

PERANCANGAN ALAT DAN PROGRAM MONITORING MESIN GENSET 250 kVA JARAK JAUH BERBASIS IoT

Moh. Syaifur Rohman¹, Santoso²

msyaifurrohman24@gmail.com¹

Politeknik Negeri Malang

ABSTRACT

A generator set (genset) is an essential backup power source used across various sectors, including industry, healthcare, and public facilities. Large-capacity gensets, such as those with 250 kVA, are crucial for maintaining operational continuity, especially in areas with unstable power supply. Manual monitoring methods for gensets are often inefficient and time-consuming, particularly when the genset is located far from the operator. Technological innovation based on the Internet of Things (IoT) is needed to support remote, real-time monitoring of gensets. The data collection method was conducted through experimental testing by varying the distance between the Wifi modem and the ESP32 microcontroller at distances of 1 meter, 5 meters, and 8 meters. The system response time was measured using a stopwatch by directly observing the time it took for the system to display data from the PZEM-004T sensor to the Blynk application. Each test was repeated nine times at each distance to obtain consistent and reliable data. The collected data were analyzed using statistical approaches and the Capability Process method to evaluate the consistency of system performance across different signal distances. The results of the study showed that the distance between the modem and ESP32 significantly affected the response time of the monitoring system. The average response time increased as the distance increased, with 0.76 seconds at 1 meter, 0.83 seconds at 5 meters, and 1.01 seconds at 8 meters. A Cp value of 1.69 indicates that the system has excellent potential process capability, while a Cpk value of 0.83 suggests that the process is not fully reliable due to a tendency of the data distribution to approach the lower specification limit. Therefore, network connection stability is a crucial factor in maintaining optimal performance of IoT-based monitoring systems in real-world applications.

Keywords: Genset, IoT, Sensor PZEM-004, Real Time, Genset 250 kVA.

ABSTRAK

Generator set (genset) adalah salah satu perangkat penting sebagai sumber daya cadangan yang digunakan di berbagai sektor, termasuk industri, layanan kesehatan, dan fasilitas publik. Genset dengan kapasitas besar, seperti 250 kVA, menjadi kebutuhan mendesak untuk menjaga kontinuitas operasi, terutama di wilayah dengan pasokan listrik yang tidak stabil. Metode pemantauan manual terhadap genset seringkali kurang efisien dan memakan waktu, terutama jika lokasi genset jauh dari pengelola. Inovasi teknologi berbasis Internet of Things (IoT) diperlukan untuk mendukung pemantauan genset jarak jauh secara *real-time*. Metode pengambilan data dilakukan melalui pengujian eksperimental dengan memvariasikan jarak antara modem *Wifi* dan mikrokontroler ESP32 yaitu pada jarak 1 meter, 5 meter, dan 8 meter. Waktu respons sistem diukur menggunakan stopwatch dengan metode pengamatan langsung terhadap waktu yang dibutuhkan sistem dalam menampilkan data dari sensor PZEM-004T ke aplikasi Blynk. Setiap pengujian dilakukan sebanyak sembilan kali pada masing-masing jarak untuk memperoleh data yang konsisten. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan pendekatan statistik dan metode Capability Process untuk mengevaluasi konsistensi performa sistem terhadap variasi jarak sinyal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak antara modem dan ESP32 berpengaruh signifikan terhadap waktu respons sistem monitoring. Rata-rata waktu respons meningkat seiring bertambahnya jarak yaitu 0,76 detik pada 1 meter, 0,83 detik pada 5 meter, dan 1,01 detik pada 8 meter. Nilai Cp sebesar 1,69 menunjukkan bahwa sistem memiliki potensi kapabilitas proses yang sangat baik, namun nilai Cpk sebesar 0,83 mengindikasikan bahwa proses belum sepenuhnya andal akibat kecenderungan distribusi data mendekati batas bawah spesifikasi. Dengan demikian, kestabilan

koneksi jaringan menjadi faktor penting dalam menjaga performa sistem monitoring berbasis IoT agar tetap optimal dalam penerapannya di lingkungan nyata.

Kata Kunci: Genset, IoT, Sensor PZEM-004, Real Time, Genset 250 kVA.

PENDAHULUAN

Generator set (genset) adalah salah satu perangkat penting sebagai sumber daya cadangan yang digunakan di berbagai sektor, termasuk industri, layanan kesehatan, dan fasilitas publik. Genset dengan kapasitas besar, seperti 250 kVA, menjadi kebutuhan mendesak untuk menjaga kontinuitas operasi, terutama di wilayah dengan pasokan listrik yang tidak stabil. Genset juga menjadi alternatif sumber tegangan cadangan utama apabila terdapat kendala pada sumber tegangan utama [1]. Metode pemantauan manual terhadap genset sering kali kurang efisien dan memakan waktu, terutama jika lokasi genset jauh dari pengelola. Hal ini dapat memperlambat respons dalam menangani gangguan operasional yang berpotensi merusak perangkat (Kumar et al., 2020) [2]. Oleh karena itu, inovasi teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) diperlukan untuk mendukung pemantauan genset jarak jauh secara *real-time* (Lee & Kim, 2020) [3].

