

**PENGUKURAN DAYA KELUARAN MENGGUNAKAN SENSOR ARUS
DAN TEGANGAN PADA PENGUJIAN GENERATOR MAGNET
PERMANEN PUTARAN RENDAH**

Ossa Endah Diar Nugraheni¹, Tjendro², B. Wuri Harini³, Martanto^{4*}

^{1,2,3,4}*Teknik Elektro, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia*

**Email : martanto@usd.ac.id*

Abstrak

Generator merupakan alat yang memanfaatkan gaya gerak untuk menghasilkan listrik. Generator magnet permanen merupakan generator sinkron dengan medan eksitasi dihasilkan oleh magnet permanen bukan gulungan. Fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnetik permanen sehingga tidak memerlukan arus eksitasi DC. Untuk memonitor pengukuran daya keluaran dari generator magnet permanen putaran rendah, maka dibuatlah sistem pengukuran daya keluaran dengan menampilkan hasil pengukuran daya keluaran pada LCD dan GUI. Sistem ini diimplementasikan menggunakan sensor arus, sensor tegangan, Arduino Mega, LCD 16x2, RTC, kartu SD, RS485, dan perangkat komputer untuk menampilkan antarmuka GUI menggunakan bahasa Python. Pengujian dilakukan dengan memberi variasi terhadap beban yang dihubungkan. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa sistem dapat menampilkan hasil pengukuran pada LCD dan tampilan plot pada antarmuka GUI. Pengujian sistem menghasilkan galat sebesar 2,79% untuk pengukuran arus; 6,55% untuk pengukuran tegangan; dan 10,09% untuk pengukuran daya. Data hasil pengukuran daya dapat dikirim ke perangkat *master* melalui komunikasi RS485. Hasil pengukuran terekam dalam kartu memori dan dapat dengan mudah diakses melalui aplikasi *notepad* pada perangkat komputer.

Kata kunci: daya keluaran, generator, pengukuran, sensor arus, sensor tegangan

**OUTPUT POWER MEASUREMENT USING CURRENT AND VOLTAGE
SENSOR ON LOW-SPEED PERMANENT MAGNET GENERATOR
TESTING**

Ossa Endah Diar Nugraheni¹, Tjendro², B. Wuri Harini³, Martanto^{4*}

^{1,2,3,4}*Department of Electrical Engineering, Sanata Dharma University, Yogyakarta, Indonesia*

**Email : martanto@usd.ac.id*

Abstract

Generator is a device that uses the power of motion to generate electricity. A permanent magnet generator is a synchronous generator in which the excitation magnetic field is generated by an unwound permanent magnet. The magnetic flux is generated by the permanent magnet magnetic field, so no DC excitation current is required. The measurement system is monitored by displaying the measurement results on the LCD and GUI to monitor the output power measurement of the low-

speed permanent magnet generator. The system is implemented using a current sensor, voltage sensor, Arduino Mega, 16x2 LCD, RTC, SD card, RS485, and computer equipment to display a GUI interface using the Python language. The system is tested by varying the loads. The test results show that the system can display the measurement results on the LCD and display them on the GUI interface. System tests have shown 2.79% error in the current measurement; 6.55% for voltage measurement; and 10.09% in power measurement. Power measurement data can be sent to the master device via RS485 communication. The measurement results are recorded on a memory card and can be easily accessed from the Notepad application on a computer.

Keywords: current sensor, generator, measurement, output power, voltage sensor.

Pendahuluan

Generator merupakan alat yang memanfaatkan gaya gerak untuk menghasilkan listrik. Secara sederhana, generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik pada generator didapatkan dari berbagai sumber tenaga. Dalam mengkonversi energi, generator biasanya menggunakan induksi elektromagnetik dengan memutar kumparan dalam medan magnet sehingga timbul gaya gerak listrik (GGL) induksi.

Pada tahun 1831, Michael Faraday menemukan generator elektromagnetik untuk pertama kali. Alat tersebut menghasilkan arus searah yang kecil dan tidak efisien. Pada tahun 1887, C.S. Bradley membuat generator AC 3 fasa yang membuat penggunaan arus bolak-balik meningkat. Generator arus bolak-balik tiga fasa memiliki daya guna yang tinggi sehingga digunakan sebagai pembangkit listrik secara umum di dunia sejak tahun 1900M (Ponto, 2018). Seiring perkembangan teknologi khususnya bidang kelistrikan, diciptakanlah generator magnet permanen untuk meningkatkan efisiensi penggunaan listrik. Secara sederhana, generator ini menggunakan magnet permanen sebagai rotor. Generator magnet permanen merupakan generator sinkron di mana medan eksitasi dihasilkan oleh magnet permanen bukan gulungan. Fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnetik permanen sehingga tidak memerlukan arus eksitasi DC (Dalimi, 2001).

