ini adalah suatu sistem yang berisi sensor, microcontroller, dan perangkat RF (antenna). Perangkat ini digunakan dalam jaringan komunikasi nirkabel atau lebih tepatnya pada *wireless Sensor Network* (WSN) yang menjadi bagian dari pengembangan IoT [10]. Cara kerja dari perangkat ini adalah pertama dengan pengambilan data atau informasi oleh sensor, lalu microcontroller yang bertindak sebagai pengatur dari sistem, akan mengolah dan menyimpan data dari sensor (jika tidak langsung dikirim). Setelah itu microcontroller akan mengirimkan informasi melewati perangkat RF, Informasi akan diolah dan dikuatkan (oleh modul LoRa) dan akan dipancarkan dengan antenna.

2.2. Satelit IoT

Satelit IoT adalah adalah satelit yang memiliki kemampuan atau misi untuk melakukan fungsi dari IoT dengan skala geografis cakupan yang luas.

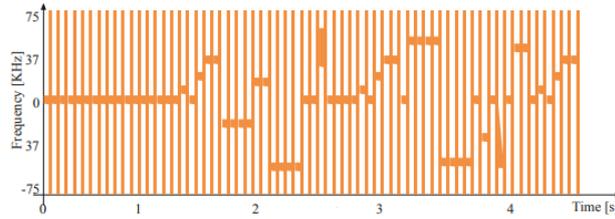


Gambar 1. Ilustrasi sistem komunikasi satelit berbasis IoT

Satelit IoT sendiri yang akan dijadikan sebagai acuan dalam penelitian tugas akhir ini adalah satelit yang berorbit pada *Low Earth Orbit* (LEO) karena memiliki keuntungan tertentu akibat dari posisinya yang terletak pada ketinggian 160 km hingga 2000 km dari permukaan bumi [9] [11]. Keuntungan tersebut adalah tidak memerlukan daya pancar besar jika dibandingkan dengan ketinggian orbit lainnya (MEO dan GEO) dan masih memiliki cakupan *footprint* yang memadai.

2.3. LoRa

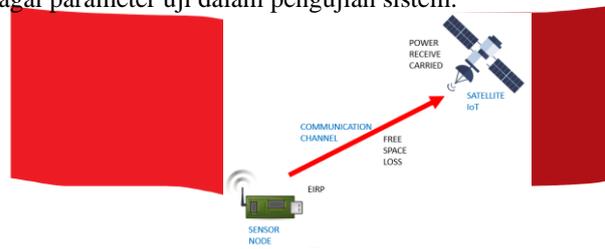
LoRa Merupakan suatu teknologi telekomunikasi yang ditemukan oleh perusahaan Semtech untuk menunjang konsep IoT (Internet Of things) dengan berlandaskan protokol LPWAN (Low Power Wide Area Network) dengan karakteristik menggunakan daya rendah dan memiliki jarak komunikasi yang jauh[8]. Dalam penelitian tugas akhir ini, penulisa akan menggunakan frekuensi 923 MHz, dikarenakan mengikuti peraturan pemerintah Indonesia yang mengharuskan setiap perangkat telekomunikasi berbasis Low Power Wide Area (LPWA) harus menggunakan pita frekuensi 920-923 MHz [12]. Modulasi yang terjadi adalah Instrumen modulasi LoRa. Modulasi dari LoRa sendiri merupakan modulasi yang menggunakan skema dari Chirp Spread Spectrum (CSS)[13]. Spread spectrum sendiri merupakan suatu Teknik modulasi yang dimana sinyal informasi disebarkan dengan bandwidth yang lebih lebar[13]. Untuk chirp sendiri adalah bentuk dari satu symbol informasi yang termodulasi bisa dalam bentuk chirp-up atau chirp-down. Penyebaran sinyal itu sendiri pada satu bandwidth diatur oleh spreading factor (SF)[13].



Gambar 2. Ilustrasi dari modulasi LoRa.

2.4. Link Budget

Link Budget adalah suatu parameter uji performansi dengan menjumlahkan semua penguatan dan semua rugi-rugi [16] Dalam merancang sistem komunikasi berbasis satelit, link budget sangat penting untuk diperhitungkan karena sebagai dasar dalam menentukan spesifikasi dari Instrument perangkat dan sebagai parameter uji dalam pengujian sistem.



