

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR NETWORK UNTUK SISTEM AKUISISI DATA FAKTOR PEMBANGKITAN PANEL SURYA MENGGUNAKAN NRF24L01

Wahyu Cristianto¹, Bagus Fatkhurrozi², Ika Setyowati³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

¹wahyucristianto30@gmail.com, ²bagusf@untidar.ac.id, ³ikasetyowati@untidar.ac.id

Abstrak

Perencanaan sistem pembangkit tenaga surya perlu dilakukan secara detail dan optimal. Sehingga perlu diketahui nilai *Panel Generation Factor* (PGF) dimana mencerminkan potensi energi surya secara spesifik suatu wilayah tertentu. Penentuan PGF dapat dilakukan secara analitis dan juga eksperimental. Penentuan PGF secara eksperimental dinilai lebih handal. Luasnya lahan membuat potensi pembangkitan pada beberapa titik berbeda sehingga diterapkan suatu teknologi WSN dalam proses akuisisi data. Penelitian ini bertujuan menerapkan teknologi WSN dengan topologi *cluster* untuk akuisisi data faktor pembangkitan panel surya. Hasil pengujian diperoleh bahwa performa sistem akuisisi data berfungsi dengan baik dengan *error* pembacaan yang kecil. Pada *node* sensor 1 memiliki *error* tegangan 1,562% dan *error* arus 1,492%, pada *node* sensor 2 memiliki *error* tegangan 1,437% dan *error* arus 1,513%, pada *node* sensor 3 memiliki *error* tegangan 1,624% dan *error* arus 1,304%, dan pada *node* sensor 4 memiliki *error* tegangan 1,419% dan *error* arus 1,455%. Jarak jangkauan maksimum menggunakan topologi *cluster* yang diterapejauh 2 km. Dari perhitungan yang dilakukan diperoleh nilai PGF analitis sebesar 3,5094 serta PGF eksperimental sebesar 3,5831 sehingga diperoleh simpangan sebesar 2,10%.

Kata kunci - Energi Surya, *Panel Generation Factor*, *Wireless Sensor Network*, *Topologi Cluster*.

Abstract

Solar power generation system planning needs to be done in detail and optimally. So it is necessary to know the value of the Panel Generation Factor (PGF) which reflects the potential of solar energy specifically in a particular area. PGF determination can be done analytically as well as experimentally. Experimental determination of PGF is considered more reliable. The size of the land makes the potential for generation at several different points so that a WSN technology is applied in the data acquisition process. This study aims to apply WSN technology with a cluster topology for data acquisition of solar panel generation factors. The test results show that the performance of the data acquisition system functions well with small reading errors. Sensor node 1 has a voltage error of 1.562% and a current error of 1.492%, at sensor node 2 it has a voltage error of 1.437% and a current error of 1.513%, at sensor node 3 it has a voltage error of 1.624% and a current error of 1.304%, and at sensor node 4 has a voltage error of 1.419% and a current error of 1.455%. The maximum range using a cluster topology is 2 km. From the calculations, the analytical PGF value is 3.5094 and the experimental PGF is 3.5831 so that the deviation is 2.10%.

Keywords - Solar Energy, *Panel Generation Factor*, *Wireless Sensor Network*, *Cluster Topology*.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat. Umumnya pembangkitan di Indonesia masih bertumpu pada energi fosil yang memiliki jumlah sangat terbatas dan tidak ramah lingkungan sehingga perlu digantikan dengan energi baru terbarukan. Target penggunaan energi baru terbarukan di Indonesia mencapai 45 GW di tahun 2025 yang bersumber dari angin, air, biomassa, panas

bumi, dan surya [1]. Energi yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi surya. Hal ini dikarenakan Indonesia merupakan salah satu negara tropis yang mendapatkan penyinaran sepanjang tahun. Dalam penerapannya, perancangan panel surya harus dilakukan secara detail dan juga optimal. Variabel yang mutlak harus diperhitungkan dalam perancangan sistem pembangkit energi surya supaya

optimal yaitu *Derating Factor* (DF) dan *Panel Generation Factor* (PGF)[2].

