

Rancang Bangun Dan Monitoring Sistem Power Supply Dan Sistem Keamanan Pada Weather Station

1st Leonardo Simatupang
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

leonardosmtpg@student.telkomuni-
versity.ac.id

2nd Angga Rusdinar
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

anggarusdinar@telkomuniversity.a-
c.id

3rd Denny Darlis
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

dennydarlis@telkomuniversity.ac.i-
d

Abstrak— Di dalam dunia pertanian cuaca adalah parameter yang sangat berpengaruh dalam menentukan kualitas hasil panen. Maka, data mengenai prediksi cuaca dan penyakit yang akan datang pada tumbuhan akanlah sangat berpengaruh. Oleh karena itu dalam memudahkan prediksi cuaca dan penyakit tersebut maka digunakanlah teknologi sistem *Monitoring Weather station*.

Perancangan *Weather Station* ini dilengkapi sistem *power supply* agar dapat dipasang pada area yang tidak dijangkau oleh sumber listrik. Oleh karena itu, dirancang sebuah sistem keamanan dan pengiriman data sensor yang dapat memantau *Weather Station*. Sistem keamanan dirancang agar memberi peringatan jika terjadi pencurian pada komponen yang ada pada sistem *Weather Station*.

Pada perancangan sistem *monitoring power supply* dan sistem keamanan berhasil mengimplementasikan pengukuran sensor tegangan pada panel surya dengan nilai persentase *error* rata-rata 0,53%, pengukuran sensor INA 219 untuk pengukuran tegangan beban dengan nilai persentase *error* rata-rata sebesar 0,64% dan untuk pengukuran arus beban memiliki nilai persentase *error* rata-rata sebesar 0,86% dan sistem mampu melakukan pengiriman data pada *platform* Thingspeak menggunakan modul komunikasi GSM SIM900A. Pada sistem keamanan, sensor magnetic reed diimplementasikan pada panel surya dan kotak *Weather Station* akan bekerja jika ada pergerakan jarak antarmagnet pada sensor sebesar 1cm dan akan mengirimkan notifikasi SMS keamanan kepada pengguna menggunakan modul GSM SIM900A.

Kata kunci— *weather station, power supply, sistem keamanan, gsm sim900a, Thingspeak*

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia pertanian, cuaca adalah salah satu faktor penting dalam menentukan tumbuhan yang akan ditanam hingga penentuan dalam kualitas hasil panen. Masalah yang sering dihadapi adalah jarak yang jauh antara lahan pertanian dengan pemiliknya serta adanya faktor dari kesalahan manusia. Dalam menghadapi permasalahan dalam pemantauan perkiraan cuaca dirancang sebuah sistem yang dikenal dengan *Weather Station* atau stasiun cuaca. Sistem ini berfungsi sebagai alat perekam cuaca yang nantinya akan diubah menjadi sebuah data. Sistem operasi stasiun cuaca yang dirancang untuk mendeteksi perubahan sensor untuk material perkiraan cuaca dan data yang direkam akan dikirim ke pusat stasiun melalui sistem jaringan komunikasi data. Kemudian peralatan stasiun cuaca

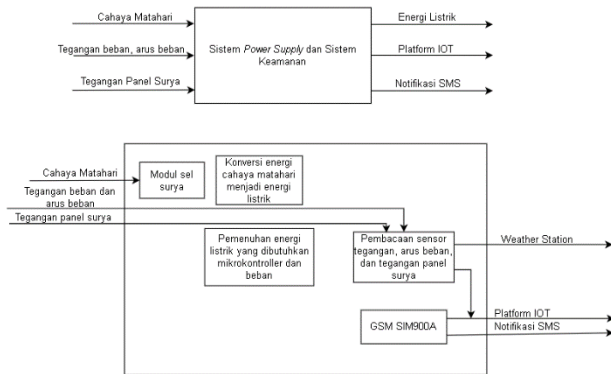
mendapatkan sumbernya dengan tenaga surya, energi tersebut akan disimpan dalam baterai. Dalam perancangannya, sistem ini memanfaatkan salah satu bentuk energi terbarukan yaitu energi terbarukan matahari dengan menggunakan sel surya. energi terbarukan ini tergantung pada kondisi cuaca. Oleh karena itu, jika terjadi cuaca buruk, sistem itu tidak dapat dioperasikan dan tidak menyimpan listrik terbarukan. Membutuhkan adanya baterai sebagai tempat penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh energi matahari [1].

