

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN DAYA LISTRIK GENERATOR SINKRON TIGA FASA BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Gerdy Alfi Babys¹, Ali Mashar², Wahyu Budi Mursanto³

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail: gerdy.alfi.tpt17@polban.ac.id; ²E-mail: amashar69@gmail.com; ³E-mail: wahyumursanto@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan sistem *database* yang baik merupakan salah satu hal yang penting untuk diperhatikan untuk menunjang keperluan perawatan maupun pengembangan sistem pembangkit. Penelitian ini berisi mengenai rancang bangun sistem pemantauan daya listrik generator sinkron tiga fasa berbasis *internet of things* (IoT) menggunakan mikrokontroler Robotdyn Mega 2560 *Built-In WiFi* yang memanfaatkan jalur komunikasi internet sebagai komunikasi antara operator generator dengan generator itu sendiri. Komunikasi antara pengguna (*brainware*) dengan perangkat keras (*hardware*) difasilitasi melalui sebuah perangkat lunak (*software*) bernama *Blynk* yang memudahkan sistem pemantauan daya listrik generator. Terdapat tiga hal yang dirancang yaitu pengukuran parameter listrik generator, sistem indikator generator dan penyimpanan data. Parameter listrik yang akan diukur diantaranya adalah tegangan eksitasi dan pembangkitan, arus eksitasi dan pembangkitan, daya pembangkitan, faktor daya serta frekuensi dengan menggunakan sensor tegangan DC dan AC ZMPT101B dan sensor arus ACS712-5A. Selanjutnya, sistem indikator generator yang terpasang pada generator mengikuti Aturan Sistem Jaringan Tenaga Listrik mengenai standar kualitas listrik yaitu indikator arus beban lebih (*overload-current*), tegangan lebih dan kurang (*over-voltage and under-voltage*) dengan batas trip sebesar $\pm 5\%$ serta frekuensi lebih dan kurang (*over-frequency and under-frequency*) sebesar $\pm 0,2$ Hz dengan batas trip $\pm 5\%$. Berdasarkan hasil pengujian prototipe, mikrokontroler Robotdyn Mega 2560 *Built-In WiFi* mampu memproses data parameter listrik secara *real-time*. Prototipe ini mampu memberikan data pengukuran dan kondisi generator dalam bentuk tabel yang dapat diakses melalui *Blynk Server* yang dikirimkan melalui *e-mail* pengguna..

Kata Kunci: *Generator Sinkron, IoT, Mikrokontroler, Daya Listrik, Blynk.*

I. PENDAHULUAN

Suatu pembangkit yang layak membutuhkan suatu sistem pemantauan daya listrik yang baik untuk mengidentifikasi performa dari generator listrik baik dalam kondisi berbeban dan tidak berbeban.

Perkembangan yang pesat dari teknologi komunikasi membuat internet menjadi hal yang sangat dibutuhkan di era modern ini. Hal ini menjadi salah satu keuntungan dimana pengiriman informasi menjadi lebih cepat, sehingga internet dapat dimanfaatkan pada sistem pembangkit sebagai sarana berkomunikasi antara manusia dan sistem pembangkit untuk kinerja pembangkitan daya listrik yang lebih fleksibel. Namun, sistem *internet of things* yang diterapkan pada sistem pembangkit masih sulit untuk ditemukan.

Permasalahan yang diangkat dari penelitian ini adalah yaitu kebutuhan sistem pemantauan daya listrik beserta *data logger* untuk keperluan *maintenance* dan *monitoring system* untuk pembangkitan daya listrik di daerah pedesaan yang diproduksi oleh generator sinkron tiga fasa.

Tujuan dari penelitian ini adalah membangun sebuah prototipe dari sistem pemantauan daya listrik generator sinkron beserta *data logger* berbasis *internet of things* dengan menggunakan mikrokontroler sebagai perangkat proses, dan Android sebagai *interface* yang dapat diakses melalui *smartphone* melalui platform *Blynk* sesuai standar keberhasilan sistem *internet of things*.

Adapun batasan masalah utama pada penelitian ini yaitu parameter yang akan dipantau yaitu tegangan

pembangkitan, arus beban, daya, frekuensi dan kondisi terkini generator sinkron tiga fasa dengan terminal keluaran yang terkoneksi bintang (Y).