Teknologi IoT memiliki kemampuan untuk mengintegrasikan data digital dan memungkinkan pemantauan perangkat secara efisien. Pemantauan parameter penting, seperti tegangan, arus, suhu, dan level bahan bakar, dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat pintar. Kemampuan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pemantauan, tetapi juga memungkinkan deteksi dini kerusakan pada perangkat. Dengan demikian, tindakan korektif dapat segera dilakukan untuk menghindari gangguan lebih lanjut. Penelitian menunjukkan bahwa IoT mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi pengelolaan perangkat dibandingkan dengan metode konvensional (Fajri et al., 2019) [4]. Selain itu, pendekatan ini mendukung pemeliharaan preventif dan prediktif, yang secara signifikan mengurangi biaya operasional (Ahmed & Youssef, 2019) [5].

Penggunaan IoT dalam sistem monitoring genset tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga mendukung konsep keberlanjutan dalam pengelolaan energi. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan dan analisis data operasional yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan efisiensi penggunaan energi. Dalam konteks genset berkapasitas besar seperti 250 kVA, pengelolaan yang optimal sangat penting untuk memastikan keandalan operasional dalam berbagai kondisi. Studi mengungkapkan bahwa penerapan IoT mampu memperpanjang umur perangkat, meminimalkan downtime, dan meningkatkan ketersediaan operasional perangkat (Susanto & Hartono, 2021) [6].

Meskipun banyak penelitian telah membahas pemanfaatan IoT untuk sistem monitoring energi, penelitian khusus terkait implementasi IoT pada genset kapasitas besar masih sangat terbatas. Berdasarkan masalah tersebut, penulis mengangkat judul penelitian “Perancangan Alat Dan Program Monitoring Mesin Genset 250 kVA Jarak Jauh Berbasis IoT”. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat dan program monitoring berbasis IoT untuk genset 250 kVA yang mampu memantau secara real-time. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi, akurasi, serta keandalan operasional genset, sehingga mampu memenuhi kebutuhan energi pada berbagai sektor.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen dilakukan untuk menguji efektivitas dan efisiensi sistem monitoring genset berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini dirancang untuk memantau parameter utama genset 250 kVA secara real-time, termasuk arus, dan tegangan. Proses eksperimen melibatkan pengumpulan data, analisis, serta pengujian terhadap hasil

implementasi sistem. Dengan pendekatan eksperimen, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan model implementasi yang dapat diterapkan dalam industri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan pembuatan alat serta mendesain alat monitoring mesin genset 250 kVA, selanjutnya akan dijelaskan pengaruh jarak *wifi* terhadap waktu respon yang sudah di variasi pada jarak 1 meter, 5 meter, dan 8 meter.

Hasil Respon Waktu Data Terhadap Jarak *Wifi*

Adapun hasil data yang telah didapatkan dalam penelitian ini, untuk mendapatkan hasil data dari pengaruh jarak *wifi* terhadap respon waktu respon data pada penelitian ini menggunakan modem *wifi* yang divariasikan jaraknya dari 1 meter, 5 meter, dan 8 meter dari jarak alat monitoringnya. Lakukan perhitungan waktunya menggunakan stopwatch. Berikut adalah tabel data hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil penelitian pengaruh jarak *wifi* terhadap respon waktu data

Percobaan	Jarak <i>Wifi</i> pada Modul Esp32 (m)		
	1 Meter	5 Meter	8 Meter
	Waktu (s)	Waktu (s)	Waktu (s)
1	0,74 s	0,81 s	1,01 s
2	0,77 s	0,83 s	1 s
3	0,79 s	0,81 s	1,02 s
4	0,76 s	0,84 s	1,01 s
5	0,75 s	0,83 s	1 s
6	0,77 s	0,86 s	1,03 s
7	0,78 s	0,85 s	1,04 s
8	0,74 s	0,84 s	1,02 s
9	0,77 s	0,84 s	1 s
Rata-rata	0,76 s	0,83 s	1,01 s

Tabel 1. menunjukkan hasil pengujian mengenai pengaruh jarak sinyal *wifi* Terhadap waktu data pada modul esp32. Pengujian dilakukan pada tiga jarak berbeda, yaitu 1 meter, 5 meter, dan 8 meter, dengan masing-masing jarak dilakukan sebanyak sembilan kali percobaan. Data yang diperoleh menunjukkan waktu respon dalam satuan detik (s). Secara umum, semakin jauh jarak antara modul ESP32 dengan sumber *Wifi*, waktu respon cenderung meningkat, namun menariknya waktu respon juga ikut meningkat pada jarak yang lebih jauh. Data hasil pengujian ini nantinya akan dijadikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah visualisasi pola hubungan antara jarak dan waktu respon. Selain itu, data ini juga akan dihitung menggunakan metode Cp atau Process Capability untuk mengevaluasi sejauh mana kemampuan proses ini dalam memenuhi spesifikasi yang ditetapkan secara konsisten, terutama dalam konteks stabilitas dan keandalan sistem monitoring berbasis *Wifi*.