Gambar 4. Ilustrasi Link Budget Uplink

Berikut rumus Link Budget[17]:

$$P_{rx} = EIRP - L_{sys} + G_{rx}$$

Dimana EIRP adalah [17]:

$$EIRP = P_{tx} + G_{tx} - L_{tx}$$

Keterangan ;

P_{tx} = daya pada sisi transmitter (dB)

G_{tx} = Gain dari antenna pada sisi transmitter (dB)

L_{tx} = Losses pada sisi transmitter (dB)

Dan L_{sys} (Losses system) adalah:

$$L_{sys} = FSPL + L_{rx} + l_p$$

L_{rx} = Losses pada sisi penerima (dB)

l_p = loss akibat polarisasi (dB)

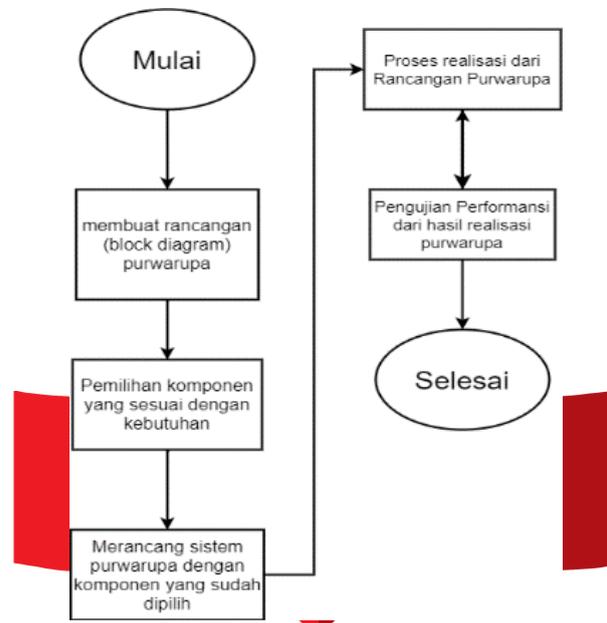
FSPL (free space Loss) :

$$FSPL = 10 \times \text{LOG}_{10} \left(\frac{4\pi \times d \times f}{c} \right)^2$$

Note* :Untuk rumus diatas, variabel d memiliki arti jarak antar pengirim dan penerima, variabel f adalah frekuensi kerja untuk proses Up link, dan variable c adalah kecepatan cahaya (3x10⁸ m/s).

3. Realisasi Sistem

3.1. Diagram Alir Perancangan Purwarupa dan Pengerjaan Tugas Akhir



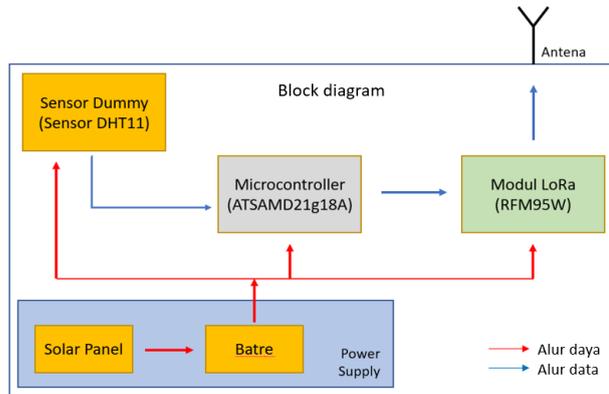
Gambar 5. Diagram Alir Perancangan

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, diperlukan sebuah rencana dalam pengerjaannya yaitu merancang purwarupa yang berupa sebuah tahapan-tahapan dalam merealisasikan purwarupa sensor node. Berdasarkan diagram alir di atas adalah sebagai berikut:

1. Tahap yang pertama adalah perancangan block diagram dari sistem purwarupa yang akan dibuat.
2. Tahap kedua adalah tahap pemilihan-pemilihan komponen yang akan dibuat. Dalam tahap ini komponen-komponen yang akan dipilih akan memiliki spesifikasi yang akan memenuhi kebutuhan dari performansi dari desain sistem yang akan dibuat.
3. Tahap ketiga adalah merancang sistem purwarupa dengan komponen yang sudah dipilih. Pada tahap ini akan dibuat skematik yang merupakan pemetaan akan bagaimana antar komponen saling berhubungan dan akan dilakukan pembuatan desain *Printed Circuit Board (PCB)* dari purwarupa yang akan dibuat.
4. Tahap keempat adalah tahapan merealisasikan sistem purwarupa sensor node. Pada tahap ini akan dilakukan pencetakan PCB, lalu perakitan semua komponen agar menjadi kesatuan sistem purwarupa sensor node.
5. Tahap terakhir adalah pengujian dari sistem purwarupa sensor node dan analisis. Pada tahap ini akan dilakukan pengujian performansi dari purwarupa sensor node yang sudah direalisasikan.

3.2. Desain Sistem Perangkat

Dalam tugas akhir ini akan dirancang suatu purwarupa dari sensor Node menggunakan teknologi komunikasi LoRa untuk sistem komunikasi langsung ke satelit (direct to satellite communication) yang terletak pada ground segment. Sistem Perangkat ini akan bekerja sesuai dengan blok diagram pada gambar 6.



Gambar 7. Blok diagram

Dalam perancangan ini pemilihan komponen ini didasari oleh dua perhitungan yaitu *link budget* dan *power budget*. Berikut perhitungan dari keduanya.

Tabel 1. Perhitungan Link Budget

Tabel 3.1 Perhitungan *Link Budget*

Link Budget			
Parameter		Nilai	Keterangan
Spesifikasi	d (Km)	400	Jarak Komunikasi <i>Uplink</i>
	F (MHz)	923	Frekuensi Komunikasi
Transmitter	P_{Tx} (dBm)	20	Daya Kirim pada sisi Transmitter
	G_{Tx} (dB)	5.5	Gain Antena Pengirim
	l_{Tx} (dB)	0.5	Loss feed dan konektor tranmitter
	l_{mT} (dB)	0.75	Loss misalignment antenna Transmitter
	$EIRP$ (dBm)	24.25	Total daya yang keluar dari sisi Transmitter
Loss Propagasi	FSL (dB)	143.79	Free Space Loss
	l_r (dB)	0.0086	Rain attenuatuion Loss
	l_a (dB)	0.3	Atmospheric Loss
	l_p (dB)	0	Polarization Loss
Receiver	G_{Rx} (dB)	3	Gain antenna penerima
	LNA (dB)	20.92	Gain LNA
	l_{Rx}	0.5	Loss feed dan konektor penerima
	l_{mR} (dB)	0.75	Loss misalignment antenna Penerima
	Nilai daya terima (P_{Rx})		
	P_{Rx} (dBm)	-97.18	Daya terima pada sisi modul LoRa
	Sensitivitas (dBm)	-144	Sensitivitas berdasarkan modul LoRa

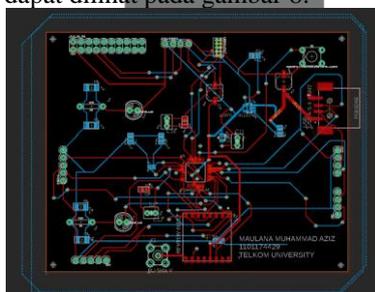
Dalam perhitungan ini Dari perhitungan Link Budget pada tabel diatas besar daya yang diterima atau besar Power Receive adalah sebesar -118.7 dBm. Dalam transmisi penulis mensimulasikan bahwa sisi penerima (*Receiver*) memiliki modul LoRa yang sama, maka parameter penentuan apakah komunikasi bisa dilakukan dengan cara membandingkan nilai pada sisi *power receive* dengan sensitivitas daya penerima pada sisi receiver. Nilai ini masih diatas dari sensitivitas receiver LoRa yang menggunakan modul Transceiver RFM95W dengan nilai sensitivitas -144 dBm atau sebesar -174 dBm. Berikutnya adalah perhitungan power budget yang akan mendasari pemilihan komponen.