Sebelumnya sudah ada dilakukan penelitian tentang *Weather Station* dengan menggunakan panel surya sebagai *power supply*, tetapi pada penelitian tersebut belum ada penambahan sistem keamanan pada *Weather Station*. Dengan adanya penambahan sistem keamanan pada *Weather Station* akan mencegah terjadinya pencurian atau gangguan pada modul sel surya dan juga pintu kotak sensor yang ada pada sistem *Weather Station*. Sistem keamanan ini akan menggunakan sensor magnetic reed. Jika ada terjadi gangguan atau pencurian pada sistem *Weather Station* maka akan dikirimkan sebuah pesan singkat berupa SMS kepada pengelola. Untuk penelitian tentang sistem keamanan, pada penelitian sebelumnya telah dibuat sistem home automation berbasis GSM dengan mengirimkan data melalui SMS. Ini hanya dapat digunakan kepada nomor yang terdaftar saja. GSM digunakan dalam penelitian ini karena infrastruktur keamanan GSM yang cukup tinggi dan dapat memberikan keandalan yang maksimal, sehingga tidak memungkinkan pihak luar untuk memantau informasi yang dikirim atau diterima [2]. Notifikasi peringatan tentang keamanan stasiun cuaca dikirimkan ke nomor telepon yang terdaftar di sistem dalam bentuk SMS (Short Message Service) dengan menggunakan arsitektur GSM.

II. KAJIAN TEORI

Menyajikan dan menjelaskan teori-teori yang berkaitan dengan variabel-variabel penelitian. Poin subjudul ditulis dalam abjad.

2.1 Desain Konsep Solusi



Gambar 2. 1 Desain Konsep Solusi

Pada Gambar 2.1 menjelaskan tentang desain konsep solusi, langkah pertama yang dilakukan adalah pemenuhan kebutuhan energi listrik pada setiap komponen yang ada pada kotak *Weather Station* yang diperoleh dari pemrosesan cahaya matahari yang ditangkap oleh panel surya dan akan dikonversi menjadi energi listrik dan akan disimpan pada baterai. Selanjutnya akan dilakukan pengambilan data dari pengukuran sensor tegangan terhadap pembacaan tegangan keluaran dari panel surya, dan sensor INA219 untuk pengukuran tegangan dan arus yang dibutuhkan oleh beban, lalu dari data tersebut akan dilakukan pengiriman data pada *platform IOT* bernama Thingspeak dengan menggunakan modul komunikasi GSM SIM900A. Pada sistem keamanan, notifikasi SMS akan dikirimkan kepada pengguna jika sensor magnetic reed yang ada pada pintu kotak *Weather Station* dan panel surya mendeteksi perubahan jarak yang ada pada sensor magnetic reed.

2.2 Power Supply

Power Supply adalah suatu alat atau perangkat yang dapat menyimpan dan/atau memberikan suplai daya yang dibutuhkan oleh sebuah sistem agar sistem dapat berjalan[9]. Sistem *Power Supply* dapat menggunakan baterai yang dapat diisi ulang. Baterai dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik[3].

2.3 Weather Station

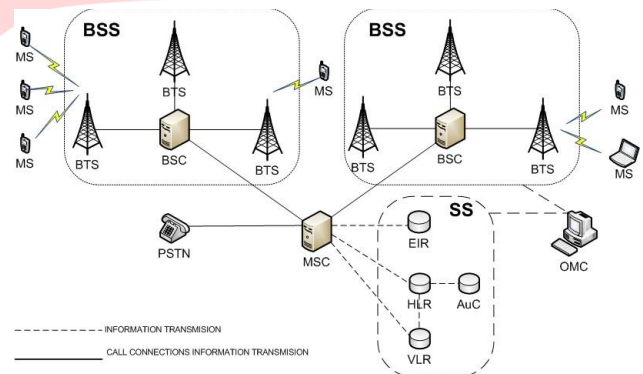
Weather station adalah seperangkat alat atau instrumen yang digunakan untuk mengamati dan merekam data cuaca, iklim, dan kondisi atmosfer pada suatu daerah [13]. Hasil pengukuran secara real-time dan akurat, dan setelah data direkam akan disimpan pada datalogger agar dapat diamati oleh pengguna. *Weather* Untuk saat ini *Weather Station* sudah beralih menjadi *Automatic Weather station* dengan pengumpulan data secara otomatis dan dengan pengamatan yang lebih mudah [4].