Penelitian “Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Tegangan, Arus, dan Frekuensi Keluaran Generator 3 Fasa pada Modul *Mini Power Plant* Departemen Teknik Instrumentasi” yang dilakukan oleh Fitri A. Iskandarianto (Iskandarianto, 2020) membuat sistem *monitoring* parameter keluaran generator (arus, tegangan, dan frekuensi) dengan sistem *portable*. Sistem tersebut memanfaatkan sensor tegangan ZMPT101B untuk mengukur tegangan, sensor arus ACS712 mengukur arus, dan *zero crossing detector* untuk mengukur variabel frekuensi. Hasil pengukuran sistem ditampilkan dalam layar LCD 4x20.

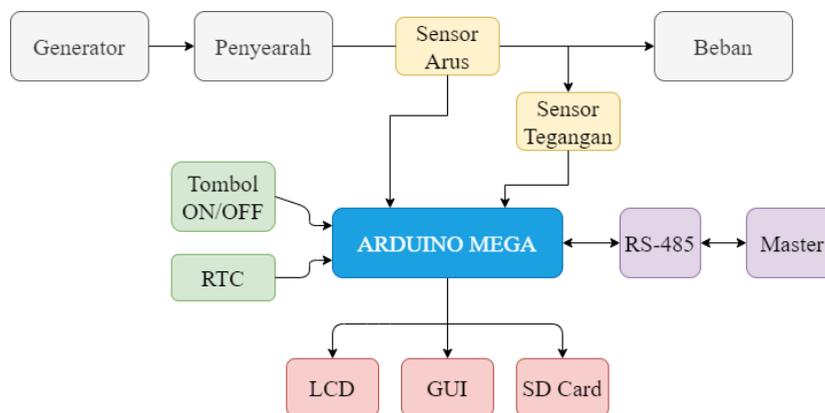
Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Surya Hidayat, dibuat perancangan sistem proteksi dan monitoring generator. Penelitian dengan judul “Perancangan Proteksi dan Monitoring Generator Sinkron Tiga Fase Berbasis Arduino Mega 2560” menggunakan sensor arus ACS712 12-20A-T, sensor tegangan ZMPT101B, sensor suhu LM35, dan tachometer untuk mendeteksi gangguan pada generator (Hidayat, 2017). Pengujian sensor arus dilakukan dengan merangkai ketiga sensor arus secara paralel dengan sumber tegangan 220 VAC dan beban resistor variabel. Pengujian rangkaian sensor tegangan, digunakan 3 buah potensial transformer

ZMPT101B dengan tegangan primer 220 VAC dan tegangan sekunder 5 VDC. Pengukuran dilakukan dengan cara memberi input tegangan yang berbeda-beda (100-240V) dengan output tegangan maksimal 5 VDC. Kemudian dari hasil kedua pengujian itu dilakukan pencatatan ke dalam tabel dan dibuat persamaan linear antara input (arus atau tegangan) dengan tegangan keluaran sensor yang kemudian dapat diolah ke dalam program. Parameter-parameter generator kemudian ditampilkan melalui antarmuka pada aplikasi MATLAB (Hidayat, 2017).

Pada penelitian ini, akan dibuat sistem alat ukur untuk mengukur daya output dari generator magnet permanen. Sistem akan dilengkapi alat ukur arus dan tegangan dengan memanfaatkan sensor arus dan sensor tegangan. Pengambilan data ukur dilakukan dengan memberikan variasi pada beban. Hasil pengukuran dapat dimonitor melalui tampilan antar muka GUI dengan memanfaatkan komunikasi serial antara GUI dengan mikrokontroler (*slave*). Selain itu, hasil pengukuran akan ditampilkan ke dalam LCD 16x2 dan disimpan ke dalam kartu memori menggunakan modul memori. Sistem juga akan dilengkapi dengan RTC, agar data hasil pengukuran dapat tercatat secara *real time*.

Metode

Sistem pengukuran daya keluaran terdiri dari sensor arus, sensor tegangan, mikrokontroler Arduino, RTC, LCD, kartu SD, dan seperangkat generator lengkap dengan penyearah gelombang penuh 3 fasa serta modul beban. Sensor arus dan sensor tegangan dihubungkan pada keluaran generator untuk mengukur arus dan tegangan. Jangkauan pengukuran arus DC 0-5A dan jangkauan pengukuran tegangan DC adalah 0-100V. Pengukuran daya dihitung dari hasil pengukuran arus dan tegangan. Hasil pengukuran sistem kemudian ditampilkan pada layar LCD dan disimpan ke dalam kartu SD. Sistem dapat menampilkan hasil pengukuran ke dalam GUI melalui sambungan dengan perangkat komputer. Hasil pengukuran dapat dikirim ke master melalui komunikasi serial RS485. Diagram blok sistem pengukuran daya keluaran dapat dilihat pada Gambar 1.

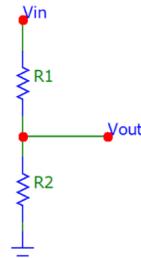


Gambar 1. Diagram blok sistem

Penelitian ini menggunakan sensor arus ACS712 yang mampu mengukur arus dari -5A hingga +5A dengan tegangan catu sebesar 5V. Sensor arus ACS712

memiliki resolusi sebesar 185mV/A (Allegro, 2022). Pada saat sensor mengukur arus 0A, tegangan keluaran sensor adalah 2,5V. Pada saat sensor mengukur arus 5A, tegangan keluaran sensor adalah 3,425V, dihitung dari 185mV dikali 5 kemudian ditambah 2,5V. Pada resolusi ini, menghasilkan pembacaan data arus dengan resolusi sekitar 30mA per-bit.