Ukuran yang tepat dari pembangkitan panel surya tergantung pada permintaan energi dari beban serta potensi energi terbarukan yang tersedia di lokasi. Umumnya dalam memperkirakan potensi sumber energi terbarukan didasarkan pada data meteorologi secara analitis. Perkiraan potensi sumber energi terbarukan secara analitis rentan terhadap kesalahan sehingga kurang dapat diandalkan dibanding dengan data yang diperoleh secara eksperimental[3]. Penentuan *Panel Generation Factor* (PGF) secara eksperimental dilakukan dengan cara mengukur nilai arus dan nilai tegangan yang dihasilkan panel surya dalam rentang waktu tertentu selama satu hari, sehingga diperoleh total energi yang dapat dihasilkan oleh panel dalam jangka waktu satu hari tersebut. Luasnya area pemantauan membuat potensi sumber energi pada beberapa titik berbeda sehingga perlu adanya pemantauan yang bisa mencakup seluruh area.

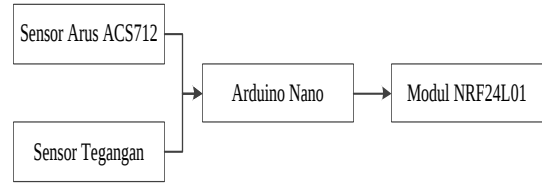
Pengembangan sistem akuisisi data secara nirkabel (*wireless*) dapat menjadi solusi dalam proses penentuan *Panel Generation Factor* (PGF) dalam suatu area tertentu pada penerapan sistem pembangkit energi surya di lapangan. Teknologi yang akan dirancang adalah *Wireless Sensor Network* (WSN). Topologi jaringan yang dapat digunakan supaya mencakup beberapa titik dalam suatu area tertentu adalah topologi *cluster* dimana *node-node* sensor tersusun secara hierarki yang terdiri dari *child node*, *cluster head*, dan *parent node*. Sistem ini mendukung sensor di beberapa titik dimana hasil akuisisinya akan dikirimkan ke *node* koordinator secara nirkabel. Berdasarkan latar belakang diatas, penulis bermaksud melakukan penelitian dengan judul “Implementasi *Wireless Sensor Network* Untuk Sistem Akuisisi data Faktor Pembangkitan Panel Surya Menggunakan NRF24L01”.

II. METODE

Penelitian ini berfokus pada penerapan topologi *cluster* pada sistem *wireless sensor network* (WSN) untuk akuisisi data faktor pembangkitan panel surya.

A. Diagram Blok Sistem

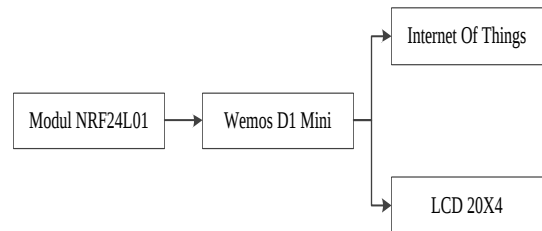
Diagram blok dari perancangan sistem yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.