Pada penelitian ini, akan dirancang sebuah sistem *Weather Station* yang mempunyai sistem *power supply* yang akan memenuhi kebutuhan energi listrik agar dapat bekerja sesuai dengan harapan. Sistem *power supply* ini akan mendapatkan energi listrik yang akan didapatkan dari panel surya sebagai komponen yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang sudah diolah dari panel surya disimpan kedalam baterai dan akan

meneruskan energi listrik ke semua komponen yang ada pada sistem *weather station* agar dapat memantau cuaca secara *real time*[5]. Hal lain yang butuh diperhatikan dari *Weather Station* adalah tempat peletakan sistem ini. *Weather Station* harus ditempatkan pada tempat yang terbuka, tidak terhalang oleh *obstacle* karena dapat mempengaruhi sensor yang ada pada *Weather Station*. Selain itu, *Weather Station* diletakkan pada tempat yang terbuka agar dapat memaksimalkan cahaya matahari yang akan diserap oleh panel surya.

2.4 GSM

Komunikasi GSM (Global System for Mobile) adalah standar internasional untuk komunikasi seluler digital dalam rentang frekuensi 890-960 MHz yang banyak digunakan saat ini. Konsep layanan seluler itu sendiri adalah penggunaan pemancar berdaya rendah dengan rentang frekuensi yang dapat digunakan kembali dalam cakupan geografis tertentu. Arsitektur jaringan GSM terdiri dari beberapa subsistem seperti Mobile Station (MS), Base Station Subsystem (BSS), Network System (NSS) dan Operation and Support Subsystem (OSS)[6].



Gambar 2. 2 Arsitektur GSM

2.5 Internet Of Things (IOT)

Internet of Things adalah sebuah penemuan yang mampu menyelesaikan permasalahan yang ada melalui penggabungan teknologi dan dampak sosial. Jika ditinjau dari standarisasi secara teknik, IoT dapat digambarkan sebagai infrastruktur global untuk memenuhi kebutuhan informasi masyarakat, memungkinkan layanan canggih dengan interkoneksi baik secara fisik dan virtual berdasarkan pada yang telah ada dan perkembangan informasi serta teknologikomunikasi[7].

Konsep dasar IoT itu sendiri dapat menghubungkan perangkat apa pun satu sama lain. IoT juga dikenal sebagai paradigma baru yang memungkinkan komunikasi antar perangkat-perangkat elektronik dan sensor memfasilitasi kehidupan melalui Internet. Secara global, terdapat banyak ide-ide inovatif serta masalah dan tantangan di berbagai bidang yang terkait dengan IoT, seperti bisnis, industri pemerintah, sektor publik dan swasta[8].

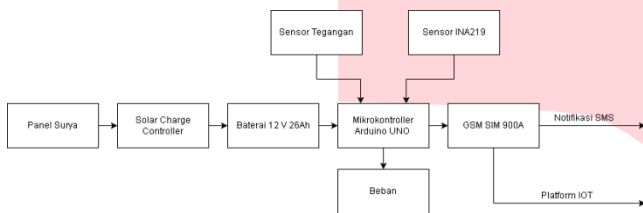
Platform IoT yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah Thingspeak, sebuah platform IoT open API berbasis web. Fitur Thingspeak menyimpan data dari berbagai aplikasi IoT dan menyatukan output data untuk tampilan grafis. Bantuan koneksi internet diperlukan untuk berkomunikasi melalui Thingspeak yang berfungsi sebagai

paket data. Thingspeak, yang dapat menyimpan, menganalisis, mengamati, dan memproses data dari sensor yang terhubung dengan mikrokontroler [7].