Hasil Perbandingan Alat dengan Display Panel

Untuk mengetahui keandalan dari alat yang sudah dibuat maka dilakukan perbandingan dengan *display panel* pada setiap pembacaan sensor yaitu sensor daya, arus dll. yang masuk ke aplikasi *blynk*. Berikut hasil perbandingan alat dengan *display panel* setiap pembacaan sensor yang masuk ke aplikasi *blynk* dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

- Perbandingan alat sensor PZEM-004T dengan *display panel* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 2. Hasil perbandingan sensor PZEM-004T dengan *display panel*

No	Tegangan	Display Panel	Eror (%)
1	230,3 V	230,0 V	0,3%
2	231,1 V	231,1 V	0%
3	225,9 V	226,1 V	0,089%

$$\%_{\text{error}} = \frac{\text{Nilai Display Panel} - \text{Nilai Sensor}}{\text{Nilai Display Panel}} \times 100 \%$$



Gambar 1. Perbandingan display panel dengan monitoring tegangan

Perbedaan kecil antara hasil pembacaan sensor PZEM-004T dan display panel pada tabel 2 juga dapat dipengaruhi oleh kualitas koneksi Wi-Fi dalam sistem monitoring. Sensor PZEM-004T yang terhubung ke ESP32 akan mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi ke aplikasi Blynk secara real-time. Namun, jika kualitas sinyal Wi-Fi tidak stabil seperti yang sering terjadi di area genset pengiriman data dapat mengalami keterlambatan (delay). Hal ini menyebabkan data yang tampil pada aplikasi smartphone sedikit tertinggal dibandingkan dengan pembacaan langsung pada display panel, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Walaupun nilai sensor sebenarnya sudah terbaca dengan benar oleh mikrokontroler, keterlambatan data akibat gangguan Wi-Fi dapat menimbulkan kesan adanya selisih pembacaan. Maka dari itu, kestabilan koneksi jaringan sangat penting untuk memastikan sinkronisasi data antara sensor dan tampilan aplikasi berjalan optimal dan akurat.

- Perbandingan alat sensor PZEM-004T dengan *display panel* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil perbandingan sensor PZEM-004T dengan display panel

No	Arus	Display Panel	Eror(%)
1	70,78 A	71,8 A	1,421%
2	79,68 A	75,6 A	5,40%
3	111,03 A	112,2 A	1,04 %

$$\%_{\text{eror}} = \frac{\text{Nilai Display Panel} - \text{Nilai Sensor}}{\text{Nilai Display Panel}} \times 100 \%$$



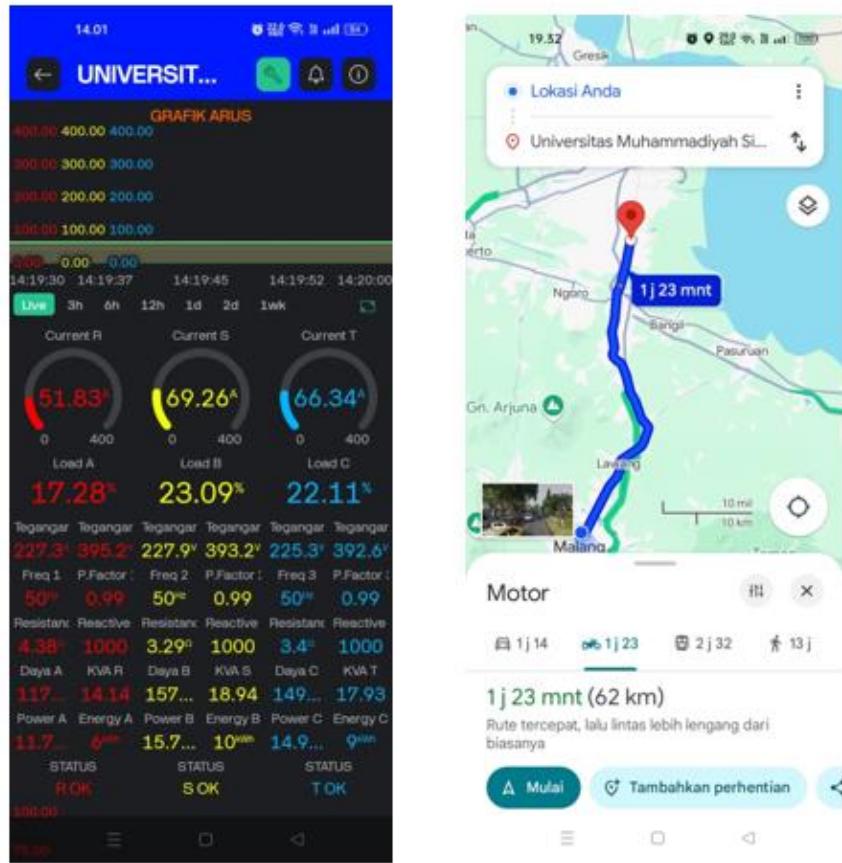
Gambar 2. Perbandingan display panel dengan monitoring arus