II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Generator Sinkron Tiga Fasa

Generator listrik adalah suatu mesin yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan bantuan rangkaian magnetis. Generator sinkron tiga fasa adalah salah satu jenis generator listrik AC yang menghasilkan listrik tiga fasa dimana besarnya frekuensi akan selaras (*synchronous*) dengan besarnya putaran pada penggerak mula (*prime mover*). Generator sinkron tiga fasa terdiri dari dua bagian yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian generator yang diam (statis) dimana bagian ini terdiri atas tiga belitan yang berfungsi sebagai tempat tegangan dibangkitkan, sedangkan rotor adalah bagian generator yang berputar dimana bagian ini terdiri atas pasang kutub magnet yang berfungsi untuk membangkitkan medan magnet.

Prinsip kerja dari generator sinkron mengikuti hukum Faraday sebagai fundamental untuk mampu menghasilkan daya listrik dimana jika suatu batang konduktor dipotong oleh medan magnet setiap waktu maka pada batang konduktor akan timbul gaya gerak listrik induksi (GGL induksi). Cara kerja pembangkitan daya listrik dari generator sinkron adalah penggerak mula yang terpasang pada poros generator ini akan memutar rotor yang berisi kutub-kutub magnet. Tegangan pembangkitan pada sisi stator hanya akan terjadi bila rotor

berputar dan belitan eksitasi dipasok oleh arus eksitasi menggunakan berbagai jenis sistem eksaiter generator.

II.2 Sistem Indikator Generator

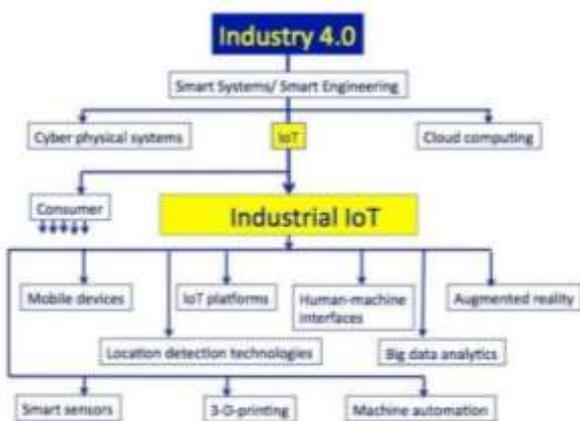
Demi menunjang sistem pembangkitan daya listrik generator sinkron, terdapat beberapa indikator yang umum ditemukan pada sebuah sistem pembangkit listrik dengan mengacu pada Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Indonesia, 2016) diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Arus beban lebih (*overload current*)
Indikator generator terhadap arus pembangkitan yang melebihi dari arus pembangkitan nominal generator. Besarnya indikator arus ini bergantung terhadap spesifikasi generator.
2. Tegangan lebih dan kurang (*over-under voltage*)
Indikator generator terhadap tegangan pembangkitan yang lebih atau kurang dari tegangan pembangkitan nominalnya. Besarnya Indikator tegangan ini memiliki batas ±5% dari tegangan pembangkitan nominal.
3. Frekuensi lebih dan kurang (*over-under frequency*)
Indikator generator terhadap frekuensi pembangkitan yang lebih atau kurang dari frekuensi pembangkitan nominalnya. Besarnya indikator frekuensi ini memiliki batas sebesar ±0,2 Hz dari frekuensi pembangkitan nominal dengan batas trip sebesar ±5%..

II.3 Internet of Things

Internet of things (IoT) adalah sebuah paradigma teknologi baru yang dipandang sebagai jaringan global dari perangkat dan mesin yang mampu berinteraksi satu sama lain. Prinsip kerja dari IoT adalah perangkat IoT akan menggunakan alamat IPv6 sebagai ruang penyimpanan alamat secara masif sehingga membuat perangkat tersebut bekerja dengan pemantauan aktif dari komputer yang tersambung dengan jaringan internet dan sensor akan mengendalikan kinerja perangkat.

