

SISTEM MONITORING DAN KLASTER KETERSEDIAAN ENERGI MENGUNAKAN METODE K-MEANS PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Abdul Haris¹, Edwin Hendrian²

Sekolah Tinggi Teknik PLN

Menara PLN Jln.Lingkar Luar Barat Duri Kosambi Cengkareng Jakarta Barat

¹harismwakang@sttpln.ac.id, ²paramoreds23@gmail.com

Page | 266

Abstrak— Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan alternatif penyediaan tenaga listrik. Salah satu permasalahan pada PLTS adalah tidak terpantaunya sistem pembangkit secara kontinyu dan otomatis dan juga pendeknya masa pakai baterai karena tidak dikontrol dalam pengisian dan pemakaiannya. Penelitian ini menghasilkan sistem monitoring dan klasterisasi secara *real time* dan otomatis yang dapat memantau kinerja panel surya, baterai, dan pemakaian listrik oleh pemakai, serta dapat mengatur baterai dengan memutus pengisian ketika tegangan baterai mencapai batas ambang maksimum dan memutuskan pemakaian ketika tegangan baterai mencapai batas ambang minimum. Pengiriman data hasil pemantauan ke server dilakukan oleh mikrokontroler Arduino melalui sebuah modul *Wi-Fi* ESP8266 menggunakan protokol komunikasi 802.11b. Data hasil pemantauan akan ditampilkan pada Web monitoring dan akan diolah menggunakan algoritma K-Means untuk mengelompokkan daya yang dihasilkan panel surya untuk membantu dalam analisa kinerja panel surya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keseluruhan perangkat monitoring dan klasterisasi berfungsi dengan baik dan tingkat akurasi pengujian data dengan menggunakan algoritma K-Means menghasilkan nilai Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 0.2888. dengan persentasi 0.01 – 0.04 persen kesalahan.

Keywords—Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Monitoring dan Klasterisasi, K-Means.

Abstract— Solar Power Plant (PLTS) is an alternative electricity supply. One of the problems in PLTS is the continuous and automatic monitoring of the generating system and also the short duration of the battery life because it is not controlled in charging and using it. This research produces a real time and automated monitoring and clustering system that can monitor the performance of solar panels, batteries, and electricity usage by users, and can regulate batteries by disconnecting when the battery voltage reaches the maximum threshold and decides to use when the battery voltage reaches the threshold minimum. Sending monitoring data to the server is carried out by the Arduino microcontroller via an ESP8266 Wi-Fi module using the 802.11b communication protocol. The monitoring data will be displayed on the Web monitoring and will be processed using the K-Means algorithm to classify the power produced by solar panels to assist in analyzing the performance of solar panels. The test results show that the overall monitoring and clateralization devices function well and the accuracy of the data testing using the K-Means algorithm results in a value of Root Mean Square Error (RMSE) of 0.2888. with a percentage of 0.01 - 0.04 percent error.

Keywords — Solar Power Plants, Monitoring and Clustering, K-Means.

I. PENDAHULUAN

Upaya pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif di Indonesia saat ini telah menjadi prioritas dalam kebijakan energi nasional menurut Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial di Indonesia adalah energi tenaga surya karena Indonesia terletak di garis katulistiwa, yang mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi rata-rata

sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia[1]. Pembangunan pembangkit listrik tenaga surya pada lokasi terpencil atau daerah yang tidak terjangkau Grid Listrik memberikan banyak keuntungan tetapi masih banyak permasalahan pada keberlanjutan operasi dari pembangkit listrik tenaga surya tersebut. Salah satu kendala masalah yang perlu mendapatkan perhatian adalah pada keberlanjutan operasi dari pembangkit listrik tenaga surya yang telah terpasang mengingat instalasi pembangkit tersebut