Gambar 1. Diagram Blok *Child Node*



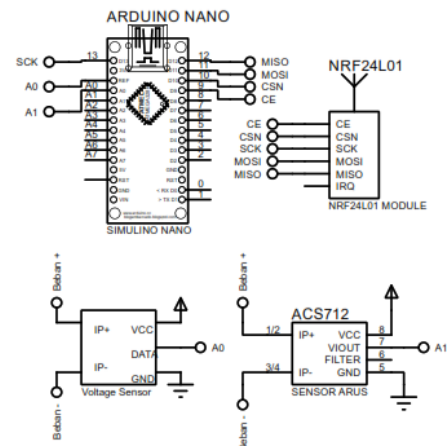
Gambar 2. Diagram Blok *Cluster Head*



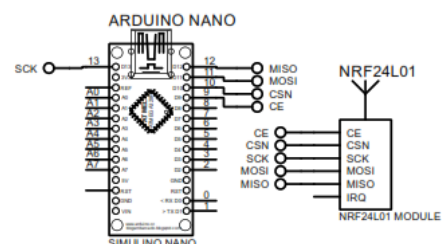
Gambar 3. Diagram Blok *Parent Node*

B. Rangkaian Sistem

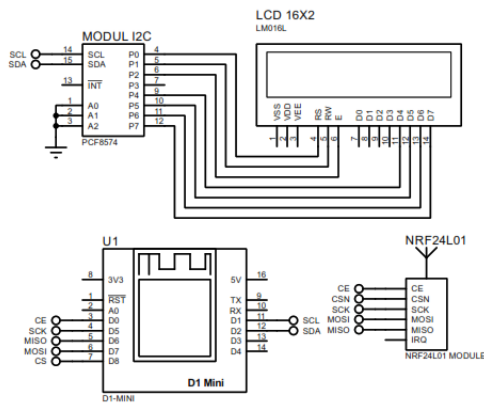
Rangkaian sistem dari perancangan yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



Gambar 4. Rangkaian *Child Node*



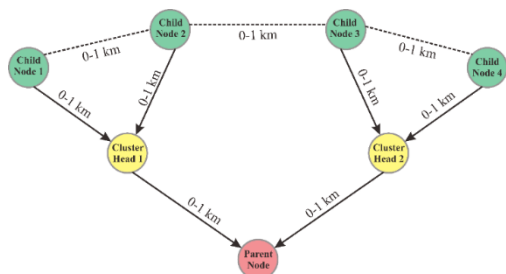
Gambar 5. Rangkaian *Cluster Head*



Gambar 6. Rangkaian Parent Node

C. Topologi Jaringan

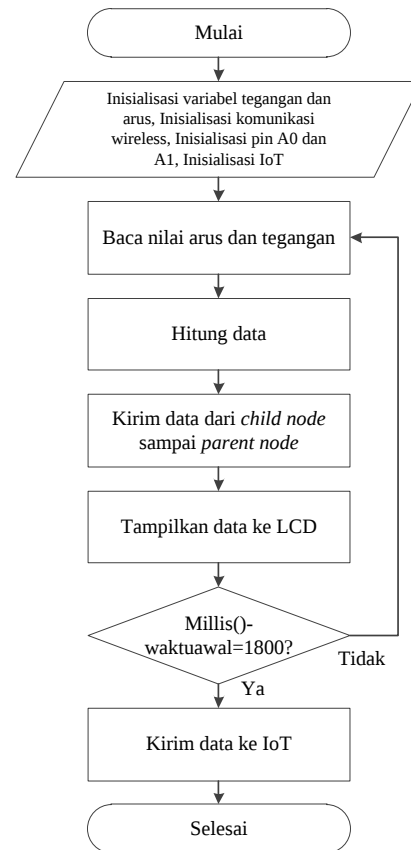
Topologi yang digunakan pada penelitian ini adalah topologi *cluster*. Pada penelitian ini, topologi *cluster* yang diterapkan terdiri dari empat *child node*, dua *cluster head*, dan satu *parent node*. *Cluster head* berfungsi sebagai koordinator untuk mengkoordinir beberapa *child node* dalam proses transmisi data menuju *parent node*. Selanjutnya *parent node* akan mengkoordinir beberapa *cluster head* dalam proses penerimaan data. Arsitektur topologi *cluster* pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Arsitektur Topologi Cluster