Tabel 2 Power Budget Load dari datasheet

Power budget calculation				
Komponen	tegangan (v)	arus (mA)	daya (mW)	daya dalam 1 hari (mWh)
Beban				
Microcontroller Feather M0 (ATSAMD21g18A)	3.3	10	33	792
modul LoRa (RFM95w)	3.3	120	396	9504
sensor dummy (DHT11)	3.3	5	16.5	396
Total		135	445.5	10692
Power budget calculation				
Dimarginkan		arus (mA)	daya (mW)	daya dalam 1 hari (mWh)
		150	495	11880

3.3. Desain Board PCB

Setelah skematik berhasil disusun, langkah selanjutnya adalah merancang desain board yang sesuai dengan ukuran setiap modul dan komponen, modul yang akan terdapat pada desain PCB adalah modul LoRa, modul Feather m0, dan konektor SMA. Desain PCB tersebut dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 9. Desain PCB Sensor Node

Komponen-komponen yang terdapat dalam desain PCB disamping adalah:

1. Modul LoRa RFM95 W
2. mikrokontroler ATSAMD21g8
3. Port USB
4. Konektor SMA
5. JTAG Pinout
6. 3 pin digital, UART pin, SPI Pin, I2CPin, 3 analog pin

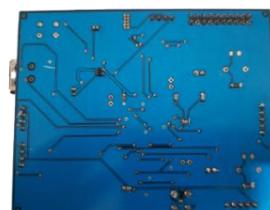
3.4. Realisasi Sistem

elah mendesain PCB, langkah selanjutnya adalah merakit semua modul dan komponen yang diperlukan. Dalam merealisasikan sistem ini akan dilakukan dua proses yaitu realisasi Subsistem utama yaitu pada PCB, dan subsistem solar powersupply. Untuk hasil realisasi subsistem utama dapat dilihat pada gambar 9 untuk top layer dan untuk bottom layer terdapat pada gambar 10.

Set



Gambar 10. PCB Top Layer



Gambar 11. PCB Bottom Layer

4. Analisis

4.1. Pengujian Fungsi Komunikasi End to End

Dalam pengujian ini, modul purwarupa sensor node akan melakukan uji fungsi dengan mengirimkan data dari sensor dummy yaitu sensor DHT 11 yang merupakan sensor suhu dan kelembabapn. Prosedur pengujian akan dilakukan dengan jarak komunikasi sejauh 10 meter, 30 meter dan 50 meter dan pengujian akan menggunakan *spreading factor* tujuh hingga 12. Berikut hasil dari pengujuannya.

Tabel 4. Pengujian Komunikasi End to End

Spreading Factor	Jumlah data diterima pada Jarak Pengujian		
	10 meter	20 meter	30 meter
SF 7	20	20	20
SF 8	20	20	20
SF 9	20	20	20
SF 10	20	20	20
SF 11	20	20	20
SF 12	20	20	20

```
21:00:07.589 -> LoRa Receiver
21:00:28.371 -> Received packet 'Percobaan ke-0 Humidity: 73% Temperature:23C' with
21:00:30.019 -> Received packet 'Percobaan ke-1 Humidity: 74% Temperature:23C' with
21:00:31.605 -> Received packet 'Percobaan ke-2 Humidity: 74% Temperature:23C' with
```

Gambar 12. Contoh data yang ditransmisikan di sisi penerima

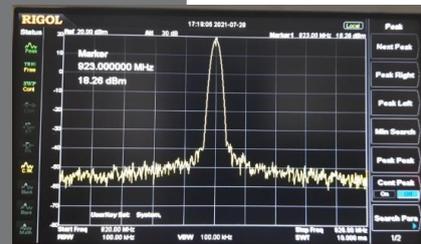
Pengujian ini dilakukan dengan mengirimkan 20 data untuk setiap jarak per setiap spreading factor, hasilnya adalah sensor node dapat bekerja dengan baik dengan keberhasilan pengiriman data 100%.

4.2. Pengukuran keluaran Daya RF

Pengukuran keluaran Daya RF ini dilakukan untuk mengukur apakah daya RF yang dikeluarkan oleh sensor node mencukupi kebutuhan untuk komunikasi DTS sejauh 400 Km. Pengukuran ini dilakukan dengan cara menggunakan perangkat *spectrum analyzer*. Prosedur pengukuran akan dilakukan untuk semua *spreading factor* (SF 7 hingga SF 12), dan daya output di atur sebesar 20 dBm dan hanya akan menganalisis dari 10 data.