III. METODE

3.1 Desain Sistem

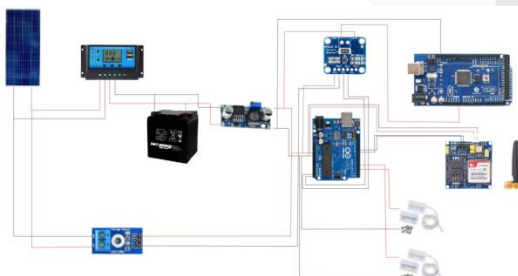
Sistem ini dirancang agar dapat menghasilkan energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari. Panel surya nantinya akan bekerja untuk mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik yang akan diperlukan oleh sistem *Weather Station* akan diletakkan di bawah tower yang ada di sekitar area Gedung P yang ada di Universitas Telkom. Sistem *Weather Station* ini nantinya akan digunakan untuk memantau cuaca disekitar daerah peletakan sistem.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 3.1 menjelaskan tentang blok diagram sistem dengan input berupa cahaya matahari yang akan ditangkap oleh panel surya yang terhubung dengan Solar Charge Controller yang berfungsi untuk mengontrol pengisian pada baterai. Selanjutnya, energi listrik yang sudah disimpan pada baterai akan dialirkan ke mikrokontroler dan beban. Sensor tegangan dan sensor INA219 akan terhubung dengan mikrokontroler agar dapat mengukur tegangan panel surya, tegangan beban, dan arus beban yang akan ditampilkan pada platform IOT melalui modul komunikasi data GSM SIM900A. Untuk sistem keamanan akan menggunakan modul komunikasi GSM SIM900A untuk mengirimkan notifikasi SMS kepada pengguna.