memerlukan biaya investasi yang cukup tinggi. Lokasi pembangkit listrik tenaga surya yang tersebar di daerah terpencil dalam prakteknya menjadi kendala tersendiri dalam hal pemantauan data kinerja pembangkit terpasang. Pada kasus pembangkit yang dipasang sebagai *concentrated standalone system*, monitoring umumnya dilakukan secara tersentral pada pusat pembangkit baik secara manual ataupun otomatis. Monitoring secara manual memiliki kelemahan diantaranya adalah parameter dan data monitoring yang sangat terbatas, tidak lengkap dan tidak kontinu karena keterbatasan operator. Pengamatan yang dilakukan secara lokal oleh operator juga memiliki kelemahan jika unit pembangkit berada pada lokasi yang tersebar dan hanya dapat dilakukan dengan mendatangi lokasi pembangkit[2]. Permasalahan yang timbul adalah tidak efisiennya sumber daya manusia jika menempatkan seseorang di lokasi pembangkit untuk memantau sistem, karena akan mengeluarkan biaya tambahan dan akan merugikan waktu untuk memantau sistem. Selain itu dalam keberlanjutan operasi dari pembangkit listrik tenaga surya ini, penggunaan baterai harus dijaga agar penggunaan optimal sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan oleh pabrikan, yaitu menjaga agar pengisian tidak melebihi kapasitas dan menjaga agar kapasitas baterai tidak berada di bawah kapasitas minimal [3].

Untuk itu perlu adanya suatu sistem yang mampu memonitoring kinerja pembangkit listrik tenaga surya dan mengatur penggunaan aki/baterai secara otomatis, *real time* dan bisa di pantau dari jarak jauh. Oleh karena itu dengan bantuan mikrokontroler seperti Arduino, sensor, dan alat pendukung lainnya, pembangkit perlu dilengkapi dengan sebuah sistem monitoring nirkabel berbasis website[4] yang memantau besaran energi pada panel surya, baterai dan beban pada pembangkit. Besaran listrik yang dipantau pada titik-titik pemantauan dikirimkan ke server melalui jaringan internet secara nirkabel menggunakan modul *Wi-Fi*. Algoritma *K-Means* akan diterapkan untuk mengelompokkan data daya yang dihasilkan panel surya untuk membantu analisa kinerja panel surya. Data daya yang dihasilkan oleh panel surya akan diolah dengan menggunakan atribut jam dan hari/tanggal. Maka perlu adanya sistem monitoring dan kluster pada pembangkit yang dapat memantau kinerja, mengidentifikasi kerusakan dan penurunan kinerja baterai, sehingga dapat memastikan keberlanjutan operasi dari pembangkit energi surya dengan maksimal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

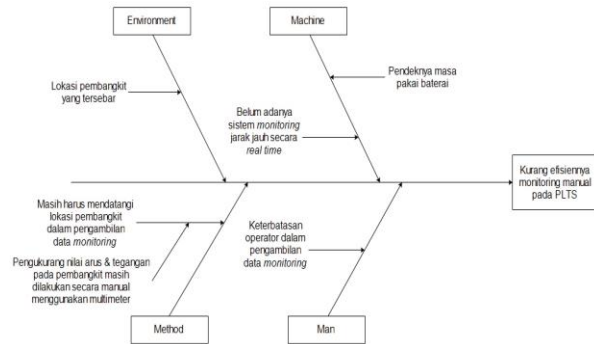
Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya dapat disampaikan bahwa, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menghasilkan daya yang selalu berubah-ubah karena besar daya keluarannya tergantung pada intensitas