Tabel 5. Rata-rata daya keluaran RF

Spreading factor	rata-rata daya RF output (dBm)	Selisih dengan Targer
SF 7	18.05	1.95
SF 8	18.25	1.75
SF 9	18.21	1.79
SF 10	18.19	1.81
SF 11	18.26	1.74
SF 12	18.22	1.79
rata-rata	18.20	1.80



Gambar 13. Contoh pengukuran keluaran daya output

Hasil dari pengukruan diatas, nilai rata-rata untuk semua spreading factor tidak terpaut terlalu jauh dengan yang diatur (20 dBm). Dengan rata-rata nilai keluaran sebesar 18.20 dBm nilai daya terima dari perhitungan link budget untuk jarak 400 Km adalah -120.59 dBm, masih diatas nilai sensitivitas.

4.3. Pengujian Fungsi Alat dan Panel Surya dan Baterai

Pada pengujian ini akan dilikan uji fungsi komunikasi dengan catuan baterai, panel surya yang sedang melakukan pengisian daya baterai dan panel surya saat tidak mengisi daya baterai. Pengujian dilakukan degan jarak 10 m, lalu alat akan diatur dengan menggunakan SF 7, daya RF output sebesar 20 dBm. Berikut hasil pengujiannya.

Tabel 5. Rata-rata daya keluaran RF

Jenis Catuan	Baterai	Panel surya + baterai berdaya kosong	Panel surya + baterai berdaya penuh
Jumlah data	30 data	30 data	30 data

Dari hasil pengujian ini didapatkan bahwa dengan semua jenis catuan perangkat dapat bekerja sesuai dengan semestinya.

4.4. Pengukuran Nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI)

Subab ini akan mengukur nilai RSSI yang merupakan nilai daya terima dari pengujian 4.1 dan 4.3. Pengukuran ini menggunakan prosedur yang sama juga dengan pengujian 4.1 dan 4.3. berikut adalah hasilnya.

Tabel 6. Pengukuran Nilai RSSI dari pengujian komunikasi End to End

nilai	Jarak (meter)	Besarnya Daya (dBm)					
		SF 7	SF 8	SF 9	SF 10	SF 11	SF 12
Rata-rata	10	-65.95	-66.05	-64.85	-69.1	-73.45	-72.35
	30	-74.55	-84.9	-84.35	-83.15	-76.85	-79.15
	50	-86.4	-87.6	-89.65	-91.3	-89.85	-87.15
Minimal	10	-73	-68	-66	-74	-79	-89
	30	-83	-87	-95	-88	-80	-81
	50	-93	-90	-99	-93	-91	-91
Maksimal	10	-63	-64	-62	-66	-69	-68
	30	-73	-83	-78	-77	-75	-76
	50	-82	-86	-88	-90	-89	-85

Tabel 7. Nilai RSSI dari pengujian fungsi dengan catuan berbeda

Jenis catuan	Nilai RSSI (dBm)		
	rata-rata	minimal	maksimal
Baterai	-64.17	-65	-64
panel surya + baterai berdaya kosong	-64.97	-66	-64
Panel surya + baterai berdaya penuh	-65.67	-67	-65

Untuk pengukuran Nilai RSSI untuk pengujian komunikasi End to End (Tabel 6) terlihat nilai RSSI menurun setiap jarak semakin jauh, namun terhadap penggunaan SF yang semakin besar, tidak terlalu berpengaruh, ini disebabkan karena modul penerima yang tidak terlalu baik, sedangkan untuk pengujian fungsi dengan catuan berbeda. Nilai RSSI yang didapat tidak terlalu berbeda dengan semua jenis catuan dan kondisi, artinya konfigurasi catuan sudah benar dan bekerja optimal.

4.5. Pengukuran Karakteristik Konsumsi Daya

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui konsumsi daya dan apakah daya baterai hasil dari pengisian daya oleh panel surya dalam tiga dan empat jam mencukupi. Berikut adalah hasil dari pengukuran dan perbandingan dengan nilai konsumsi daya.