D. Diagram Alir Kerja Sistem

Diagram alir kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Kerja Sistem

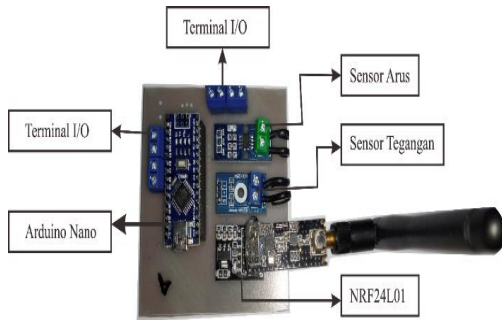
Pada penelitian ini mula-mula dilakukan inisialisasi program yang meliputi inisialisasi pin A0 dan A1 sebagai input pembacaan tegangan dan arus dari sensor, inisialisasi variabel untuk menyimpan nilai pembacaan tegangan dan arus, inisialisasi komunikasi *wireless*, dan inisialisasi *Internet of Things* (IoT). Kemudian tegangan yang dihasilkan oleh panel surya diukur dan dikirimkan dari masing-masing *child node* sampai ke *parent node*. Pengukuran tegangan dilakukan menggunakan modul sensor tegangan melalui pin analog A0 dengan rentang pengukuran 0-25 VDC, sedangkan pembacaan arus dilakukan menggunakan sensor ACS712 melalui pin analog A1 dengan rentang pengukuran hingga 30A. Setelah didapatkan nilai arus maka dapat dihitung besarnya daya yang dihasilkan. Pengukuran dilakukan selama 3 hari berturut-turut. Dalam proses transmisi menggunakan metode CSMA/CA untuk menghindari terjadinya tabrakan data sehingga data sampai tujuan dengan baik. Setelah data sampai di *parent node* kemudian data ditampilkan di LCD. Jika waktu pengukuran lebih besar dari 30 menit (1800 detik) maka sistem akan berhenti mengukur dan melakukan pengiriman data ke *Internet of Things* (IoT).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

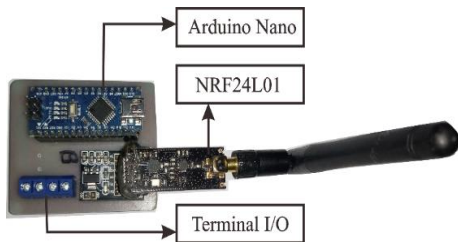
Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahap yang telah selesai dilakukan, mulai dari tahap studi literatur, perancangan, realisasi perangkat hingga pengujian lapangan. Hasil tersebut diuraikan sebagai berikut:

A. Realisasi Perangkat

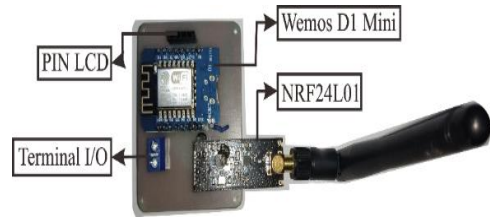
Perangkat yang dibuat berupa *child node*, *cluster head*, dan *parent node*. Masing-masing perangkat tersebut dapat dilihat pada Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13.



Gambar 11. Child Node Sistem Akuisisi data



Gambar 12. Cluster Head Sistem Akuisisi data



Gambar 13. Parent Node Sistem Akuisisi data

B. Fungsional Panel Surya

Pengujian fungsional panel surya dilakukan untuk mengetahui kinerja dari panel surya. Pengujian dilakukan dengan membandingkan *open-circuit voltage* dan *short-circuit current* terukur dengan *nameplate* yang tertera pada panel surya. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsional Panel Surya

Panel	Voc nameplate (V)	Voc pengukuran (V)	Isc nameplate (A)	Isc pengukuran (A)	Error (%)	
					Voc	Isc
Panel 1	21,24	20,92	1,24	1,278	1,506	3,064
Panel 2	21,24	21,09	1,24	1,255	0,706	1,209
Panel 3	21,24	21,02	1,24	1,285	1,035	3,629
Panel 4	21,24	20,98	1,24	1,264	1,224	1,935
Rata-Rata					1,117	2,459

C. Keandalan Sistem Akuisisi Data

Uji keandalan sistem akuisisi data dilakukan untuk mengetahui performa sistem dalam melakukan akuisisi data arus dan tegangan panel surya. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan dan

arus yang terbaca oleh sensor dengan nilai tegangan dan arus yang terbaca oleh alat ukur. Hasil pengukuran masing-masing *node* akan ditampilkan pada serial monitor arduino setiap 1 menit sekali. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2 sampai Tabel 5.