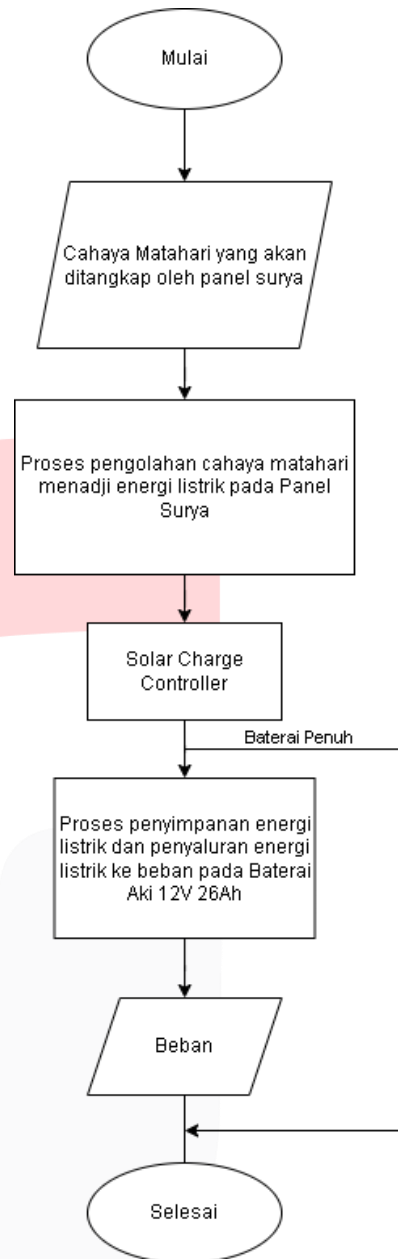
3.2 Desain Perangkat Keras



Gambar 3. 2 Desain Perangkat keras

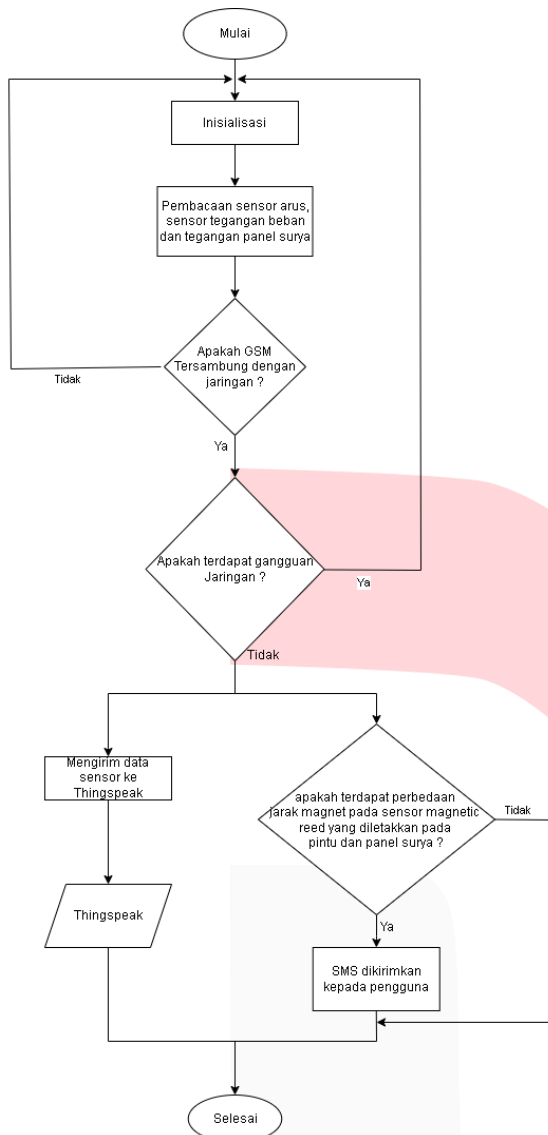
Pada gambar 3.2 merupakan desain perangkat keras. Dapat dilihat skematik rangkaian yang digunakan untuk perancangan sistem *Power Supply*, dimana modul mikrokontroler Arduino Mega 2560 adalah beban yang akan diukur tegangan dan arusnya

3.3 Diagram Alir Sistem



Gambar 3. 3 Diagram Alir Hardware Sistem Power Supply

Dapat dilihat pada Gambar 3.3, proses dimulai dari pengkapan cahaya matahari oleh panel surya yang akan menjadi sumber energi listrik yang akhirnya akan dialirkan kepada mikrokontroler dan beban. Solar Charge Controller akan berfungsi untuk mengatur pengisian yang akan dilakukan oleh panel surya kepada baterai.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Software Monitoring Sistem Power Supply dan Sistem Kemanan

Dapat dilihat pada Gambar 3.4, sistem dimulai dari pembacaan nilai arus dan tegangan beban, dan tegangan panel surya, lalu pada pengiriman data ke platform IOT, GSM akan melakukan pengecekan terhadap jaringan, jika adanya gangguan pada jaringan maka sistem akan Kembali menginisialisasi dari langkah awal. Jika tidak ada gangguan pada jaringan maka data akan dikirimkan dan ditampilkan ke platform IOT. Pada sistem keamanan, notifikasi SMS akan dikirimkan kepada pengguna jika sensor magnetic reed mendeteksi adanya perbedaan jarak antarmagnet yang ada di dalam sensor sejauh 1 cm.

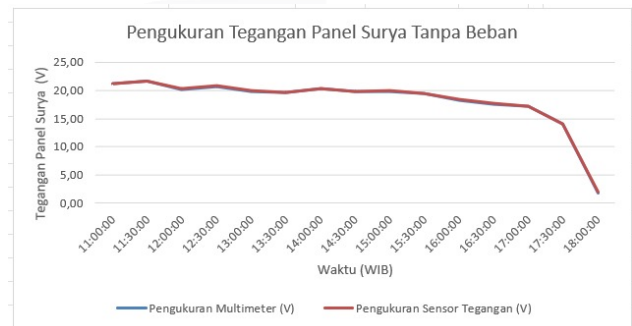
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penerapan Sistem Power Supply dan Sistem Keamanan Pada Weather Station



Gambar 4. 1 Weather Station

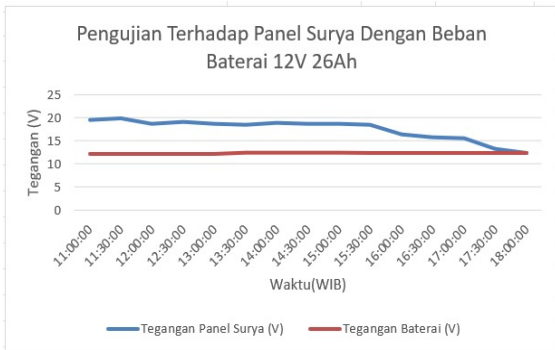
4.2 Pengujian Tegangan Panel Surya 20WP Tanpa Beban