cahaya matahari, suhu, arah datangnya sinar matahari dan spektrum cahaya matahari yang selalu berubah setiap waktu. Sehingga untuk mengetahui informasi daya keluaran tersebut diperlukan pemantauan terhadap parameter keluarannya agar serapan daya dapat diserap secara optimal [5]. Selain itu pemantauan dan perawatan sangat diperlukan agar pembangkit dapat beroperasi secara optimal. Untuk meminimalisir sumber daya manusia dalam memantau kerja sistem di lokasi, pemantauan dapat dilakukan melalui internet secara *realtime* sehingga dapat menghemat waktu dan biaya [3]. Selanjutnya kajian dari penelitian tentang sistem monitoring konsumsi energi listrik yang menyatakan bahwa sistem monitoring mampu mengukur daya dengan tingkat ketelitian yang cukup tinggi, dengan error pengukuran < 1%, kecuali untuk beban tertentu. Mikrokontroler yang digunakan disarankan memiliki resolusi ADC (*Analog to Digital Converter*) yang lebih besar dari 10-Bit, agar pembacaan data lebih akurat [6]. Kemudian hasil dari penelitian tentang sistem monitoring nirkabel berbasis website telah dibuktikan bahwa media monitoring secara *realtime* dapat dilakukan dari jarak yang jauh selama masih tersedia jaringan internet yang meliputi pemantauan besaran energi pada baterai dan beban, seperti tegangan, arus, dan daya yang kemudian dikirim melalui *wireless tranceiver* menggunakan protokol komunikasi 802.11 b/g/n. Rancangan prototipe yang dikembangkan telah diujikan pada skala laboratorium untuk mengetahui fungsi dari sistem monitoring. dari hasil pengujian menunjukkan sistem monitoring dapat bekerja dengan baik menampilkan data hasil pengukuran secara *realtime* melalui web browser[2]. Selanjutnya kajian dari hasil penelitian tentang sistem kontrol dan pengamatan kondisi baterai pada sistem pembangkit yang menyatakan Kebutuhan maupun konsumsi daya listrik dari tahun ke tahun terus bertambah. Kondisi ini membuat pusat pembangkit tenaga listrik harus terus menjaga keandalan untuk memastikan kapasitas total pembangkit untuk menyediakan listrik saat dibutuhkan. Didalam sistem pembangkit listrik terdapat juga sistem DC yang mempunyai peran penting. Sistem DC menggunakan baterai saat ini dalam pemeliharannya masih dilakukan oleh petugas operator yang punya tingkat kesalahan manusia yang tinggi. Untuk membantu permasalahan ini maka perlu dibangun sistem kontrol dan pengamatan baterai [7]. Dari beberapa kajian diatas maka diperlukan sebuah sistem yang mampu melakukan monitoring dan pengklusteran data daya ataupun energi yang tersedia dalam baterai dan daya yang masuk dalam baterai guna memprediksi kemampuan energi yang disediakan oleh pembangkit dan mengidentifikasi secara cepat jika terjadi kerusakan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini langkah pertama adalah melakukan analisis kebutuhan yang sesuai dengan

kondisi lapangan dengan melakukan observasi ke pembangkit yang tersedia dilaboratorium pembangkit dengan tujuan melakukan Analisa kondisi real kemudian dilakukan instalasi dan perakitan perangkat keras seperti instalasi panel surya yang di integrasikan dengan Arduino Uno sebagai media kontrol dan perangkat monitoring data daya. Berikut adalah diagram Analisa dengan *fishbone*:



Gbr. 1 Analisa permasalahan Diagram *Fishbone*

Dari diagram *fishbone* di atas digambarkan beberapa akar dan pokok permasalahan yang mengakibatkan kurang efisiensi monitoring secara manual pada PLTS yaitu :

1. *Environment*

Lokasi pembangkit yang tersebar di dalam prakteknya menjadi kendala tersendiri dalam hal pemantauan data kinerja pembangkit terpasang. Karena dengan monitoring secara manual, operator harus mendatangi lokasi satu per satu untuk pemantauan data kinerja pembangkit. Dan hal ini, membuat tidak efisien monitoring secara manual dalam segi waktu.

2. *Machine*

Pada perangkat keras sistem monitoring secara manual, belum adanya perangkat yang mendukung untuk pemantauan data kinerja pembangkit dari jarak jauh dan secara real time. Selain itu, perawatan perangkat keras pada PLTS juga sangat penting dalam pemantauan data kinerja pembangkit untuk keberlanjutan unit pembangkit, sehingga diperlukan pengawasan secara berkala terhadap unit-unit pembangkit dan juga perangkat pendukung. Seperti baterai, penggunaan baterai yang tidak optimal akan memperpendek masa pakai baterai sehingga penggunaan baterai harus dijaga agar pengisian tidak melebihi kapasitas dan menjaga agar kapasitas baterai tidak berada di bawah kapasitas minimal.