Perbedaan antara nilai arus yang ditampilkan oleh aplikasi monitoring dan display panel pada Gambar 2 juga dapat dipengaruhi oleh kualitas jaringan WiFi. Karena sistem ini menggunakan koneksi nirkabel untuk mengirim data dari ESP32 ke aplikasi Blynk, kestabilan sinyal sangat menentukan kecepatan dan keakuratan tampilan data. Jika sinyal Wi-Fi mengalami gangguan, seperti terhalang dinding atau logam di ruang genset, maka pengiriman data bisa mengalami keterlambatan (*delay*). Akibatnya, meskipun sensor sudah membaca nilai arus dengan benar, data yang tampil di aplikasi bisa sedikit tertunda dibandingkan dengan tampilan langsung pada display panel. Hal inilah yang dapat menimbulkan kesan bahwa terdapat selisih nilai, padahal keterlambatan tersebut terjadi karena faktor jaringan, bukan karena kesalahan pengukuran sensor.

Kapasitas Jarak Alat Monitoring dengan Mesin Genset

Secara prinsip alat monitoring yang berbasis jaringan tidak memiliki batasan jarak secara fisik, selama koneksi jaringan baik itu melalui internet, Wi-Fi, maupun jaringan seluler berfungsi dengan baik dan stabil di kedua lokasi, yaitu tempat genset berada dan tempat alat monitoring digunakan. Hal ini memungkinkan pemantauan mesin genset dapat dilakukan dari jarak jauh, bahkan lintas kota atau negara, tanpa mengurangi keakuratan data, asalkan tidak ada gangguan pada jaringan yang digunakan. Berikut

kapasitas jarak alat monitoring dengan mesin genset dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Kapasitas jarak alat monitoring dengan mesin genset

Gambar 3. menunjukkan bahwa alat monitoring mampu memantau kondisi mesin genset secara live atau real-time meskipun berada pada jarak sekitar 62 kilometer, seperti yang terlihat dari tangkapan layar aplikasi monitoring dan peta lokasi antara titik pengguna dengan lokasi mesin genset. Hal ini membuktikan bahwa jarak bukan menjadi kendala dalam sistem pemantauan selama koneksi jaringan internet di kedua lokasi tetap stabil. Monitoring tetap berjalan dengan lancar semua dapat diakses langsung tanpa hambatan waktu ataupun lokasi.

Hasil Monitoring Mesin Genset 250 kVA pada Aplikasi *Blynk*

Setelah melakukan *desain* keseluruhan alat monitoring mesin genset 250 kVA. Berikut hasil monitoring mesin genset 250 kVA pada aplikasi blink dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 4. Hasil monitoring mesin genset 250 kVA pada aplikasi blink

Gambar 4. menunjukkan tampilan dari alat monitoring jarak jauh pada mesin genset 250 kVA yang berbasis IoT dan terhubung secara real-time. Melalui antarmuka ini, pengguna dapat memantau berbagai parameter penting seperti arus, tegangan, dll. Tampilan visualnya yang lengkap dan berwarna memudahkan pengguna dalam membaca kondisi operasional mesin genset secara cepat dan akurat. Dengan sistem ini, pengguna tidak perlu berada di dekat genset untuk melakukan pemantauan, sehingga sangat membantu dalam hal efisiensi waktu dan pengawasan dari lokasi yang jauh.

Pembahasan

1. Pembahasan Perancangan Sistem Monitoring Berbasis IoT

Perancangan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) pada mesin genset 250 kVA diawali dengan tahap identifikasi kebutuhan dan masalah yang dihadapi dalam proses pemantauan genset secara manual. Sistem pemantauan konvensional dinilai kurang efisien karena membutuhkan kehadiran langsung operator di lokasi yang akan mempersulit jika genset berada di lokasi terpencil atau berisiko tinggi. Oleh karena itu, tujuan utama dari rancangan ini adalah untuk membuat sistem yang mampu membaca parameter penting genset seperti tegangan, arus, secara real-time dan jarak jauh dengan bantuan koneksi internet yang dapat diakses melalui perangkat smartphone.

Tahapan selanjutnya adalah perancangan sistem secara menyeluruh, dimulai dari penyusunan diagram blok yang menggambarkan alur kerja komponen utama. Komponen inti yang digunakan dalam sistem ini meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali dan pemroses data, sensor PZEM-004T untuk mengukur parameter listrik

seperti tegangan, arus, dll. ESP32 dipilih karena mendukung komunikasi *wifi*, dan memiliki performa yang cukup tinggi untuk kebutuhan komunikasi data secara real-time. Sensor-sensor tersebut dihubungkan ke ESP32 melalui komunikasi serial dan tegangan DC 5V.