Perancangan sensor tegangan memanfaatkan rangkaian pembagi tegangan seperti pada Gambar 2 dengan persamaan (Hayt & Durbin, 2005):



Gambar 2. Rangkaian pembagi tegangan

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (1)$$

V_{in} merupakan tegangan masukan yang bersumber dari tegangan keluaran generator yang telah disearahkan. V_{out} merupakan tegangan keluaran pembagi tegangan. Nilai referensi dari mikrokontroler adalah 5V. Sistem pengukuran dapat mengukur tegangan hingga 100V. Sehingga, nilai tegangan 100V harus direpresentasikan ke dalam tegangan 5V. Nilai R_2 ditentukan sebesar 5k ohm. Maka melalui persamaan (1), nilai R_1 diperoleh sebesar:

$$5V = \frac{5k}{R_1 + 5k} \times 100V$$

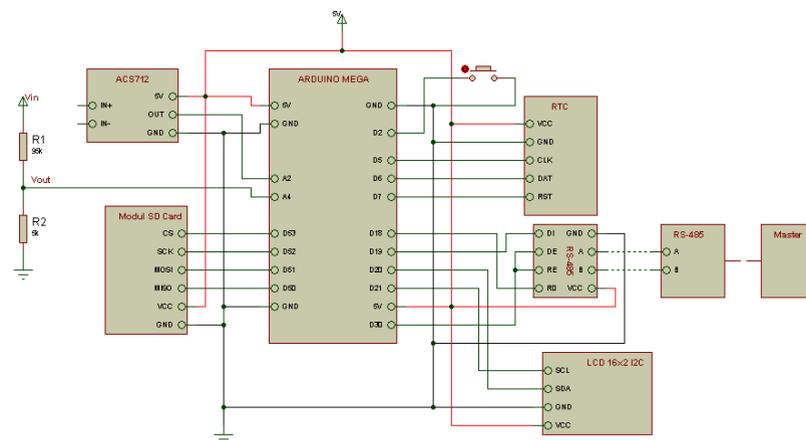
$$R_1 = 95k \Omega$$

Pada implementasi, nilai R_2 (5K Ω) menggunakan 2 buah resistor 10K Ω yang dihubung secara paralel. Resistor R_1 (95K Ω) menggunakan resistor 68K dan resistor 27K Ω disusun secara seri.

Setiap keluaran dari sensor kemudian dihubungkan ke port analog Arduino Mega seperti yang tertampil pada Gambar 3. Pengukuran arus dihubungkan pada port A2 dan pengukuran tegangan dihubungkan pada port A4. Mikrokontroler akan melakukan konversi ADC (*Analog to Digital Converter*) dari tiap masukan analog. Proses pengkonversian dilakukan dengan memprogram mikrokontroler Arduino Mega melalui aplikasi Arduino IDE. Arus dan tegangan terukur yang telah dikonversi menjadi data digital selanjutnya diproses untuk perhitungan nilai daya.

Perancangan perangkat lunak dimulai dengan melakukan inisialisasi perangkat. Sistem dimulai dengan kondisi RTC ON. Selanjutnya sistem akan siaga. Mikrokontroler dan perangkat pendukung seperti: serial, *push button*, LCD, memori, modul komunikasi dalam keadaan ON. Sistem pengukuran harus diberi masukan dengan menekan *push button* sekali untuk menyalakannya. Selanjutnya,

sistem akan mulai melakukan pembacaan arus dan tegangan oleh sensor secara urut bergantian. Data pembacaan kemudian diolah oleh mikrokontroler untuk proses kalkulasi daya. Data daya output merupakan hasil kalkulasi nilai pengukuran arus dikalikan dengan nilai pengukuran tegangan. Semua data pengukuran kemudian ditampilkan pada layar LCD dan serial monitor. Data pengukuran juga ditampilkan ke dalam jendela GUI pada komputer. Selain ditampilkan, sistem juga akan menyimpannya ke dalam kartu memori melalui modul memori. Data pengukuran juga akan dikirim menuju *master* setelah diberi kode permintaan data dari *master*. Sistem akan terus melakukan proses tersebut secara berurut hingga *push button* ditekan kembali.