Tabel 2. Hasil Uji Keandalan Sistem Akuisisi Data *Node 1*

No	Node Sensor 1		Alat Ukur		Error (%)	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	9,801	0,71	9,956	0,722	1,581	1,690
2	9,790	0,73	9,911	0,740	1,236	1,370
3	9,964	0,72	10,15	0,729	1,867	1,250
4	9,866	0,74	9,988	0,751	1,237	1,486
5	9,890	0,74	10,01	0,752	1,213	1,622
6	10,18	0,77	10,29	0,779	1,081	1,169
7	10,23	0,76	10,38	0,773	1,466	1,711
8	10,59	0,79	10,76	0,799	1,605	1,139
9	10,88	0,78	11,09	0,792	1,930	1,538
10	11,21	0,77	11,48	0,785	2,409	1,948
Rata-Rata Error (%)					1,562	1,492

Tabel 3. Hasil Uji Keandalan Sistem Akuisisi Data *Node 2*

No	Node Sensor 2		Alat Ukur		Error (%)	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	9,64	0,70	9,793	0,716	1,587	2,286
2	9,843	0,71	10,01	0,718	1,697	1,127
3	9,991	0,71	10,12	0,720	1,291	1,408
4	10,28	0,71	10,43	0,717	1,459	0,986
5	10,56	0,70	10,71	0,715	1,420	2,143
6	10,69	0,71	10,87	0,718	1,684	1,127
7	10,87	0,72	11,03	0,723	1,472	0,417
8	10,95	0,71	11,16	0,729	1,918	2,676
9	11,36	0,71	11,49	0,719	1,144	1,268
10	11,54	0,71	11,62	0,722	0,693	1,690
Rata-Rata Error (%)					1,437	1,513

Tabel 4. Hasil Uji Keandalan Sistem Akuisisi Data *Node 3*

No	Node Sensor 3		Alat Ukur		Error (%)	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	10,01	0,73	10,17	0,738	1,598	1,096
2	10,21	0,72	10,38	0,729	1,665	1,250
3	10,19	0,74	10,33	0,749	1,374	1,216
4	10,46	0,75	10,62	0,759	1,530	1,200
5	10,31	0,73	10,48	0,742	1,649	1,644
6	10,56	0,76	10,75	0,768	1,799	1,053
7	10,97	0,79	11,18	0,802	1,914	1,519
8	11,45	0,82	11,64	0,831	1,659	1,341
9	11,38	0,82	11,57	0,830	1,670	1,220
10	11,55	0,80	11,71	0,812	1,385	1,500
Rata-Rata Error (%)					1,624	1,304

Tabel 5. Hasil Uji Keandalan Sistem Akuisisi Data *Node 4*

No	Node Sensor 3	Alat Ukur	Error (%)
----	---------------	-----------	-----------

	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	9,569	0,72	9,672	0,731	1,076	1,528
2	9,613	0,71	9,744	0,719	1,363	1,268
3	9,735	0,74	9,871	0,752	1,397	1,622
4	9,798	0,75	9,901	0,763	1,051	1,733
5	9,865	0,76	10,05	0,771	1,875	1,447
6	10,34	0,74	10,53	0,749	1,838	1,216
7	10,87	0,73	11,08	0,742	1,932	1,644
8	11,21	0,75	11,37	0,76	1,427	1,333
9	11,03	0,73	11,16	0,741	1,179	1,507
10	11,46	0,72	11,58	0,729	1,047	1,250
Rata-Rata Error (%)					1,419	1,455

Performa sistem akuisisi data dalam melakukan akuisisi data arus dan tegangan telah berfungsi dengan baik dimana hasil pembacaan sensor memiliki *error* pembacaan yang kecil berkisar antara 1%-2%. Pada *node* sensor 1 memiliki *error* pembacaan tegangan 1,562% dan *error* pembacaan arus 1,492%, pada *node* sensor 2 memiliki *error* pembacaan tegangan 1,437% dan *error* pembacaan arus 1,513%, pada *node* sensor 3 memiliki *error* pembacaan tegangan 1,624% dan *error* pembacaan arus 1,304%, dan pada *node* sensor 4 memiliki *error* pembacaan tegangan 1,419% dan *error* pembacaan arus 1,455%. *Error* pada saat pengukuran disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya kondisi alat dan *human error*.