Setelah perancangan struktur dilakukan, tahap berikutnya adalah perakitan perangkat keras. Seluruh komponen disusun dan ditempatkan dalam sebuah box pelindung yang didesain agar mampu melindungi rangkaian elektronik dari debu, air, dan gangguan eksternal lainnya. Kabel jumper, breadboard, serta adaptor 220V AC ke 5V DC digunakan untuk mendistribusikan daya ke setiap komponen. Konfigurasi wiring dilakukan sesuai dengan standar keamanan dan efisiensi. ESP32 dikoneksikan ke sensor PZEM-004T menggunakan pin TX dan RX. Selain itu, sistem juga dikoneksikan dengan modem Wi-Fi sebagai jalur pengiriman data ke aplikasi monitoring. Setelah perangkat keras tersusun dengan baik, dilakukan pemrograman mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino IDE. Program yang dikembangkan memuat konfigurasi pembacaan data dari seluruh sensor, pengolahan data, dan pengiriman data ke server aplikasi Blynk secara real-time.

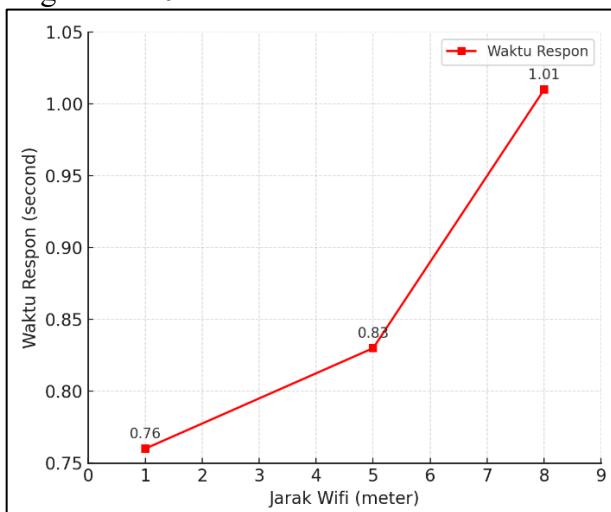
Tahapan selanjutnya adalah pengujian fungsionalitas sistem untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja sesuai fungsi. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap panel manual genset. Berdasarkan hasil perbandingan, sistem menunjukkan nilai error di bawah 5%, yang menandakan bahwa alat monitoring telah bekerja dengan sangat baik. Selain itu, dilakukan pengujian jarak koneksi Wi-Fi antara modem dan ESP32 pada tiga titik jarak berbeda, yaitu 1 meter, 5 meter, dan 8 meter untuk melihat pengaruhnya terhadap kecepatan respon data. Rata-rata waktu respon pada jarak terjauh tetap berada dalam rentang 1 detik, sehingga sistem tetap dapat berfungsi optimal meskipun ada variasi jarak.

Pembahasan Data Respon Waktu Data Terhadap Jarak *Wifi*

Setelah mendapatkan hasil waktu respon data pada jarak *wifi* yang telah ditentukan pada jarak 1 m, 5 m, 8 m, maka dilakukan pengolahan data hasil akhir pada waktu respon data terhadap jarak *wifi* yang telah ditentukan.

Berikut adalah bentuk tabel dan grafik hasil waktu respon data yang telah didapatkan terhadap jarak *wifi* yang telah ditentukan:

- Data hasil waktu respon data pada jarak *wifi* yang telah ditentukan dapat dilihat pada tabel 1.
- Grafik hasil keseluruhan waktu respon data pada jarak *wifi* yang telah ditentukan dapat dilihat pada gambar 10.

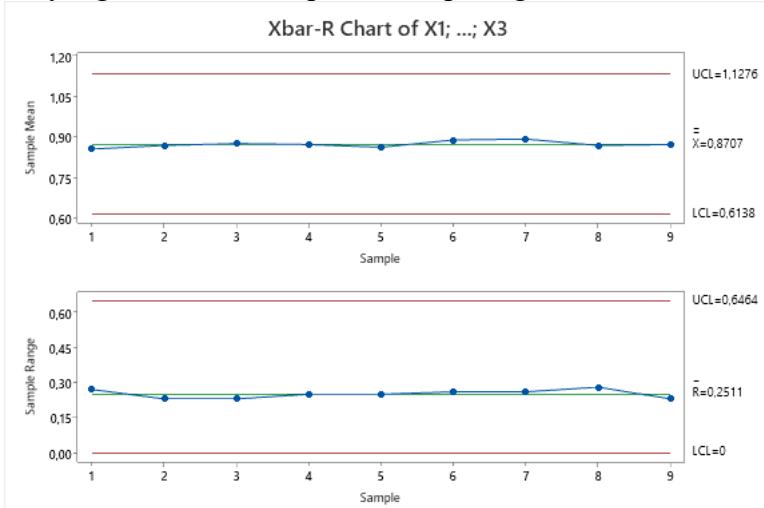


Gambar 4. Grafik hasil keseluruhan respon waktu data pada jarak *wifi*

Berdasarkan uraian grafik keseleruhan diatas pada gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak *wifi* maka waktu respon data meningkat yang artinya waktu transfer data menurun. Variasi jarak *wifi* berpengaruh langsung terhadap respon kecepatan transfer data hal ini disebabkan karena semakin jauh jarak *wifi* terhadap alat monitoring maka respon kecepatan transfer datanya akan semakin lambat.