Dalam dunia industri, IoT sering dikaitkan dengan relevansi dari promosi Industri 4.0. Industri 4.0 sendiri merupakan konsep evolusi industri yang didasarkan pada proses produksi dalam lingkup industri pintar (*smart factory*) dengan hirarkinya yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hirarki *Internet of Things* Industri 4.0

IoT memiliki beberapa unsur pembentuk yang membuatnya menjadi sebuah sistem terintegrasi, diantaranya adalah:

1. Perangkat keras (*hardware*), terdiri atas objek fisik yang memiliki kemampuan untuk mengambil data dan merespon instruksi.
2. Perangkat lunak (*software*), memungkinkan koleksi data, penyimpanan data, proses, manipulasi dan instruksi.
3. Infrastruktur komunikasi (*communication infrastructure*), yang terdiri atas protokol dan teknologi yang memungkinkan objek fisik bertukar data.

Parameter keberhasilan agar sebuah sistem IoT dapat disebut sebagai smart system ditentukan oleh objek, sensor, aktuaktor, protokol komunikasi, lokasi dan memori.

III. METODE PENELITIAN

III.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 2 menunjukkan diagram alir dari metode penelitian yang dilaksanakan sebagai upaya realisasi rancang bangun sistem.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

III.2 Target Spesifikasi

Target spesifikasi dari prototipe sistem yang akan dibangun harus mampu memenuhi spesifikasi dari generator yang dipantau sesuai parameter dan utilitas IoT. Target spesifikasi untuk sistem pengukuran parameter listrik ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Target Spesifikasi Sistem Pengukuran Prototipe

Sistem Pengukuran Prototipe			
Label	Masukan Sensor	Range	Satuan
DCV	Tegangan Eksitasi	0,0 – 250,0	V
DCA	Arus Eksitasi	0,00 – 5,00	A
ACV	Tegangan Fasa R	0,0 – 250,0	V
	Tegangan Fasa S	0,0 – 250,0	V
	Tegangan Fasa T	0,0 – 250,0	V
ACA	Arus Fasa R	0,00 – 5,00	A
	Arus Fasa S	0,00 – 5,00	A
	Arus Fasa T	0,00 – 5,00	A
Hz	Frekuensi	47 – 53	Hz
PWR	Daya Semu	0,000 – 5,000	kVA
	Daya Aktif	0,000 – 5,000	kW
	Daya Reaktif	0,000 – 5,000	kVAR
	Faktor Daya	0 – 1	



Gambar 3. Sensor dan MCU

Sedangkan target spesifikasi untuk sistem indikator dan internet of things ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Target Spesifikasi Sistem Indikator dan IoT

Indikator Generator dan IoT	
Koneksi Generator	Bintang (Y)
Indikator Generator	Fitur: <ul style="list-style-type: none"> • Stand-By • Running-Normal • Overload-current (+10%) • Over-voltage & Under-voltage (±5%) • Over-frequency & Under-frequency (±0,2Hz) • LED dan Notifikasi Smartphone
Aktuator	Kontaktor <ul style="list-style-type: none"> • Fitur: • Overload-current trip (+10%) • Over-voltage & Under-voltage trip (±5%) • Over-frequency & Under-frequency trip (±5%)
Server IP Cloud	Blynk Server (Blynk-cloud.com)
Koneksi	WiFi
Data Logger	File .csv (Didukung MS Excel)
Penyimpanan Data	Micro SD G-Drive
Koneksi Min.	10 Mbps

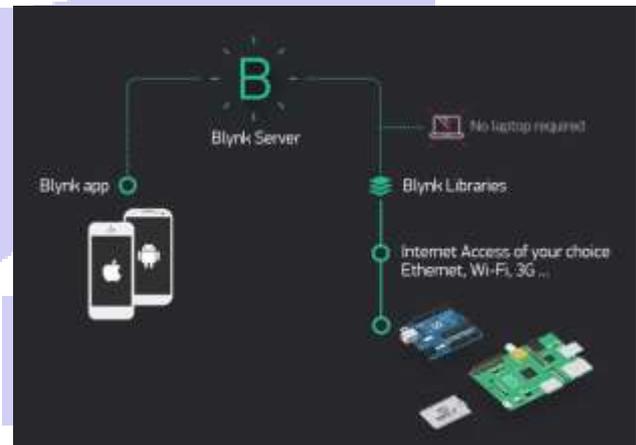
III.3 Pemilihan Sensor dan Mikrokontroler