D. Pengujian ACK (Acknowledgment)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana sistem komunikasi WSN berjalan sesuai dengan skenario yang direncanakan. Pengujian ACK dilakukan untuk mengetahui kualitas pengiriman data. Skenario pengujian ACK dilakukan dengan mengirimkan data dari *transmitter* menuju *receiver*. Apabila data telah diterima oleh *receiver* maka *receiver* akan mengirimkan ACK ke *transmitter*. Sebagai penanda bahwa yaang diterima oleh *transmitter* adalah data ACK maka sebelum dikirimkan oleh *receiver*, data asli dijumlahkan dengan angka 1 sehingga dihasilkan data ACK. Hasil pengujian ACK ditunjukkan pada Tabel 7 sampai Tabel 10.

Tabel 7. Hasil Pengujian ACK Child Node 1

No	Data Terkirim			Data Diterima			ACK
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya	
1	9,801	0,71	6,959	10,801	1,71	7,959	Sesuai
2	9,790	0,73	7,147	10,790	1,73	8,147	Sesuai
3	9,964	0,72	7,174	10,964	1,72	8,174	Sesuai
4	9,866	0,74	7,301	10,866	1,74	8,301	Sesuai
5	9,890	0,74	7,319	10,890	1,74	8,319	Sesuai
6	10,18	0,77	7,839	11,18	1,77	8,839	Sesuai
7	10,23	0,76	7,775	11,23	1,76	8,775	Sesuai
8	10,59	0,79	8,366	11,59	1,79	9,366	Sesuai
9	10,88	0,78	8,486	11,88	1,78	9,486	Sesuai
10	11,21	0,77	8,632	12,21	1,77	9,632	Sesuai

Tabel 8. Hasil Pengujian ACK Child Node 2

No	Data Terkirim			Data Diterima			ACK
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya	
1	9,64	0,7	6,748	10,64	1,7	7,748	Sesuai
2	9,843	0,71	6,989	10,843	1,71	7,989	Sesuai
3	9,991	0,71	7,094	10,991	1,71	8,094	Sesuai
4	10,28	0,71	7,299	11,28	1,71	8,299	Sesuai

5	10,56	0,7	7,392	11,56	1,7	8,392	Sesuai
6	10,69	0,71	7,590	11,69	1,71	8,590	Sesuai
7	10,87	0,72	7,826	11,87	1,72	8,826	Sesuai
8	10,95	0,71	7,775	11,95	1,71	8,775	Sesuai
9	11,36	0,71	8,066	12,36	1,71	9,066	Sesuai
10	11,54	0,71	8,193	12,54	1,71	9,193	Sesuai

Tabel 9. Hasil Pengujian ACK Child Node 3

No	Data Terkirim			Data Diterima			ACK
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya	
1	10,01	0,73	7,307	11,01	1,73	8,307	Sesuai
2	10,21	0,72	7,351	11,21	1,72	8,351	Sesuai
3	10,19	0,74	7,541	11,19	1,74	8,541	Sesuai
4	10,46	0,75	7,845	11,46	1,75	8,845	Sesuai
5	10,31	0,73	7,526	11,31	1,73	8,526	Sesuai
6	10,56	0,76	8,026	11,56	1,76	9,026	Sesuai
7	10,97	0,79	8,666	11,97	1,79	9,666	Sesuai
8	11,45	0,82	9,389	12,45	1,82	10,389	Sesuai
9	11,38	0,82	9,332	12,38	1,82	10,332	Sesuai
10	11,55	0,8	9,240	12,55	1,8	10,240	Sesuai