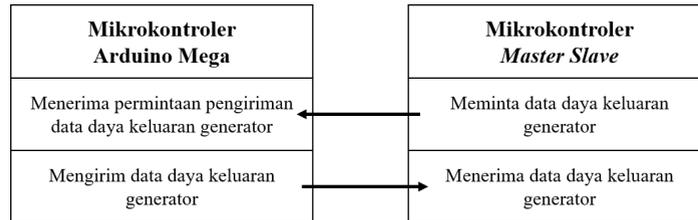
Gambar 3. Pengkabelan sistem pengukuran

Pembacaan arus dan tegangan dilakukan sebanyak 200 kali, dengan pengambilan data setiap 400us. Hasil pembacaan kemudian diambil nilai rata-ratanya. Proses pembacaan data sensor, hanya memerlukan waktu sekitar 80ms. Hasil pembacaan data arus dan tegangan digunakan untuk melakukan perhitungan daya. Perhitungan daya dilakukan dengan mengalikan nilai arus dan tegangan. Semua data ditampilkan ke LCD dan GUI setiap 1 detik. Proses konversi dari pembacaan arus dan tegangan dapat dilihat dari persamaan (2) dan (3) secara berurutan.

$$i_{dc} = \frac{(avg \times 5) / 1023)^{-2.5}}{0.185} \quad (2)$$

$$v_{dc} = \left((avg \times 5) / 1023 \right) \times 20 \quad (3)$$

Perancangan komunikasi antara mikrokontroler Arduino Mega dengan *Master* dapat dilihat pada Gambar 4. dibawah. Pengiriman data daya output generator menuju *master* harus didahului dengan permintaan pengiriman data oleh *master*. Ketika Arduino Mega menerima permintaan dari *master*, Arduino Mega akan mengirimkan data daya output menuju *master*.



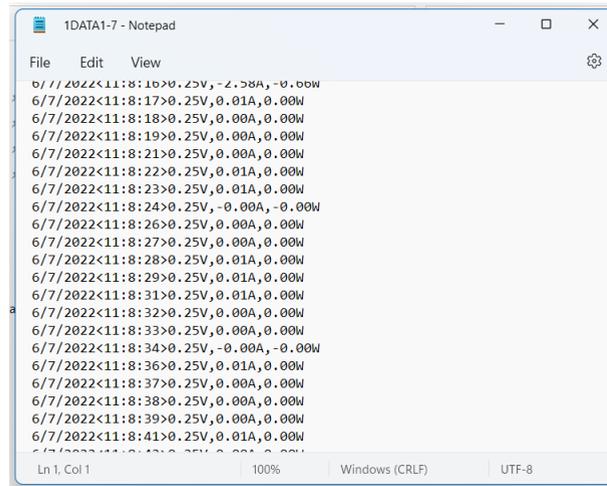
Gambar 4. Diagram komunikasi sistem dengan master

Permintaan untuk pengiriman data daya keluaran oleh *master* menggunakan kode #O\$. Setelah mikrokontroler *slave* menerima kode, maka data siap dikirim menuju *master*. Data yang dikirim diberi format awalan dan akhiran. Awalan berupa tanda pagar (#) diikuti kode dengan huruf kecil dan akhiran berupa tanda dolar (\$). Data yang dikirim adalah data pengukuran daya keluaran, dengan format hingga 2 digit di belakang koma. Contoh format paket data yang dikirim adalah “#o,26.03\$”.

GUI digunakan untuk menampilkan data hasil pengukuran daya keluaran generator. Tampilan GUI dibuat dengan *tkinter* menggunakan aplikasi dan bahasa pemrograman Python. GUI menampilkan grafik pengukuran daya keluaran per detik dengan sumbu y adalah nilai daya keluaran dalam satuan watt dan sumbu x adalah waktu dengan satuan detik.

Pada sistem pengukuran, hasil pengukuran akan disimpan ke dalam SD *card* dalam format text .txt. Format .txt dapat dibuka dengan menggunakan *notepad* pada komputer. Tampilan penyimpanan pada SD *card* seperti pada Gambar 5. Pada *notepad* akan berisi tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik, kemudian diikuti data pengukuran mulai dari arus, tegangan, dan daya. Pencatatan data akan dilakukan tiap 1 detik. Data akan disimpan ke dalam *file* yang diberi nama “DataOut”. Data dalam *file* tersebut akan diformat seminggu sekali atau sesuai kebutuhan. Format datanya adalah:

DD/MM/YYYY< HH:MM:SS>XA,XV,XW



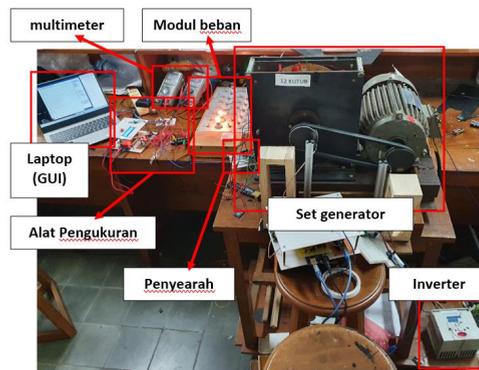
Gambar 5. Tampilan data yang disimpan pada notepad

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian berupa pengujian perangkat keras maupun perangkat lunak sistem. Pengujian perangkat keras berupa pengujian sensor arus dalam mendeteksi arus keluaran generator dan sensor tegangan dalam mendeteksi tegangan keluaran generator. Pengujian perangkat lunak berupa keberhasilan program GUI dalam menampilkan informasi terkait pengukuran daya keluaran generator serta pengujian terhadap komunikasi antara mikrokontroler *slave* dan *master* dalam pengiriman data pengukuran.