Penentuan sensor dinilai dari kemampuan ukur terhadap besaran yang diukur dimana sensor yang digunakan ada tiga buah yaitu sensor tegangan DC, sensor tegangan AC ZMPT101B dan sensor arus AC/DC ACS712-5A. Sedangkan penentuan unit mikrokontroler (MCU) dinilai dari jumlah parameter yang diukur, kapasitas memori dan pin serta kemampuan MCU dalam menjalin koneksi internet. Gambar 3 menunjukkan sensor dan MCU yang digunakan pada perancangan sistem.

Jumlah parameter listrik yang akan diukur oleh MCU sebanyak delapan buah dengan total jumlah pin yang digunakan sebanyak 28 pin sehingga Robotdyn Mega 2560 Built-In WiFi ESP8266 dipilih sebagai unit proses kerja untuk rancangan sistem dimana MCU ini memiliki 54 pin dengan kapasitas memori yang besar untuk menampung program yang menggunakan memori cukup besar dan sekaligus mampu mengoneksikan dirinya menuju jaringan internet melalui chip ESP8266.

III.4 Penentuan Sistem Internet of Things

Penentuan sistem IoT didasarkan pada fleksibilitas akses internet. Sistem IoT yang dibangun menggunakan platform Blynk sebagai jembatan komunikasi generator sinkron yang melalui MCU terhadap pengguna yang memantau parameter listrik dan kondisi generator melalui smartphone dimana proses komunikasinya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Konektivitas Blynk

Data logger yang diproses oleh Blynk akan disimpan oleh sistem Blynk Cloud yang juga bersifat open-source sehingga memudahkan pengguna untuk mengendalikan banyak perangkat dalam proses transfer data dari mikrokontroler menuju smartphone ataupun sebaliknya. Mikrokontroler harus ditanam Blynk Libraries dan smartphone terpasang Blynk App untuk berkomunikasi melalui Blynk Server.

III.5 Perancangan Prototipe

Perancangan prototipe merupakan integrasi dari keseluruhan target spesifikasi, sensor, MCU dan sistem IoT yang dilakukan dengan perancangan kode program dan kalibrasi, konektivitas internet dan sistem *data logger*. Hasil rancang bangun prototipe sistem yang telah terealisasi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Prototipe Sistem

Gambaran dari sistem yang telah dibangun diilustrasikan seperti pada Gambar 6 yang memuat jalur komunikasi dari generator hingga *smartphone*.



Gambar 6. Pemetaan Sistem Rancang Bangun

Secara singkat, terminal keluaran generator sinkron tiga fasa akan masuk ke kontaktor dan keluaran kontaktor akan langsung terhubung menuju beban generator. Pada keluaran generator pula akan terpasang kabel-kabel penghubung yang berfungsi menghubungkan sensor tegangan dan arus dari panel prototipe. Mikrokontroler akan mengolah seluruh sinyal masukan yang terhubung pada pin-pin analognya dan mengirimkan hasilnya melalui jaringan internet dengan bantuan *WiFi Router* agar dapat terhubung dengan *Blynk Server*. Kemudian, *Blynk Server* akan mengirimkan data yang telah diolah oleh mikrokontroler menuju *smartphone* yang juga mesti terhubung pada jaringan internet. *Smartphone* akan menampilkan hasil pengukuran dan indikator dari generator sinkron tiga fasa secara *real-time*.

Selanjutnya, spesifikasi prototipe diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium. Tabel 3 menunjukkan sistem pengukuran yang memuat kemampuan ukur maksimum dari masing-masing parameter beserta sensitivitas dan resolusi pengukuran.