3. *Method*

Dalam pengambilan data kinerja pembangkit, operator harus mendatangi lokasi pembangkit. Dan juga pengambilan data nilai arus dan tegangan pada pembangkit masih dilakukan secara manual menggunakan alat ukur multimeter. Sehingga tidak efisien dalam pengambilan data kinerja pembangkit jika masih menggunakan metode manual seperti ini.

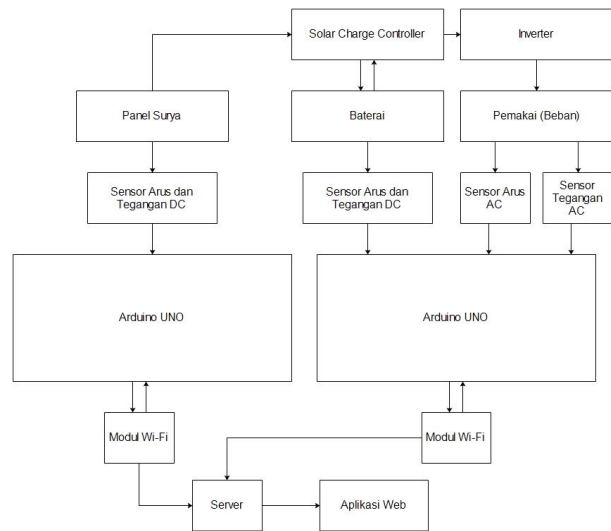
4. *Man*

Pemantauan secara manual memiliki kelemahan dimana parameter dan data monitoring yang didapat sangat terbatas, tidak lengkap dan tidak kontinu karena keterbatasan dari operator. Sebagai operator dari monitoring, jika pengamatan dilakukan secara lokal dengan unit pembangkit berada pada lokasi tersebar maka operator harus mendatangi lokasi unit pembangkit tersebut sehingga akan merugikan waktu dalam proses monitoring karena keterbatasan operator.

IV. PEMBAHASAN

A. *Desain Blok Diagram*

Blok diagram ini merupakan gambar singkat dari perancangan rangkaian sistem monitoring dan klusterisasi PLTS. Dari blok diagram rangkaian inilah dapat diketahui cara kerja rangkaian keseluruhan sistem monitoring dan klusterisasi PLTS. Sehingga keseluruhan rangkaian blok diagram akan menghasilkan suatu sistem yang dapat difungsikan dan dapat bekerja sesuai perancangan sistem. Pada bagian ini dari hasil Analisa diatas dilihat blok diagram sebagaimana pada gambar dibawah ini:

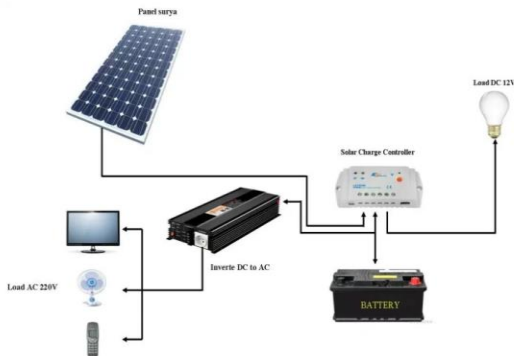


Gbr. 2 Blok Diagram Sistem

Dari diagram diatas dapat dilihat tahapan aliran informasi energi yang bersumber dari panel surya dengan menggunakan jalur yaitu melalui jalur Sensor Arus dengan membaca tegangan DC dan yang kedua melalui *Solar Charge Control* yang nantinya akan didistribusi *inverter* dan ke baterai. Arus yang masuk dari baterai maka akan dibaca dengan menggunakan Sensor Arus DC yang fungsinya adalah untuk memonitoring daya yang tersedia pada baterai. Kemudian dari *inverter* dan berfungsi untuk didistribusikan ke pemakai yang kemudian dibaca data bebannya menggunakan dengan Sensor AC yang masing-masing baik data daya ataupun beban akan dikirim ke Arduino.