Analisis Data CP Respon Waktu Data Terhadap Jarak *Wifi*

Analisa data menggunakan Cp (*Process Capability*) dilakukan agar mengetahui apakah alat yang dibuat sudah memenuhi spesifikasi atau tidak. Proses menganalisa data pada penelitian ini menggunakan aplikasi *mini tab* untuk mengetahui normalitas dari data yang diteliti. Berikut adalah data dari uji normalitas dari jarak *wifi* berpengaruh terhadap waktu respon data yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 5 Peta kendali hasil pengujian kualitas alat monitoring

Gambar 6. menunjukkan \bar{X} -R Chart yang ditampilkan merupakan hasil pengolahan data dari tiga kelompok pengukuran, yaitu X1, X2, dan X3. Grafik ini terdiri dari dua bagian, yaitu \bar{X} Chart (diagram atas) dan R Chart (diagram bawah). \bar{X} Chart menunjukkan nilai rata-rata dari setiap subgroup atau kelompok data, sedangkan R Chart menunjukkan rentang (range) atau selisih antara nilai maksimum dan minimum dari masing-masing subgroup. Berdasarkan grafik \bar{X} Chart, nilai rata-rata keseluruhan proses adalah 0.8707, dengan batas kendali atas (UCL) sebesar 1.1276 dan batas kendali bawah (LCL) sebesar 0.6138. Seluruh titik berada dalam batas kontrol ini, sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses stabil dan tidak menunjukkan variasi yang abnormal. Pada bagian R Chart, nilai rata-rata range adalah 0.2511, dengan UCL sebesar 0.6464 dan LCL sebesar 0. Seluruh titik juga berada dalam batas kendali ini, yang mengindikasikan bahwa variasi data dalam tiap kelompok relatif konsisten dan proses berjalan secara terkendali. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses pengukuran berada dalam kendali statistik dan layak digunakan untuk analisis kapabilitas proses menggunakan standar deviasi within. Selanjutnya, dilakukan pengendalian proses yang dalam hal ini artinya apabila proses telah berada dibawah pengendalian statistik maka perlu menentukan kapabilitas proses, yang ditentukan dengan menggunakan ukuran indeks kapabilitas proses (Capability process).

Dengan data yang diperoleh dari tabel 1 hasil jarak *wifi* pada modem esp32 diperoleh:

$$\text{Jumlah total data} = 3 \times 9 = 27$$

Menghitung mean (μ):

$$\mu = \frac{\text{jumlah total data}}{\text{jumlah data}} = \frac{23,5}{27} = 0,8707$$

Standar deviasi minitap = 0,148323 → diambil dari perhitungan dari semua data X1,X2,X3

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{2 - 0,5}{6 \times 0,148323} = \frac{1,5}{0,889938} = 1,69$$

$$C_{PL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} = \frac{0,8707 - 0,5}{3 \times 0,148323} = \frac{0,3707}{0,444969} = 0,83$$

$$C_{PU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} = \frac{2 - 0,8707}{3 \times 0,148323} = \frac{1,1293}{0,444969} = 2,54$$

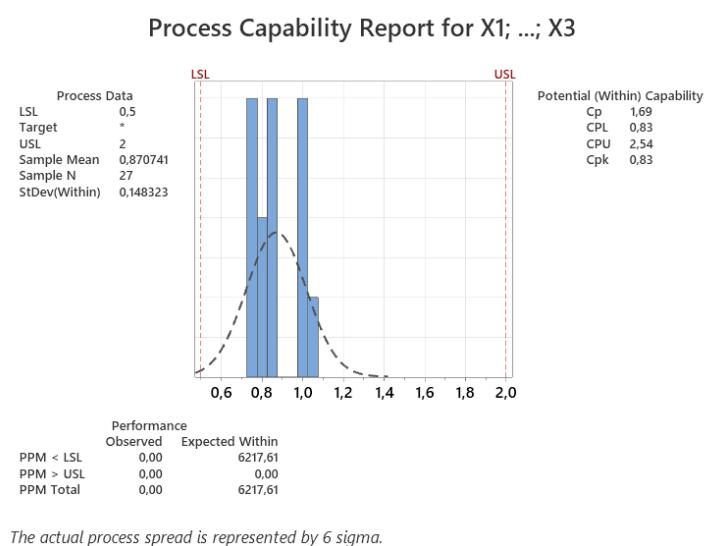
$$C_{pk} = \min(C_{PL}, C_{PU}) = \min(0,83, 2,54) = 0,83$$