Tabel 8. Hasil pengukuran karakteristik konsumsi daya

	konsumsi daya	Pengisian baterai 3 jam	Pengisian baterai 4 jam	sisa daya baterai pengisian 3 jam	sisa daya baterai pengisian 4 jam
Konsumsi daya berdasarkan hasil pengukuran					
arus (mAh)	1344	5835	7780	4491	6436
daya (mWh)	4838.4	24507	32676	19668.6	27837.6
Konsumsi daya berdasarkan datasheet					
arus (mAh)	3600	5835	7780	2235	4180
daya (mWh)	11800	24507	32676	12707	20876

Hasil dari pengukuran ini adalah daya yang tersimpan pada baterai dari hasil pengisian daya dengan solar panel baik untuk 3 jam pengisian dan 4 jam pengisian adalah cukup untuk memenuhi kebutuhan daya sensor node selama 24 jam.

4.6. Hasil Pengujian untuk Validasi Nilai Sensitivitas

Pengukuran ini dilakukan untuk memvalidasi nilai sensitivitas modul LoRa RFM95W yang dijadikan pertimbangan dalam pembuatan alat pada perhitungan *link budget* pada tabel 1. Berikut adalah hasil dari pengujiannya.

Tabel 9. Hasil pengukuran karakteristik konsumsi daya

<i>spreading factor</i>	7	8	9	10	11	12
Nilai rata-rata (dBm)	-119	-119.2	-119.8	-118.1	-119.1	-118.6
Nilai minimal (dBm)	-119	-120	-120	-119	-120	-119
Nilai maksimal (dBm)	-119	-119	-118	-118	-119	-118

Dari hasil pengukuran tersebut nilai sensitivitas yang dibutuhkan tidak didapatkan dikarenakan penggunaan modul penerima yang tidak baik, jarak komunikasi yang terlalu jauh, dan modul pengirim yang memiliki nilai daya RF *output* terendah sebesar 0 dBm.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari proses perancangan dan hasil simulasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Alat dapat bekerja sesuai dengan fungsinya, yaitu mentransmisikan data dari sensor.
2. Keluaran daya output untuk semua penggunaan *Spreading factor* adalah 18,20 dBm. Nilai ini masih cukup untuk komunikasi satelit berjarak 400 Km, dengan daya terima sebesar 120.59 dBm, masih diatas nilai sensitivitas (-144 dBm).
3. Alat dapat berfungsi dengan baik dengan catuan baterai, panel surya yang sedang mengisi daya baterai, dan panel surya sendiri (baterai dalam kondisi baterai penuh).
4. Hasil pengukuran nilai RSSI untuk uji fungsi komunikasi menurun dengan jarak komunikasi yang semakin menjauh dan kenaikan nilai RSSI tidak dapat dilihat berdasarkan kenaikan penggunaan *spreading factor*.
5. Penggunaan catuan yang berbeda (baterai, dan panel surya) tidak terlalu berpengaruh dengan nilai
6. Antena Sensor Node masih bisa bekerja selama 24 jam meskipun pengisian daya baterai oleh panel surya selama tiga hingga 4 jam.

Referensi:

- [1] Oki Pratama, "Konservasi Perairan Sebagai Upaya menjaga Potensi Kelautan dan Perikanan Internasional," DIREKTORAT JENDERAL PENGELOLAAN RUANG LAUT, [Online]. Available: <https://knp.go.id/djprl/artikel/21045-konservasi-perairan-sebagai-upaya-menjaga-potensi-kelautan-dan-perikanan-Indonesia> [Diakses 01 Juli 2020].
- [2] Karlo Juliano Aer, Ir. Gideon Jonathan, Arfianto Fahmi, ST, "ANALISIS PERHITUNGAN INTERFERENSI SISTEM TERESTRIAL TERHADAP SISTEM GMPC SSATELIT GLOBALSTAR", Jurusan Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, 2016.
- [3] Shanzhi Chen (Senior Member of IEEE), Hui Xu, Dake Li (Senior Member of IEEE), Bo Hu, and Hucheng Wang, "A Vision of IoT: Applications, Challenges, and Opportunities With China Perspective", IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, VOL. 1, INTERNASIONAL. 4, AUGUST 2014.
- [4] John A. Stankovic, Life Fellow, IEEE, "Research Directions for the Internet of Things", IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, AUGUST 2014.
- [5] Persia, S., Carciofi, C., & Faccioli, M, "NB-IoT and LoRA connectivity analysis for M2M/IoT smart grids applications", AEIT Internasional Annual Conference, 2017.
- [6] Alexandru Lavric, Valentin Popa, "Internet of Things and LoRa™ Low-Power WideArea Networks: A Internasional", Computers, Electronics and Automation Department, Ștefan cel Mare University of Suceava, Romania, IEEE, 2017.