B. Skema Sistem

Berikut adalah bentuk skema panel surya sebelum dilakukan instalasi sistem:



Gbr. 3 Skema Sistem Panel Surya

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa dari sumber energi panel surya yang terhubung ke solar charge control yang didistribusikan ke pengguna, baterai dan inverter.

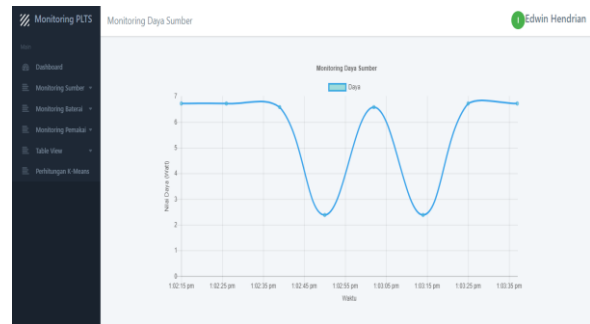
C. Hasil Instalasi

Arduino Uno yang digunakan sebanyak 2 buah karena sensor INA219 menggunakan port SCL dan SDA, dimana tiap Arduino memiliki port SCL dan SDA yang terbatas. Arduino UNO ini digunakan untuk memprogram pembacaan Sensor INA219, Sensor ACS712, Sensor ZMPT101B, dan juga modul Wi-Fi ESP8266 guna melakukan pembacaan Sensor dan mengirimkannya untuk kebutuhan monitoring. Berikut adalah hasil rangkaian dari sistem Arduino UNO:



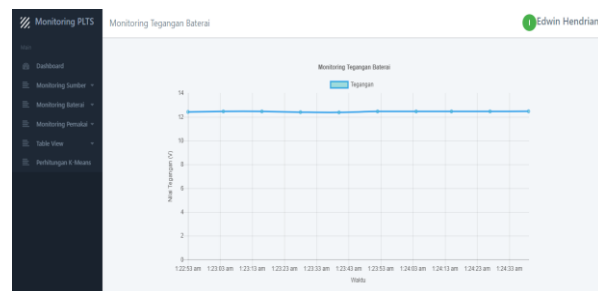
Gbr. 4 Hasil Instalasi Perangkat Monitoring Panel Surya

Dari perangkat tersebut maka data daya dan tegangan akan dikirim ke server untuk ditampilkan ke website sehingga dapat dimonitor dari jarak jauh, teknologi ini akan memanfaatkan jaringan internet sebagai infrastruktur untuk mengakses data dari server ke website sehingga dapat mempermudah evaluasi pembangkit secara realtime. Berikut adalah tampilan pada website monitoring:



Gbr. 5 Halaman monitoring dalam website

Pada halaman monitoring disini ditampilkan nilai daya yang dihasilkan pada panel surya per sepuluh detik. Data yang ditampilkan langsung diambil secara real time dan ditampilkan dalam bentuk grafik dinamis yang menyesuaikan dengan data yang dikirim dari pembangkit. Selain kondisi daya juga terdapat halaman monitoring kondisi baterai seperti pada tampilan dibawah ini :



Gbr. 6 Halaman monitoring baterai dalam website

Pada halaman monitoring tegangan baterai diatas, seperti pada halaman sebelumnya juga ditampilkan secara real time dengan nilai tegangan pada baterai per sepuluh detik yang dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas dari baterai dan kondisi baterai. Data yang ditampilkan dengan memanfaatkan internet sebagai infrastruktur dan ditampilkan dalam bentuk grafik dinamis.