Gambar 4. 2 Pegujian tegangan panel surya 20WP tanpa beban

Pada gambar 4.2 dilakukan pengujian terhadap pembacaan dari sensor tegangan terhadap panel surya 20WP dan dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan menggunakan multimeter. Pengujian ini dilaksanakan mulai dari jam 11.00 WIB – 18.00 WIB dengan rentang waktu pengambilan data selama setengah jam dalam sekali pengujian. Pada tabel menjelaskan bahwa modul panel surya bekerja dengan baik dan juga didukung oleh cuaca yang cerah. Dari hasil pengujian dihasilkan nilai tegangan maksimal 21,66V pada pukul dan tegangan minimal sebesar 12,96V pada pukul 18.00 yang dihasilkan oleh modul panel surya berdasarkan pembacaan data. Pengujian mendapatkan nilai error rata-rata sebesar 0,53% dan akurasi sebesar 99,47%.

4.3 Pengujian Terhadap Tegangan, Arus, dan Daya Pada Panel Surya 20WP dengan Beban Baterai 12V 26Ah



Gambar 4. 3 Pengujian perbandingan tegangan panel surya dengan baterai 12V 26Ah

Pada gambar 4.3 ditunjukkan bahwa baterai melakukan pengisian oleh arus yang diberikan dari panel surya, dan tegangan panel surya juga akan turun seiring dengan banyaknya cahaya matahari yang ditangkap.

4.4 Pengujian Waktu Pengisian Pada Baterai 12V 28Ah

Berdasarkan data arus yang dihasilkan oleh panel surya, berikut adalah perhitungan dari waktu dalam pengisian baterai 12V 26Ah :

$$x = \frac{A}{n} = \frac{7}{13} = 0,53A$$

Keterangan :

A = Total Arus yang dihasilkan oleh panel surya (Ampere).

n = Total banyaknya data yang dikumpulkan.

x = Total rata-rata arus yang dihasilkan oleh panel surya (A/jam)

Menurut perhitungan diatas maka total dari rata-rata arus yang dihasilkan oleh panel surya untuk mengisi baterai adalah 0,53A per jam. Maka dari itu bisa disimpulkan untuk pengisian baterai dari kosong sampai penuh dapat dibuat kedalam rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{K}{x} = \frac{26}{0,53} = 49,05 \text{ Jam}$$

Keterangan :

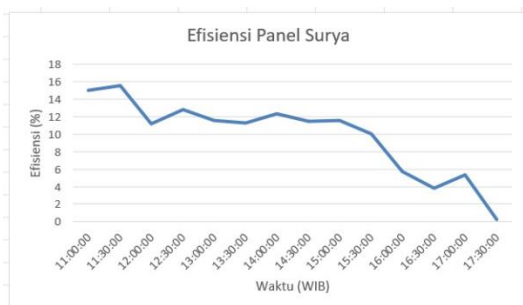
P = Waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai (jam)

K = Kapasitas Baterai (Ah)

x = Total rata-rata arus yang dihasilkan oleh panel surya (A/jam)

Berdasarkan perhitungan diatas, maka waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai dari kosong sampai penuh kapastiasnya adalah 49,05 jam.

4.5 Pengujian Efisiensi Terhadap Panel Surya 20WP



Gambar 4. 4 Pengujian efisiensi pada panel surya 20WP

Terlihat pada gambar 4.4, hasil pengujian efisiensi dari panel surya 20WP mendapatkan nilai rata-rata sebesar 9,87%. Nilai persentase efisiensi paling tinggi dari panel surya 20WP diperoleh sebesar 15,55% dan untuk nilai dari persentase paling rendah diperoleh sebesar 0,26%.