Tabel 10. Hasil Pengujian ACK Child Node 4

No	Data Terkirim			Data Diterima			ACK
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya	
1	9,569	0,72	6,890	10,569	1,72	7,890	Sesuai
2	9,613	0,71	6,825	10,613	1,71	7,825	Sesuai
3	9,735	0,74	7,204	10,735	1,74	8,204	Sesuai
4	9,798	0,75	7,349	10,798	1,75	8,349	Sesuai
5	9,865	0,76	7,497	10,865	1,76	8,497	Sesuai
6	10,34	0,74	7,652	11,34	1,74	8,652	Sesuai
7	10,87	0,73	7,935	11,87	1,73	8,935	Sesuai
8	11,21	0,75	8,408	12,21	1,75	9,408	Sesuai
9	11,03	0,73	8,052	12,03	1,73	9,052	Sesuai
10	11,46	0,72	8,251	12,46	1,72	9,251	Sesuai

E. Pengujian Jarak Jangkauan Sistem

Untuk mengetahui jarak transmisi maksimal antar perangkat supaya informasi yang dikirim oleh salah satu perangkat dapat diterima oleh perangkat lainnya maka perlu dilakukan pengujian jarak jangkauan transmisi. Hasil pengujian jarak jangkauan transmisi ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Pengujian Jarak Jangkauan Transmisi

No	Jarak Jangkauan	Sistem dapat berkomunikasi
1	0-1 Km	Ya
2	1-2 Km	Ya
3	2-3 Km	Tidak

Jarak jangkauan sistem pada topologi *cluster* yang diterapkan menunjukkan bahwa sistem mampu

berkomunikasi dengan baik pada jarak jangkauan 0-1 km dan 1-2 km. Pada jarak jangkauan 2-3 km sistem tidak dapat berkomunikasi, hal ini dikarenakan beberapa faktor antara lain jarak jangkauan modul NRF24L01 yaitu 1,1 km pada kondisi *Line of Sight* (LOS), usia dari modul NRF24L01 yang sudah lama, adanya beberapa penghalang seperti pohon pisang, pohon sridia, dan lain sebagainya.

F. Hasil Pengukuran Potensi Energi Surya

Nilai *Panel Generation Factor* (PGF) masing-masing daerah berbeda-beda tergantung tingkat radiasi dan kondisi geografis suatu daerah. Dari hasil pengamatan di lokasi (Kecamatan Rawalo, Kabupaten Banyumas) terdapat faktor yang menghambat panel untuk mencapai daya maksimumnya antara lain: suhu permukaan lokasi berada di atas 25°C sehingga terjadi

penurunan efisiensi sebesar 15%, pengukuran tidak menggunakan MPPT sehingga terjadi penurunan efisiensi sebesar 10%, terdapat debu atau kotoran pada panel sehingga terjadi penurunan efisiensi sebesar 5%. Berdasarkan data tersebut maka dapat dihitung *Derating Factor* (DF) seperti pada persamaan berikut:

$$DF = 0,85 \times 0,90 \times 0,95$$

$$DF = 0,72675$$

Secara analitis dengan menggunakan data *Global Solar Atlas* diperoleh data total radiasi horizontal di Kecamatan Rawalo sebesar 4,829 KWh/m² per hari ditunjukkan pada Gambar 22. Sehingga diperoleh nilai PGF analitis sebagai berikut:

$$PGF_{analisis} = \frac{G_T \times DF}{G_{T,STC}}$$

$$PGF_{analisis} = \frac{4,829 \times 0,72675}{1}$$

$$PGF_{analisis} = 3,5094 \text{ h}$$

Map data		Per day ▾
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	3.897 kWh/kWp per day ▾
Direct normal irradiation	DNI	3.081 kWh/m ² per day ▾
✓ Global horizontal irradiation	GHI	4.829 kWh/m ² per day ▾
Diffuse horizontal irradiation	DIF	2.539 kWh/m ² per day ▾
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	4.892 kWh/m ² per day ▾
Optimum tilt of PV modules	OPTA	11 / 0 °
Air temperature	TEMP	26.3 °C ▾
Terrain elevation	ELE	15 m ▾