Maka

$C_p = 1,69 \rightarrow$ proses mempunyai potensi baik

$C_{pk} = 0,83 \rightarrow$ proses kurang andal karena terlalu dekat dengan batas bawah (LSL)

Karena nilai $C_{pk} < 1$ berarti ada potensi bahwa kurang konsisten menghasilkan data yang benar-benar berada di tengah spesifikasi. C_{pk} yang diambil 0,83 karena hal itu menunjukkan batas yang paling rawan gagal. Kasus yang saya alami proses terlalu dekat dengan dengan batas bawah (LSL) yang artinya proses belum cukup andal, saya menyadari bahwa proses dari alat tersebut kurang andal dikarenakan jaringan *wifi* yang tidak sepenuhnya stabil karena modem *wifi* berada dalam di dalam ruangan genset yang sangat tertutup.



Gambar 6. Data uji normalitas jarak *wifi* terhadap waktu respon data

Gambar 7. menunjukkan laporan kemampuan proses (Process Capability Report) untuk variabel X1 hingga X3. Dalam grafik histogram yang ditampilkan, terlihat distribusi data proses dengan jumlah sampel sebanyak 27 data, dengan rata-rata (mean) sebesar 0,87 dan simpangan baku (standar deviasi) sebesar 0,148. Batas spesifikasi bawah (LSL) ditentukan sebesar 0,5, sedangkan batas spesifikasi atas (USL) sebesar 2,0. Data menunjukkan bahwa mayoritas hasil proses berada di sekitar nilai tengah, dan semuanya

masih berada di dalam batas spesifikasi yang ditetapkan, sehingga tidak ada produk yang berada di luar batas toleransi ($PPM < LSL$ dan $PPM > USL = 0,00$). Nilai Cp sebesar 1,689 menunjukkan potensi proses yang baik jika posisi rata-rata tepat di tengah spesifikasi yang dimana jika nilai CP lebih dari 1,33 maka kapabilitas proses sangat baik. Namun, nilai Cpk yang hanya 0,83 menunjukkan bahwa proses ini tidak sepenuhnya terpusat di tengah spesifikasi ada kecenderungan distribusi lebih dekat ke batas bawah (LSL), seperti yang juga terlihat dari nilai $CPU = 2,54$ dan $CPL = 0,83$. Artinya, meskipun proses masih dalam batas aman, namun masih ada ruang perbaikan agar distribusi lebih simetris dan stabil terhadap target. Kalimat di bagian bawah menyatakan bahwa grafik ini mewakili penyebaran proses berdasarkan enam sigma, yang merupakan indikator standar dalam pengendalian kualitas.

KESIMPULAN

1. Perancangan sistem monitoring berbasis IoT untuk genset 250 kVA dilakukan melalui tahapan identifikasi kebutuhan, pemilihan komponen utama, perancangan box dan susunan kabel, perakitan perangkat keras, pemrograman, hingga pengujian. Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor PZEM-004T untuk mengukur parameter kelistrikan, serta aplikasi Blynk sebagai antarmuka monitoring jarak jauh. Seluruh komponen disusun rapi dalam box pelindung dengan perancangan kabel yang aman, diprogram menggunakan Arduino IDE, dan terhubung ke jaringan Wi-Fi untuk mengirim data secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu bekerja dengan akurat dan stabil, sehingga rancangan ini berhasil menghasilkan sistem monitoring genset 250 kVA yang efektif, efisien, dan dapat diakses dari jarak jauh melalui smartphone.
2. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada tiga variasi jarak, yaitu 1 meter, 5 meter, dan 8 meter, diperoleh data bahwa waktu respon sistem meningkat seiring dengan bertambahnya jarak antara modem dan perangkat ESP32. Pada jarak 1 meter, waktu respon rata-rata adalah 0,76 detik; pada 5 meter meningkat menjadi 0,83 detik; dan pada 8 meter menjadi 1,01 detik. Artinya, selisihnya hanya persepuluhan detik sehingga tidak memengaruhi performa sistem secara signifikan. Hal ini membuktikan bahwa alat monitoring berbasis IoT yang dirancang tetap bekerja dengan baik dan stabil meskipun terdapat variasi jarak koneksi Wi-Fi. Dengan demikian, sistem dapat dikatakan berhasil karena mampu menampilkan data genset secara real-time dengan akurasi tinggi serta respon yang konsisten pada berbagai kondisi jarak.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah dipaparkan di atas, maka diharapkan penelitian ini dapat dilanjutkan dikemudian hari. Untuk itu penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Untuk menyempurnakan sistem, disarankan menambahkan fitur peringatan dini berbasis ambang batas parameter seperti tegangan, arus, dll. Notifikasi otomatis melalui SMS atau aplikasi saat terjadi kondisi abnormal (misalnya overcurrent atau overheating) akan meningkatkan respon teknisi secara real-time. Selain itu, penyimpanan data historis secara lokal atau cloud juga penting untuk analisis performa genset jangka panjang dan perencanaan pemeliharaan prediktif.
2. Sistem monitoring sebaiknya dilengkapi dengan protokol komunikasi yang lebih andal seperti MQTT atau HTTPS, agar koneksi data tetap stabil dan aman, terutama dalam jaringan publik. Selain itu, jarak antara modem dan ESP32 perlu dioptimalkan dengan penggunaan antena eksternal atau repeater *Wifi* jika dibutuhkan, untuk memastikan kecepatan respon tetap konsisten tanpa gangguan sinyal.