- [7] Lorenzo Vangelista, Andrea Zanella, and Michele Zorzi, "Long-Range IoT Technologies: The Dawn of LoRa™", Patavina Technologies s.r.l., Padova, Italy, Department of Information Engineering, University of Padova, Via Gradenigo 6/B, Padova, Italy.
- [8] T. Wu, D. Qu and G. Zhang, "Research on LoRa Adaptability in the LEO Satellites Internet of Things," 2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), Tangier, Morocco, 2019, pp. 131-135, doi: 10.1109/IWCMC.2019.8766462.
- [9] S. Verma, P. Pillai and Y. Hu, "Performance Evaluation of Alternative Network Architectures for Sensor-Satellite Integrated Networks," 2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, Barcelona, 2013, pp. 120-125, doi: 10.1109/WAINA.2013.56.
- [10] Ameloot, T.; Van Torre, P.; Rogier, H, "A Compact Low-Power LoRa IoT Sensor Node with Extended Dynamic Range for Channel Measurements". *Sensors* **2018**, *18*, 2137.
- [11] Juan A. Fraire, Sandra C'espedes, and Nicola Accettura, "Direct-To-Satellite IoT – A Survey of the State of the Art and Future Research Perspectives Backhauling the IoT Through LEO Satellites", Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks. Lecture Notes in Computer Science, 2019.
- [12] M. K. D. I. R. INDONESIA, "RANCANGAN PERATURAN MENTERI KOMUNIKASI DAN INFORMATIKA REPUBLIK INDONESIA NOMOR TAHUN 2018 TENTANG PERSYARATAN TEKNIS ALAT DAN / ATAU PERANGKAT TELEKOMUNIKASI LOW POWER WIDE AREA," KOMINFO, 2018.
- [13] LoRa™ Modulation Basics. [Performance]. Semtech Corporation, 2015.
- [14] Lawrence A. Duarte, "The Microcontroller Beginner's Handbook with Cdrom", Sams Imprint of Simon and Schuster 201 W. 103 St. Indianapolis, INUnited States, 1998.
- [15] Microchip, "Datasheet : Low-Power, 32-bit Cortex-M0+ MCU with Advanced Analog and PWM", Microchip, 2020.
- [16] D. K. Nguyen, O. Pascal, J. Sokoloff, A. Chabory, B. Palacin, and N. Ca-pet, "Discussion about the link budget for electromagnetic wave with orbital angular momentum," in The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), 2014, pp. 1117–1121.
- [17] Bagas Satriyotomo, "ANTENA MIKROSTRIP SEGI EMPAT POJOK TERPOTONG UNTUK PENERIMA SINYAL ADS-B PADA SATELIT NANO", Telkom University, 2020.
- [18] Atmel, "Datasheet : SMART ARM-Based Microcontroller", Atmel, 2015.
- [19] HOPERFELECTRONIC, "Datasheet : RFM95/96/97/98(W) – Low Power Long Range Transceiver Module V1.0", HOPERFELECTRONICS, Diakses 2020.
- [20] Zhejiang Ganghang Solar Thecnology Co., Ltd, "Solar Product Energy", Zhejiang Ganghang Solar Thecnology Co., Ltd, diakses pada 2021.
- [21] Sony Energy Devices Corporation, "Lithium-Ion Battery Specification", Sony Energy Devices Corporation, 2014
- [22] Rafael Sianipar,"DASAR PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA",JETri, 2014