Bentuk fisik sistem

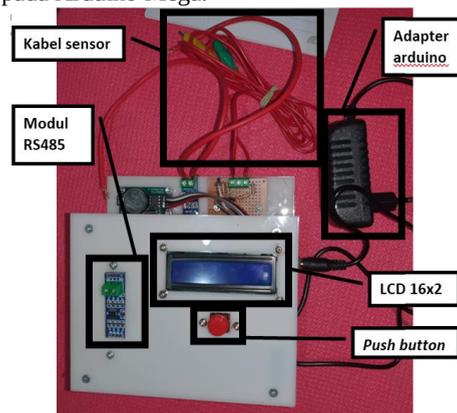
Sistem pengukuran daya keluaran generator secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 6. Sistem terdiri dari set generator magnet permanen putaran rendah, inverter, penyearah gelombang penuh 3 fasa, alat pengukuran, modul beban, multimeter, dan perangkat pc untuk GUI.



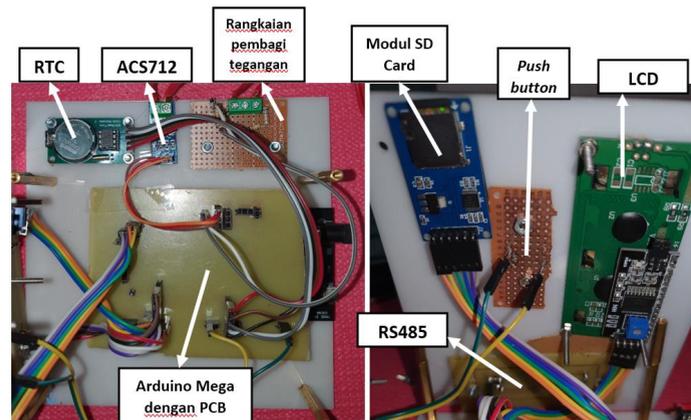
Gambar 6. Keseluruhan sistem pengukuran daya keluaran

Bentuk fisik alat pengukuran daya keluaran generator dapat dilihat pada Gambar 7. Alat pengukuran dikemas ke dalam kotak berbahan akrilik dengan sisi tegak yang terbuka. Kemasan ini bertujuan agar memudahkan dalam pengimplementasian sistem. Bagian atas kotak terdapat tombol *push button*, layar LCD, dan modul komunikasi RS485. Tombol *push button* berfungsi sebagai masukan untuk memulai dan menghentikan sistem pengukuran. Layar LCD untuk menampilkan nilai pengukuran (arus, tegangan, dan daya) dan modul RS485 untuk komunikasi data antara *slave* dan *master*.

Bagian dalam kotak dapat dilihat pada Gambar 8. Bagian dalam terdapat Arduino Mega sebagai mikrokontroler yang mengatur kerja sistem. Di atas Arduino telah dipasang papan PCB untuk memudahkan pengkabelan perangkat-perangkat pendukung dengan mikrokontroler. Terdapat rangkaian pembagi tegangan sebagai sensor tegangan dan modul ACS712 5A sebagai sensor arus yang dihubungkan langsung ke mikrokontroler. Keduanya juga dilengkapi kabel untuk menghubungkan ke generator. Terdapat modul RTC DS1302 sebagai pewaktuan pada sistem. Bagian atas kotak terdapat modul memori sebagai perangkat untuk menyimpan data pengukuran ke dalam kartu memori. Seluruh perangkat pada sistem terhubung langsung ke mikrokontroler melalui papan PCB. Sistem juga dilengkapi adapter 9V/2A sebagai catu daya mikrokontroler yang dihubungkan melalui port *jack* pada Arduino Mega.



Gambar 7. Bentuk fisik system



Gambar 8. Bagian dalam kotak

Gambar 9 merupakan bentuk fisik dari generator magnet permanen putaran rendah. Bagian sebelah kanan merupakan motor induksi dan sebelah kiri merupakan generator yang dipakai dalam pengujian. Pengoperasian generator dibantu dengan sebuah inverter seperti tampak pada Gambar 10. Pada inverter terdapat pengatur frekuensi yang dapat memengaruhi kecepatan putaran dari motor induksi. Pengatur tersebut dilengkapi dengan panel digital yang menampilkan indikator angka. Indikator angka pada inverter menunjukkan besar frekuensi sinusoidal motor induksi.



Gambar 9. Generator magnet permanen putaran rendah

Keluaran dari generator kemudian disearahkan dengan modul penyearah seperti tampak pada Gambar 11. Modul penyearah tersebut merupakan penyearah 3 fasa gelombang penuh. Keluaran yang telah disearahkan dihubungkan langsung ke modul beban seperti tampak pada Gambar 12.



Gambar 10. Inverter



Gambar 11. Penyearah gelombang penuh 3 fasa



Gambar 12. Modul beban

Pengujian keseluruhan sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan mengoperasikan generator mulai dari frekuensi 3,0 hingga 13,0 yang tertampil pada indikator inverter dengan kenaikan 1 angka. Indikator angka tersebut merupakan besar frekuensi sinusoidal pada motor induksi. Pada variasi beban, yaitu mulai dari pengoperasian tanpa beban (L0) hingga beban menyala sebanyak 7 lampu (L7). Hasil pengukuran sistem dibandingkan dengan pengukuran oleh multimeter.