Tabel 3. Sistem Pengukuran Prototipe

Sistem Pengukuran Prototipe					
Label	Masukan Sensor	Range	Unit	Sensitivitas	Resolusi
DCV	Tegangan Eksitasi	0,0 – 250,0	V	0,2 V	0,1 V
DCA	Arus Eksitasi	0,00 – 5,00	A	0,03 A	0,01 A
ACV	Tegangan Fasa R	0,0 – 250,0	V	0,5 V	0,1 V
	Tegangan Fasa S	0,0 – 250,0	V	0,5 V	0,1 V
	Tegangan Fasa T	0,0 – 250,0	V	0,5 V	0,1 V
ACA	Arus Fasa R	0,00 – 5,00	A	0,03 A	0,01 A
	Arus Fasa S	0,00 – 5,00	A	0,03 A	0,01 A
	Arus Fasa T	0,00 – 5,00	A	0,03 A	0,01 A
Hz	Frekuensi	47,0 – 53,0	Hz	0,1Hz	0,1 Hz
PWR	Daya Semu	0,00 – 5000,00	VA	-	0,01 VA
	Daya Aktif	0,00 – 5000,00	W	-	0,01 W
	Daya Reaktif	0,00 – 5000,00	VAR	-	0,01 VAR
	Faktor Daya	0 – 1		-	0,01
Sampling rate			100 kali/s		

Kesalahan pengukuran (*error*) parameter listrik dari hasil pengujian dengan membandingkan hasil pengukuran prototipe dengan alat ukur listrik sebenarnya sebagai rujukan pengukuran listrik ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Error Rata-rata Pengukuran Prototipe

Parameter	Error rata-rata [%]
Tegangan Eksitasi	1,24
Arus Eksitasi	1,92
Tegangan Fasa R	0,38
Tegangan Fasa S	0,41
Tegangan Fasa T	0,26
Arus Fasa R	1,1
Arus Fasa S	0,7
Arus Fasa T	1,05
Frekuensi	0,02
Daya Semu	0,7
Daya Aktif	1,78
Daya Reaktif	2,27
Faktor Daya	0,69

Sedangkan spesifikasi dari indikator generator, MCU-IoT, daya masukan dan pin panel ditunjukkan pada Tabel 5 yang memuat termasuk fitur-fitur kerja dari prototipe. Indikator yang terpasang pun berfungsi dengan baik untuk setiap kondisi generator dan terpantau dengan lancar secara *real-time* melalui *smartphone*. Selain itu, prototipe juga mampu melakukan fungsi *data logger* dimana data pengukuran yang ditransmisikan oleh mikrokontroler melalui *Blynk Server* mampu diterima oleh pengguna dan dipetakan dengan software MS Excel.

Tabel 5. Fitur Prototipe

Sistem Indikator Generator	
Koneksi Generator	Bintang (Y)
Indikator Generator	Fitur: <ul style="list-style-type: none"> • Stand-By • Running-Normal • Overload-current (+10%) • Over-voltage & Under-voltage ($\pm 5\%$) • Over-frequency & Under-frequency ($\pm 0,2\text{Hz}$) • LED dan Notifikasi <i>Smartphone</i>
Aktuator	Kontakor Schneider LC1D12 Fitur: <ul style="list-style-type: none"> • Overload-current trip (+10%) • Over-voltage & Under-voltage trip ($\pm 5\%$) • Over-frequency & Under-frequency trip ($\pm 5\%$)
MCU & Sistem Internet of things	
MCU	Robotdyn Mega 2560 Built-In WiFi ESP8266
Server IP dan Cloud	Blynk Regular Server (Blynk-cloud.com)
Koneksi	WiFi
Data logger	File .csv (MS Excel supported)
Penyimpan Data	<ul style="list-style-type: none"> • Smartphone Micro SD • G-Drive
Kecepatan Internet Min.	10 Mbps ($\pm 10\text{s refresh rate}$)
Daya Masukan dan Pin Panel	
Pasokan Daya	<ul style="list-style-type: none"> • Direct USB • Baterai 7-12V • 110/220VAC ($\pm 15\%$), 50 Hz/60Hz
Konsumsi Daya	220VAC, 5mA (1,1 W)
Pin Panel	2 Pin Tegangan Eksitasi Generator, VX(\pm) 2 Pin Pasokan Tegangan 12V DC(\pm), Max. 10A 4 Pin Masukan Tegangan Generator, VR-VS-VT-N 4 Pin Keluaran Arus Generator, AR-AS-AT-AX 3 Pin Relay 5V, NO-NC-COM 2 Pin Pasokan Daya Prototipe, L-N