4.6 Pengujian Pengukuran Tegangan dan Arus Terhadap Beban Dengan Sensor INA219



Gambar 4. 5 Pengujian pengukuran nilai tegangan beban dengan sensor INA219

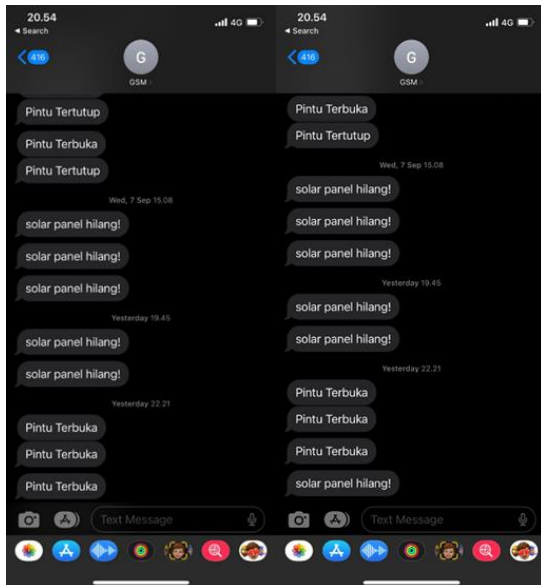
Terlihat pada gambar 4.5, pengujian pengukuran tegangan oleh pembacaan sensor INA219 menghasilkan nilai error yang cukup kecil dengan rata-rata persentase error pembacaan tegangan sebesar 0,64%. Nilai persentase error yang paling tinggi adalah 0,79%. Sedangkan nilai persentase error paling rendah adalah 0,63%. Maka dapat disimpulkan sensor INA219 untuk pengukuran tegangan beban pada sistem ini dapat digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4. 6 Pengujian pengukuran arus beban dengan sensor INA219

Pada pengujian pengukuran arus oleh pembacaan sensor INA219 menghasilkan nilai error yang cukup kecil dengan rata-rata persentase error pembacaan nilai arus sebesar 0,71%. Nilai persentase error yang paling tinggi adalah 0,93%. Sedangkan nilai persentase error paling rendah adalah 0,38%. Maka dapat disimpulkan sensor INA219 untuk pengukuran tegangan beban pada sistem ini dapat digunakan dalam penelitian ini.

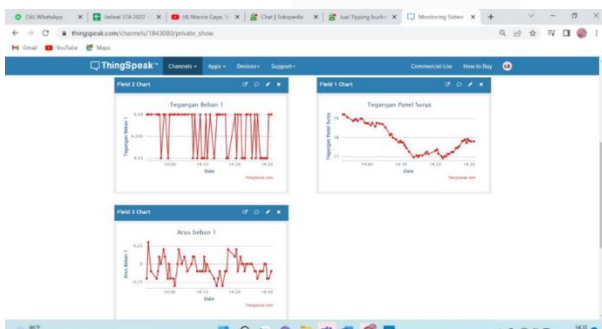
4.7 Pengujian Terhadap Pengiriman Notifikasi SMS Dengan GSM SIM900A



Gambar 4. 7 Pengujian pengiriman SMS pada pintu kota Weather Station dan panel surya

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pengujian untuk pengiriman notifikasi SMS (*Short Message Service*) berhasil diimplementasikan dengan pesan “Solar panel hilang!” dan “Pintu Terbuka” jika sensor magnetic reed mendeteksi adanya perbedaan jarak antarmagnet sejauh 1 cm ke nomor telepon 081375015827 dengan delay selama 0 sampai 1 menit.

4.8 Pengujian Terhadap Tampilan Data Pada Thingspeak



Gambar 4. 8 Pengujian terhadap tampilan data pada Thingspeak

Pada gambar 4.8 diatas menunjukkan hasil dari pengujian pengiriman data pada Thingspeak. Proses pengiriman data pada Thingspeak memakan waktu selama 0-15 detik. Thingspeak juga dapat diakses melalui sebuah aplikasi bernama Thingview yang dapat diunduh pada *smartphone* agar pengguna bisa mengakses Thingspeak dengan lebih mudah. Berikut ini adalah tampilan dari aplikasi Thingview :



Gambar 4. 9 Tampilan pada aplikasi Thingview

Bagian ini berisi paparan objektif peneliti terhadap hasil-hasil penelitian berupa penjelasan dan analisis terhadap penemuan-penemuan penelitian, penjelasan serta penafsiran dari data dan hubungan yang diperoleh, serta pembuatan generalisasi dari penemuan. Apabila terdapat hipotesis, maka pada bagian ini juga menjelaskan proses pengujian hipotesis beserta hasilnya.