Pada hasil pengukuran tegangan, didapat rata-rata galat sebesar 6,55%. Hasil pengukuran tegangan dengan nilai di bawah 1V diperoleh nilai galat yang cukup tinggi yaitu sekitar 29% pada pengukuran 0,67V hingga 68% pada pengukuran 0,14V. Pada hasil pengukuran tegangan di atas 1V diperoleh nilai galat kurang dari 5% dan nilai galat semakin rendah saat pengukuran tegangan lebih dari 5V yaitu sekitar 1%.

Pada perancangan, sensor tegangan memiliki jangkauan pengukuran mulai dari 0V hingga 100V. Pengukuran tegangan oleh sensor tegangan ini memiliki

resolusi 0,1V per-bit sehingga setiap kenaikan satu bit mewakili 0,1V. Hal ini membuat ketelitian nilai pengukurannya tidak sampai satu angka di belakang koma. Hasil pengukuran tegangan oleh sensor dan multimeter memiliki beda nilai sekitar 0,2V. Oleh karena itu bila mengukur tegangan di bawah 1V akan mendapat galat yang cukup besar akibat beda nilai yang didapat sebesar 0,2V.

Pada hasil pengukuran arus, didapat rata-rata galat sebesar 2.79%. Nilai galat ini cukup kecil bila dibanding dengan galat yang didapat pada pengukuran tegangan. Pada pengujian tanpa beban, yaitu kondisi saat tidak ada arus yang mengalir menuju sensor, nilai yang terukur sebesar 0,01A. Oleh karena itu, bila dibandingkan dengan nilai pengukuran multimeter akan didapat nilai galat yang besar.

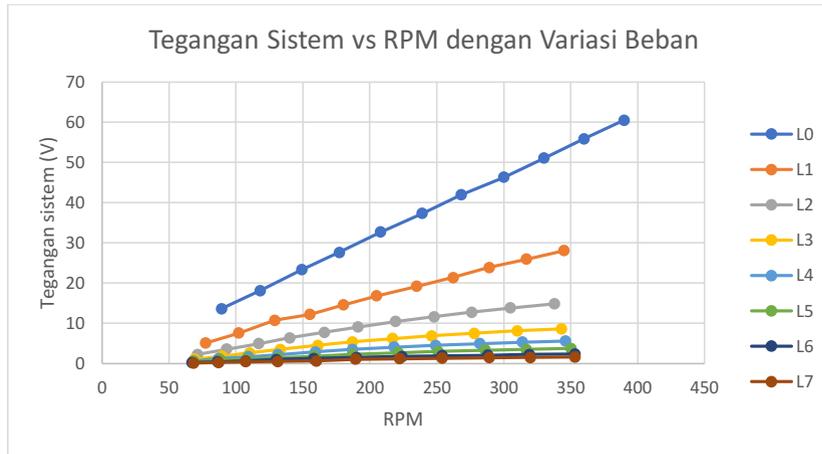
Pengukuran arus oleh sensor arus ini memiliki resolusi pembacaan sebesar 30mA per-bit. Pembacaan arus oleh sensor dapat menghasilkan ketelitian hingga satu angka di belakang koma. Beda nilai yang didapat antara hasil pengukuran arus oleh sensor dan multimeter sekitar 0,035A.

Pengukuran daya didapat dari program perkalian antara pengukuran tegangan dan nilai pengukuran arus yang terukur sensor. Konfigurasi rangkaian untuk pengukuran daya dengan menempatkan sensor arus pada arus yang menuju beban kemudian diikuti penempatan sensor tegangan yang diparalelkan dengan beban. Pada konfigurasi ini, sensor arus akan mengukur arus yang melewati sensor tegangan dan beban. Hasil pengukuran daya dibandingkan dengan nilai perkalian dari hasil pengukuran arus dan tegangan yang terukur oleh multimeter. Metode pembandingan ini dilakukan karena wattmeter atau alat ukur daya tidak tersedia pada saat melakukan penelitian ini. Dari perbandingan hasil pengukuran, didapat rata-rata galat sebesar 10,09%.

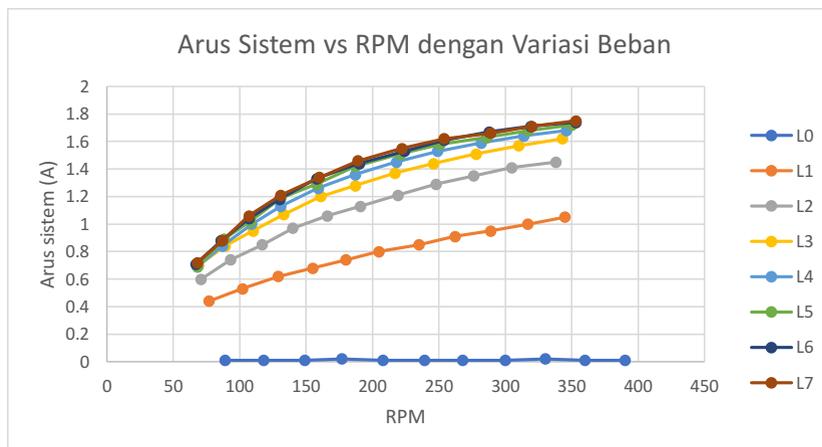
Hasil pengukuran disajikan ke dalam plot grafik untuk membandingkan hasil pengukuran dengan besar RPM untuk tiap variasi banyak beban. Grafik tersaji pada Gambar 13 - 15.