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Sistem Pengukuran Prototipe

Secara garis besar, *error* pengukuran yang diperoleh kurang dari 2,5% dimana *error* daya reaktif menempati posisi tertinggi sebesar 2,27% pada sistem pengukuran prototipe ini. Hal ini terjadi oleh sebab tegangan generator tidak selamanya konstan ketika pengambilan data sampel dimana 100 buah data yang masuk mikrokontroler merupakan nilai rata-rata dari jumlah data sampel. Tegangan generator yang fluktuatif relatif kecil ini disebabkan oleh beberapa faktor dimana salah satu faktor yang paling berpengaruh adalah fluktuasi

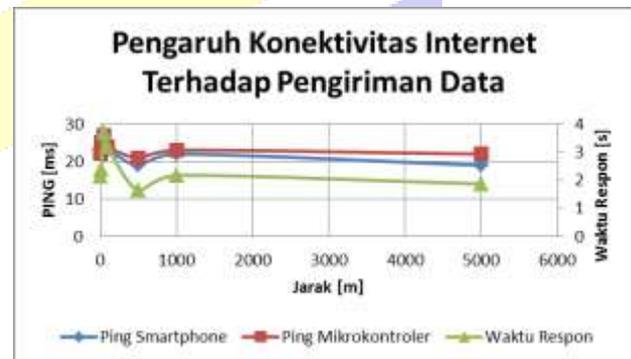
dari sumber eksitasi yang terkait langsung dengan besarnya tegangan pembangkitan generator..

IV.2 Sistem Indikator Generator

Sistem indikator generator sinkron tiga fasa yang terpasang pada prototipe yang dibangun semua berfungsi dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan seluruh LED indikator yang terpasang pada prototipe maupun LED virtual pada aplikasi *Blynk smartphone* yang merespon sesuai dengan kondisi generator. Pada kondisi trip juga mengindikasikan bahwa aktuaktor berfungsi dengan baik secara instan untuk mematikan pasokan daya menuju beban.

IV.3 Konektivitas Internet

Berdasarkan performa mikrokontroler dan *smartphone* pada kondisi *steady*, pengiriman data berlangsung cukup baik selama *Packet Internet Gopher* (PING) bernilai kecil. PING secara sederhana dapat didefinisikan waktu jeda proses transfer data internet.

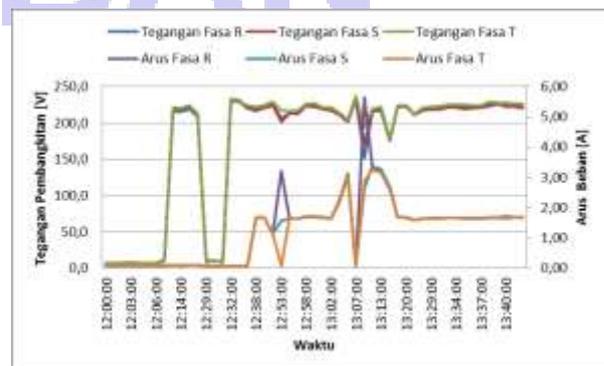


Gambar 7. Pengaruh Konektivitas Internet Terhadap Respon Pengiriman Data

Berdasarkan grafik pada Gambar 7, jarak antara mikrokontroler dan *smartphone* tidak mempengaruhi proses pengiriman data, tetapi konektivitas internet di tempat yang berbeda menyebabkan perbedaan PING yang cukup signifikan dalam proses pengiriman data. Hal ini ditandai dengan semakin besar nilai PING maka semakin besar pula waktu respon yang dibutuhkan agar aplikasi *Blynk* pada *smartphone* mampu menampilkan hasil pengukuran.

IV.4 Sistem Data Logger

Gambar 8 menampilkan grafik hasil pengukuran yang diperoleh dari *Blynk Server* melalui MS Excel.