DAFTAR PUSAKA

- Ahmed, M., & Youssef, H. (2019). Smart Monitoring of Energy Systems Using IoT. *International Journal of IoT Applications*, 8(1), 11–19.
- E. Zaenal, H. Abrianto, and A. D. Sidik, “PEMBUATAN PROTOTYPE KONTROL DAN MONITOR GENSET MENGGUNAKAN ESP 8266 BERBASIS IOT,” *Jurnal Cahaya Mandalika*, vol. 5, 2022.
- F. A. Sirait and A. M. H. Pardede, “Perancangan Lampu Pintar Berbasis Internet Of Things (IoT) Menggunakan Nodemcu Dan Blynk,” vol. 1, no. 3, 2023.
- Fajri, M., Putri, D., & Rahmawan, T. (2019). Penerapan IoT dalam Sistem Pengawasan Jarak Jauh. *Jurnal Teknologi Informasi*, 6(3), 45–53.
- Fenty Pandansari, H. Prasetyo, and Y. T. Tularsih, “Analisa Pengembangan Sistem Pemantau Daya Listrik Berbasis IoT,” *jt*, vol. 19, no. 2, pp. 120–129, Dec. 2021, doi: 10.37031/jt.v19i2.185.
- H. romadhoni, G. Priyandoko, and D. U. Effendy, “RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING GENSET MELALUI NOTIFIKASI APLIKASI TELEGRAM,” *JASEE*, vol. 4, no. 2, pp. 33–34, 2023.
- I. A. Fadhillah, “DESAIN SISTEM MONITORING KWH METER DENGAN MEDIA
- I. Ruslianto, U. Ristian, H. Hasfani, and K. Sari, “Rekayasa Sistem Fotosintesis dan Ekosistem pada Media Aquascape Berbasis Internet Of Things,” *JEPIN*, vol. 9, no. 1, p. 136, Apr. 2023, doi: 10.26418/jp.v9i1.61746.
- Kumar, R., Singh, M., & Prakash, C. (2020). IoT-Based Energy Monitoring System for Industrial Applications. *International Journal of Advanced Research in Engineering*, 12(3), 45–50.
- Lee, D., & Kim, S. (2020). Real-Time Monitoring of Power Systems Using IoT
- M. Fatih Muhaman and E. Fuad, “KEAMANAN DAN IMPLEMENTASI IOT DALAM LINGKUNGAN INDUSTRI,” *jati*, vol. 8, no. 4, pp. 7848–7855, Aug. 2024, doi: 10.36040/jati.v8i4.10468.
- M. Muliadi, A. Imran, and M. Rasul, “PENGEMBANGAN TEMPAT SAMPAH PINTAR MENGGUNAKAN ESP32,” *Metrik*, vol. 17, no. 2, pp. 73–79, Nov. 2024, doi: 10.59562/metrik.v17i2.5398.
- M. N. Adiwiranto, C. B. Waluyo, and B. Sudibya, “PROTOTIPE SISTEM MONITORING KONSUMSI ENERGI LISTRIK SERTA ESTIMASI BIAYA PADA PERALATAN RUMAH TANGGA BERBASIS INTERNET OF THINGS,” vol. 06, no. 1, 2022.
- Maimury, Y., & Tannady, H. (2015). Analisis Kinerja Proses Latex Dipping Menggunakan Teknik Capability Process (Studi Kasus: PT Dharma Medipro). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 14(2), 105–112.
- Q. Hidayati, “PENERAPAN INTERNET OF THINGS (IOT) SEBAGAI SISTEM MONITORING PARAMETER OUTPUT GENSET 3 PHASE,” *Engineering and Science*, vol. 9, no. 1, 2023.
- S. Samsugi, R. D. Gunawan, A. Thyo, and A. T. Prastowo, “PENERAPAN PENJADWALAN PAKAN IKAN HIAS MOLLY MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ARDUINO UNO DAN SENSOR RTC DS323,” vol. 03, no. 02, 2022.
- Susanto, Y., & Hartono, E. (2021). Pemeliharaan Prediktif Berbasis IoT untuk Perangkat Energi. *Jurnal Teknik Industri*, 9(2), 67–75.
- X. Zhang, Z. Cao, and W. Dong, “Overview of Edge Computing in the Agricultural Internet of Things: Key Technologies, Applications, Challenges,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 141748–141761, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3013005.