Hasil penelitian harus disajikan secara jelas dan sistematis supaya mudah dibaca dan dipahami. Penyajian hasil penelitian dapat dilakukan dengan cara deskriptif (naratif), menggunakan tabulasi, tabel atau grafik, atau dengan menggunakan gabungan dua atau ketiganya secara sekaligus. Penggunaan ketiga cara tersebut disesuaikan dengan jenis data dan sejauh mana diskripsi data akan dijelaskan. Misalnya, pada awal peneliti memaparkan narasi temuannya, kemudian didukung dengan sajian data dalam bentuk tabulasi, tabel atau grafik. Peneliti juga menyajikan data-data hasil penelitian, kemudian didukung grafik dilanjutkan deskripsi naratif. [10 pts]. Berikan kemungkinan pengembangan atau penelitian ke depan terkait penelitian ini

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Sistem ini menggunakan panel surya 20WP dan baterai aki sebagai penyimpanan energi listrik yang telah dihasilkan oleh panel surya dengan spesifikasi 12V 26Ah. Tegangan keluaran pada panel surya tanpa beban tertinggi ada di angka 21,58V di jam 11.30 WIB dengan nilai rata-rata persentase *error* pembacaan sensor tegangan sebesar 0,53%. Efisiensi paling tinggi ada di angka 15.55% pada waktu yang sama.

Hasil pengukuran dari sensor INA219 untuk pengujian tegangan beban memiliki tingkat rata-rata persentase *error* sebesar 0,64% dan untuk pengujian arus memiliki tingkat rata-rata persentase *error* sebesar 0,86% dengan kesimpulan bahwa sensor INA219 cocok digunakan dalam pengerjaan proyek Tugas Akhir ini.

Hasil dari pengukuran sensor tegangan dan sensor INA219 akan ditampilkan pada Thingspeak dengan *delay* pengiriman data selama 0-15 detik dengan menggunakan modul GSM SIM900A sebagai modul komunikasi data.

Pada pengujian pengiriman notifikasi keamanan berupa SMS pada saat sensor magnetic reed mendeteksi adanya perubahan jarak antarmagnet yang diletakkan pada panel surya dan juga pintu *Weather Station* mengalami *delay* selama 0-1 menit dengan menggunakan modul GSM SIM900A.

5.2 Saran

1. Menambahkan fitur pada keamanan pintu sistem *Weather Station* dengan RFID agar hanya pengguna yang bisa membuka pintu sistem *Weather Station*.
2. Menggunakan tipe panel surya yang berkapasitas lebih agar menambah tingkat efisiensi panel surya dan efisiensi pada pengisian baterai aki.
3. Menggunakan tipe SCC (Solar Charge Controller) yang lebih daripada SCC yang sebelumnya dipakai dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] D. O. Akinyele and R. K. Rayudu, "Review of energy storage technologies for sustainable power networks," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 8, pp. 74–91, 2014, doi: 10.1016/j.seta.2014.07.004.
- [1] R. Teymourzadeh, S. A. Ahmed, K. W. Chan, and M. V. Hoong, "Smart GSM based home automation system," *Proc. - 2013 IEEE Conf. Syst. Process Control. ICSPC 2013*, no. December, pp. 306–309, 2013, doi: 10.1109/SPC.2013.6735152.
- [3] Puriza, M. Y., Yandi, W., & Asmar, A. (2021). Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Panel Surya Tipe Polycrystalline dengan Panel Surya Monocrystalline Berbasis Arduino di Kota Pangkalpinang. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 8(1), 47-52.
- [4] "Apa Itu Stasiun Cuaca / Automatic Weather station(Aws) ?" <https://Meteonusantara.Com/Aws> (Accessed Sep. 14, 2022).
- [5] Ghosh, A., Srivastava, A., Patidar, A., Sandeep, C., & Prince, S. (2013, April). Solar powered weather station and rain detector. In *2013 Texas Instruments India Educators' Conference* (pp. 131-134). IEEE.
- [6] Ghribi, B., & Logrippo, L. (2000). Understanding GPRS: the GSM packet radio service. *Computer Networks*, 34(5), 763-779.
- [1] S. Pasha, "Thingspeak Based Sensing and Monitoring System for IoT with Matlab Analysis," *Int. J. New Technol. Res.*, vol. 2, no. 6, pp. 19–23, 2016.
- [8] Ghribi, B., & Logrippo, L. (2000). Understanding GPRS: the GSM packet radio service. *Computer Networks*, 34(5), 763-779.
- [9] Nugroho, A. W. (2015). Rancang Bangun Mesin PC Based CNC Milling Tiga Sumbu (Sistem Kontroler dan Analisa Torsi Motor Stepper).