D. Kluster dengan K-Means

Metode ini digunakan untuk memetakan kondisi pembangkit dengan cara melakukan klusterisasi data yang diterima. Pada metode ini penyelesaian masalah akan tergambar langkah-langkah dalam penyelesaian masalah yang akan dilakukan selama tahap penelitian. Berikut adalah langkah-langkah penyelesaian masalah dengan algoritma K-Means dari tahap awal hingga tahap akhir adalah seperti berikut data awal yang di klusterisasi:

TABEL I
DATA KLUSTER

Wkt	Sn	Sl	Rb	Km	Jm	Sb	Mg
7:00	1.67	1.52	1.79	1.56	1.74	1.79	1.73
8:00	2.28	2.37	2.10	2.14	2.13	2.37	2.17

9:00	2.33	2.26	2.39	2.12	2.05	2.32	2.00
10:00	3.54	3.05	3.50	3.49	3.79	3.51	3.43
11:00	3.83	3.89	3.37	3.79	3.17	3.53	3.27
12:00	5.18	3.52	3.95	3.62	5.27	4.71	4.92
13:00	4.08	3.93	3.94	3.45	3.48	3.94	4.02
14:00	3.85	3.93	4.02	3.67	3.81	3.94	3.96
15:00	6.09	5.30	5.20	5.77	5.16	6.11	5.86
16:00	4.26	3.91	4.33	4.29	4.37	4.16	4.15
17:00	3.93	3.74	3.71	3.53	3.81	3.98	3.57

Dari data diatas langkah pertama adalah tentukan banyaknya cluster, dalam hal ini adalah dua (k = 2). Kemudian Langkah kedua, tentukan *centroid* awal (*Initial Centroid*), dalam hal ini *centroid* awal ditentukan secara acak dari data sumber.

TABEL II
INISIALISASI CETEROID

Initial Centroid							
C	Sn	Sl	Rb	Km	Jm	Sb	Mg
C1	1.67	1.52	1.79	1.56	1.74	1.79	1.73
C2	3.54	3.05	3.50	3.49	3.79	3.51	3.43
C3	6.09	5.30	5.20	5.77	5.16	6.11	5.86

Langkah selanjutnya adalah menghitung jarak data dengan centroid. Dalam perhitungan jarak data memakai rumus Euclidean sebagai berikut :

$$d(x_i, c_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - c_i)^2}$$

Dimana:

- d = jarak
- i = banyaknya data
- c = centroid
- x = data

Rumus diatas digunakan untuk menghitung masing-masing kluster berdasarkan jumlah kluster yang dibuat, selanjutnya dari data kluster tersebut maka akan dihitung jarak, kelompokkan data sesuai cluster-nya, yaitu data yang memiliki jarak terpendek. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut :

$$d_{ij}(x_i, c_i) < d_{ij}(x_j, c_j)$$

Dimana :

Dij = jarak objek antara obyek i dan j

- Xi = Koordinat dari obyek i
- Ci = Cluster ke-i
- Xj = Koordinat dari obyek j
- Cj = Cluster ke-j

Dari penggunaan rumus diatas maka akan menghasilkan tabel Jarak Centroid dan Pengelompokan data Iterasi-1 sebagai berikut :

TABEL III
JARAK CETEROID DAN PENGELOMPKAN

Wkt	DC1	DC2	DC3	C1	C2	C3
7:00	0.00	4.75	10.52	1	0	0
8:00	1.49	3.39	9.09	1	0	0
9:00	1.45	3.42	9.14	1	0	0
10:00	4.75	0.00	5.85	0	1	0
11:00	5.02	1.14	5.63	0	1	0
12:00	7.51	3.00	3.61	0	1	0
13:00	5.72	1.37	4.88	0	1	0
14:00	5.82	1.28	4.78	0	1	0
15:00	10.52	5.85	0.00	0	0	1
16:00	6.69	1.97	3.95	0	1	0
17:00	5.48	0.96	5.09	0	1	0

Setelah dikelompokkan, proses dilanjutkan dengan menentukan centroid baru yang didapat dari menghitung nilai rata-rata data pada setiap cluster seperti berikut:

TABEL IV
NILAI CENTEROID

Centroid Iterasi 1							
C	Sn	Sl	Rb	Km	Jm	Sb	Mg
C1	2.09	2.05	2.09	1.94	1.97	2.16	1.97
C2	4.10	3.71	3.83	3.69	3.96	3.97	3.90
C3	6.09	5.30	5.20	5.77	5.16	6.11	5.86

Kemudian menghasilkan nilai centroid berubah, maka proses dilanjutkan dengan menghitung jarak data dengan centroid baru. Dengan menghitung jarak data dengan cluster pertama dengan menggunakan rumus yang sama sesuai dengan perhitungan jarak kluster ditahap awal. Kemudian setelah sudah mendapatkan nilai baru jarak kluster selanjutnya dimasukkan kedalam tabel yang disusun seperti pada tabel 2 kemudian dilanjutkan sampai pada penentuan nilai Centeroid sesuai dengan tabel 3 sampai pengelompokan centeroid optimal pada tahapan ini merupakan iterasi ke 2 yang dilakukan, jumlah iterasi disesuaikan dengan jumlah datanya.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan mulai tahap awal hingga proses pengujian Sistem monitoring dan klusterisasi ketersediaan energi pada PLTS dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring membaca parameter data arus dan tegangan pada panel surya, baterai, dan terminal listrik memakai menggunakan sensor arus dan tegangan DC INA219, sensor arus AC ACS712, dan sensor tegangan ZMPT101B yang kemudian dikirimkan melalui modul *Wi-Fi* ESP8266 ke server dan ditampilkan pada Web Monitoring secara real time dan otomatis menggunakan jaringan internet dapat berjalan dengan baik dan dari hasil pengujian lapangan dibuktikan kesalahan bisa terjadi dengan persentasi antara 0,01 – 0,04 persen saja. Sistem ini dapat membantu pengelola dan teknisi dalam memantau kondisi pembangkit tanpa harus datang kelokasi pembangkit secara langsung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua saya atas doanya dan istri tercinta yang selalu mendukung dalam proses penelitian untuk menghasilkan jurnal ini serta anak-anak saya Aulia dan Alya yang selalu menjadi permata dalam kehidupan saya tidak lupa pula kepada Edwin yang telah bersusah payah untuk mengumpulkan data.

REFERENSI

- [1] G. Pikra, A. Salim, B. Prawara, A. J. Purwanto, T. Admono, and Z. Eddy, "Development of small scale concentrated solar power plant using organic Rankine cycle for isolated region in Indonesia," *Energy Procedia*, vol. 32, pp. 122–128, 2013.
- [2] A. Wisnu, W. Nugraha, I. Rosyadi, J. T. Elektro, and U. J. Soedirman, "Jte - itp issn no. 2252-3472 desain sistem monitoring nirkabel berbasis website untuk pemantauan baterai dan beban pembangkit listrik hibrida surya - angin," *Winasis**, Azis Wisnu Widhi Nugraha, Imron Rosyadi Jur., vol. 5, no. 2252, pp. 137–142, 2016.
- [3] Handoko, "Solar Power Monitoring System Based On ATMEGA16 Microcontroller And Teamviewer," *J. Tek. dan Ilmu Komput.*, vol. 06, no. 21, pp. 9–16, 2016.
- [4] R. N. P. Haris, Abdul, Dine Tiara Kusuma, "Sistem Penyortiran Buah Apel Manalagi Menggunakan Sensor," *J. PETIR*, vol. 11, no. 1, pp. 92–95, 2018.
- [5] M. R. Fachri, I. D. Sara, and Y. Away, "Pemantauan Parameter Panel Surya Berbasis Arduino secara Real Time," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 4, p. 123, 2015.
- [6] T. Nusa, S. R. U. A. Sompie, M. Eng, and S. T. Rumbayan, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler," *Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 4, no. 5, pp. 19–26, 2015.
- [7] T. B. O. Simanjuntak *et al.*, "Pemantauan Parameter Panel Surya Berbasis Arduino secara Real Time," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 06, no. 2, pp. 9–16, 2016.