Gambar 8. Pemetaan Data Pengukuran Hasil Data Logger

Setelah *report* selesai diakses maka data akan dikirimkan melalui *e-mail* pengguna dalam bentuk tabel dengan file berekstensi (.csv) yang dapat dibuka di Microsoft Excel. Selain itu, data yang diterima oleh *smartphone* dapat dipantau secara *real-time* melalui layarnya selama koneksi internet memasok baik panel maupun *smartphone* dimana pun dan kapan pun. Sebagai contoh,

IV.5 Kelayakan Prototipe

Prototipe yang dibangun telah memenuhi hampir seluruh target spesifikasi. Namun, pengukuran keseluruhan parameter listrik generator sinkron tiga fasa dapat diproses dengan *error* pengukuran kurang dari 2,5%. Prototipe dapat dikatakan layak untuk diaplikasikan pada generator sinkron tiga fasa sesuai standar IEC No. 13B-23 dengan kelas alat ukur yang diperoleh yaitu golongan IV. Prototipe ini juga telah memenuhi standar keberhasilan sebuah sistem IoT seperti yang ditunjukkan Tabel 6 dan dapat dikatakan layak untuk menyanggah status sistem pintar (*smart system*) untuk diaplikasikan pada dunia industri.

Tabel 6. Standar Keberhasilan *Internet of Things*

Parameter	Unit Prototipe	Status
Identifikasi objek	Generator Sinkron Tiga Fasa	Terpenuhi
Sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor VDC • ZMPT101B • ACS712-5A 	Terpenuhi
Aktuator	<ul style="list-style-type: none"> • Relay • Kontaktor 	Terpenuhi
Protokol komunikasi	TCP/IP via <i>Blynk Server</i>	Terpenuhi
Identifikasi lokasi	<i>Smartphone</i> (dimana saja*)	Terpenuhi
Memori	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Blynk Cloud</i> • SD Card 	Terpenuhi

V. KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Sistem pemantauan daya listrik generator tiga fasa berbasis *internet of things* yang dibangun berfungsi untuk memantau daya listrik dan kondisi generator sinkron tiga fasa secara *real-time* dengan memanfaatkan konektivitas internet sebagai jalur komunikasi antara operator dan generator sinkron tiga fasa.

Berdasarkan hasil pengolahan data, prototipe sistem ini layak berdasarkan standar keberhasilan *internet of things* dan mampu mengukur beberapa parameter listrik generator yang diolah oleh mikrokontroler Robotdyn Mega 2560 *Built-In WiFi* serta ditransmisikan menuju *Blynk Server* hingga menuju *smartphone* sehingga data pengukuran dapat ditampilkan pada layarnya yang mampu diakses dimana saja. Data pengukuran dari panel yang ditransmisikan menuju *Blynk Server* juga dapat

disimpan dalam bentuk tabel yang dikirimkan *server* melalui *e-mail* pengguna.

V.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat dilakukan adalah pemilihan mikrokontroler dengan resolusi ADC yang tinggi agar pembacaan parameter listrik akurat dan penggunaan antena TCP/IP agar koneksi panel prototipe lebih stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aji, K., & Ary, D. (2020). Rancang Bangun kWhmeter Digital Berbasis IoT. Surakarta: Universitas Muhammadiyah..
- [2] Bagini, A. (2008). *Handbook of Power Quality*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] Erasmus+. (2019). *Internet of Things For European Small and Medium Enterprises*. EU: EFFEBI.
- [4] Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. J. (2012). *Power System Analysis and Design*. Stamford: Cengage Learning.
- [5] Hanafi, M., Irmansyah, F., & Suryadi, D. (2019). Analisis Simulasi Pengaruh Uji Kuat Sinyal WiFi dari Bahan-Bahan *Obstacle*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
- [6] Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2016 Tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Kalimantan. Jakarta: Sekretariat Negara.
- [7] Kaur, N., & Monga, S. (2014). *Comparisons of Wired and Wireless Network: A Review*. International Journal of Advanced Engineering Technology, 34-35.
- [8] McRoberts, M. (2013). *Beginning Arduino, Second Edition*. New York: Apress.
- [9] Mitescu, M., & Susnea, I. (2005). *Microcontroller in Practice*. Leipzig: Springer.
- [10] Setiyadi, B. (2019). Penerapan Monitoring Aplikasi Biaya dan Konsumsi Listrik. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- [11] Somari, F. H. (2017). Sistem *Data Logger* Peralatan Elektronik Berbasis Android. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- [12] Tripathy, B., & Anuradha, J. (2018). *Internet of Things (IoT): Technologies, Applications, Challenges and Solutions*. Boca Raton: CRC Press.