Gambar 22. Data *Global Solar Atlas*

Selanjutnya dilakukan perhitungan PGF secara eksperimental. Dari pengujian didapatkan data energi yang dari masing-masing *node*. Hasil dari nilai rata-rata energi ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Rata-Rata Energi

Node	Rata-Rata Energi (Wh)
1	72,177
2	71,0167
3	71,305
4	72,1567

Rata-Rata	71,6639
-----------	---------

Setelah didapat nilai rata-rata total energi perhari, selanjutnya dicari nilai PGF secara eksperimental sebagai berikut:

$$PGF_{eksperimental} = \frac{\text{Total energi panel per hari}}{\text{Kapasitas panel terpasang}}$$

$$PGF_{eksperimental} = \frac{71,6639 \text{ Wh}}{20 \text{ Wp}}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapat nilai % *error* antara PGF analitis dengan PGF eksperimental sebagai berikut:

$$\text{Error} = \frac{PGF_{Eksperimental} - PGF_{Analitis}}{PGF_{Analitis}} \times 100\%$$

$$\text{Error} = \frac{3,5831 - 3,5094}{3,5094} \times 100\% = 2,10\%$$

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, serta pengujian perangkat WSN yang telah dilakukan diperoleh bahwa panel surya yang digunakan dalam penelitian berfungsi dengan baik ditunjukkan dengan *error* pengukuran sebesar 1,117% untuk Voc dan 2,459% untuk Isc dibanding dengan data pada *nameplate*. Performa sistem akuisisi data berfungsi dengan baik dengan *error* pembacaan yang kecil. Pada *node* sensor 1 memiliki *error* tegangan 1,562% dan *error* arus 1,492%, pada *node* sensor 2 memiliki *error* tegangan 1,437% dan *error* arus 1,513%, pada *node* sensor 3 memiliki *error* tegangan 1,624% dan *error* arus 1,304%, dan pada *node* sensor 4 memiliki *error* tegangan 1,419% dan *error* arus 1,455%. 3. Topologi *cluster* telah dapat diterapkan dengan baik dan dapat memperjauh jarak jangkauan sistem menggunakan modul NRF24L01. Sistem mampu berkomunikasi dengan baik pada jarak jangkauan 0-1 km dan 1-2 km. Pada jarak jangkauan 2-3 km sistem tidak dapat berkomunikasi. Dari perhitungan yang dilakukan diperoleh nilai PGF analitis sebesar 3,5094 serta PGF eksperimental sebesar 3,5831. Dari hasil tersebut diperoleh simpangan sebesar 2,10%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alifyanti D.F, 2018. *Pengaturan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1000 WATT*. Jakarta: STT PLN Jakarta.

- [2] Budi dkk. (2019). *Implementation of CSMA/CA and Simple Routing Protocol on Arduino and nRF24L01 as a Solution for Affordable Wireless Sensor Node*. In 2019 International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (SIET) (pp. 159-163). IEEE.
- [3] Firdaus. (2014). *Wireless Sensor Network Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- [4] Haris, E. O., & Malik, R. F. (2018). *Penggunaan Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (Csm/CA) Berbasis Opportunistic Random Access Pada Internet Of Things* (Doctoral Dissertation, Sriwijaya University).
- [5] Hasanah, S. U. (2016). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus Dan Tegangan Pada Panel Surya* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [6] Hidayat, M dkk (2020). *Perancangan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (Solar Cell) Untuk Alternatif Penerangan Kampus*. Makasar. Universitas Muhammadiyah Makasar.
- [7] Onwuzuruike, J. A., & Aminu, M. A. (2019). *Experimental Determination of Panel Generation Factor for Apo Area of Federal Capital Territory in Nigeria*. Journal of Scientific Research and Reports, 1-5.