Hasil pengujian tegangan keluaran yang terukur oleh sistem tersaji dalam grafik pada Gambar 13. Tegangan keluaran tampak linear dengan putaran generator. Pada kondisi tanpa beban, diperoleh tegangan keluaran sekitar 15V pada putaran 100RPM dan memperoleh tegangan keluaran sekitar 55V pada putaran 350RPM. Tegangan semakin menurun ketika ada penambahan nilai beban.

Hasil pengujian arus keluaran yang terukur oleh sistem tersaji dalam grafik pada Gambar 14. Pada saat putaran sebesar 100RPM, arus keluaran yang diperoleh mencapai 1A. Pada putaran 300RPM, arus keluaran yang diperoleh mencapai 1,7A. Pertambahan arus sebanding dengan putaran generator dan juga penambahan pada nilai beban. Penambahan arus saat nilai beban semakin besar tidak terlalu besar dan hampir mendekati 0A.



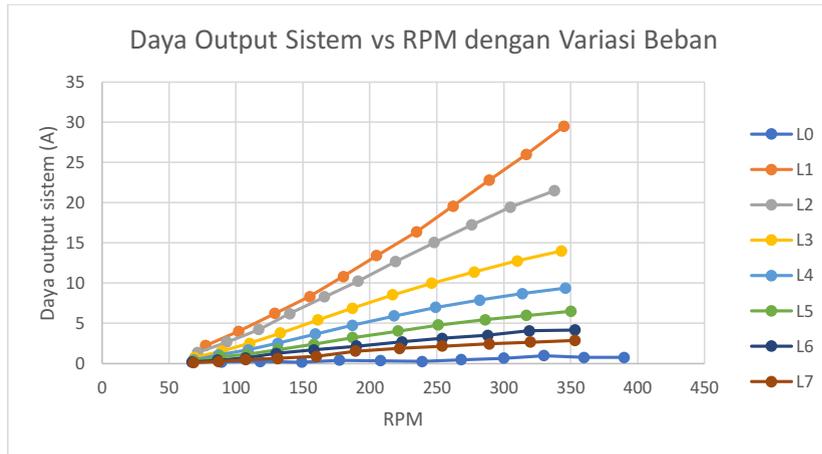
Gambar 13. Grafik tegangan sistem vs RPM dengan variasi beban



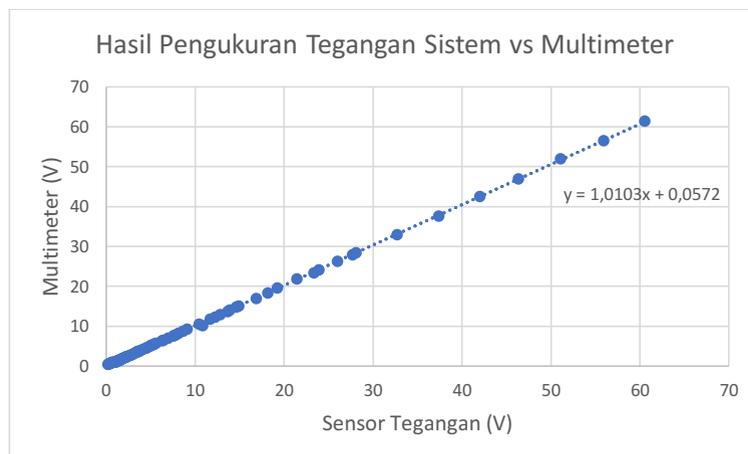
Gambar 14. Grafik arus sistem vs RPM dengan variasi beban

Hasil pengujian daya keluaran yang terukur oleh sistem tersaji dalam grafik pada Gambar 15. Hasil pengukuran daya keluaran diperoleh sekitar 4watt pada putaran 100RPM dan 24watt pada putaran 300RPM. Penambahan nilai beban mengakibatkan penurunan nilai daya keluaran yang diperoleh.

Seluruh hasil pengukuran sistem juga dibuat grafik perbandingan antara hasil pengukuran oleh sistem dengan hasil pengukuran dengan multimeter. Grafik perbandingan dibuat untuk mencari galat gradien dan nilai *offset* yang diperoleh dari pengukuran. Grafik perbandingan terlihat pada Gambar 16 - 18.



Gambar 15. Grafik daya keluaran sistem vs RPM dengan variasi beban

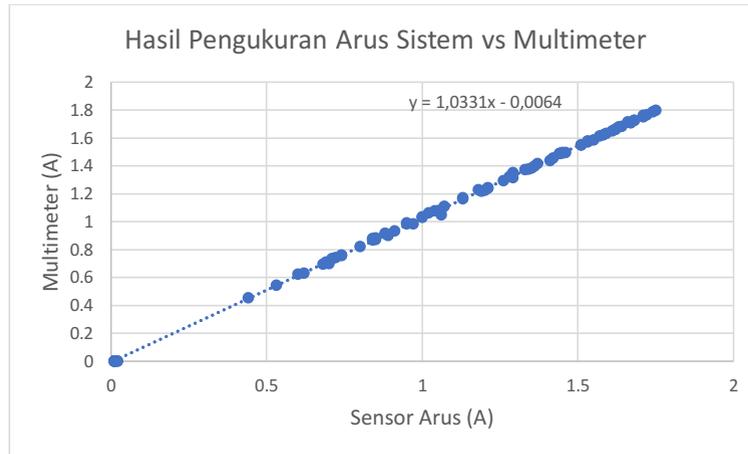


Gambar 16. Grafik perbandingan hasil pengukuran tegangan

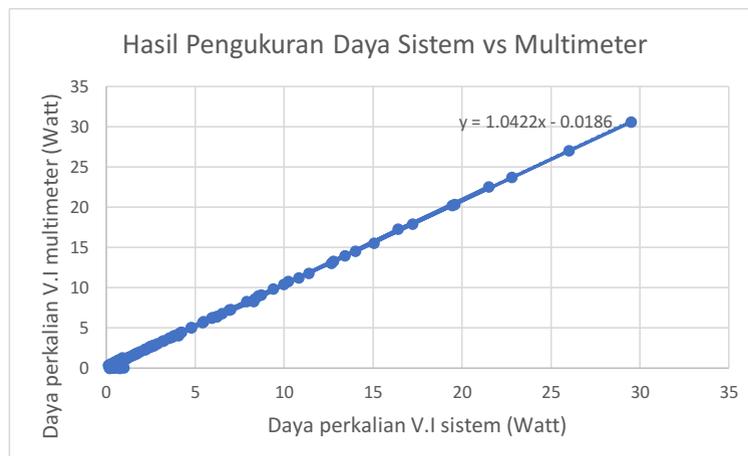
Galat gradien secara ideal sebesar 1 atau persamaan grafiknya adalah $y=x$ dan nilai *offset* sebesar 0. Pada setiap grafik perbandingan diperoleh persamaan sebagai berikut (Tabel 1):

Tabel 7. Persamaan grafik pengukuran sistem

| Pengukuran | Persamaan |
|------------|------------------------|
| Tegangan | $y = 1,0103x + 0,0572$ |
| Arus | $y = 1,0331x - 0,0064$ |
| Daya | $y = 1,0422x - 0,0186$ |



Gambar 17. Grafik perbandingan hasil pengukuran arus

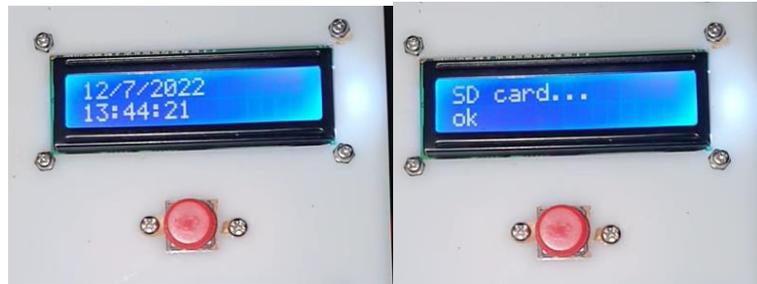


Gambar 18. Grafik perbandingan hasil pengukuran daya

Galat gradien didapat dengan menghitung nilai y dari persamaan yang didapat untuk setiap nilai x . Hasil perhitungan nilai y kemudian dicari beda nilai dengan nilai pada sumbu y . Proses perhitungan nilai galat gradien dikalkulasi menggunakan *excel*. Pada pengukuran tegangan diperoleh galat gradien sebesar 0,07 dengan *offset* +0,0572; pengukuran arus sebesar 0,007 dengan *offset* -0,0064; dan pengukuran daya sebesar 0,15 dengan *offset* -0,0186. Hasil dari ketiga grafik tampak linear.

Sistem dilengkapi LCD 16x2 sebagai penampil nilai pengukuran keluaran generator. Sistem juga ditambah dengan sebuah tombol *push button* yang digunakan untuk memulai dan menghentikan proses pengukuran yang dilakukan sistem. Dalam Gambar 19 ditunjukkan beberapa tampilan awal setelah sistem dihubungkan dengan catu daya. Layar LCD akan menampilkan waktu saat sistem

dinyalakan kemudian menampilkan inialisasi kartu memori yang berhasil terpasang.



Gambar 19. Tampilan awal lcd setelah dinyalakan

LCD akan menampilkan tampilan seperti Gambar 20. Pada kondisi ini, sistem belum melakukan proses pengukuran. Untuk memulai proses pengukuran, *push button* ditekan sekali. Kemudian, layar akan berubah seperti terlihat pada Gambar 21. Begitupun saat menghentikan proses pengukuran, *push button* ditekan sekali lagi dan layar LCD akan kembali seperti Gambar 20.

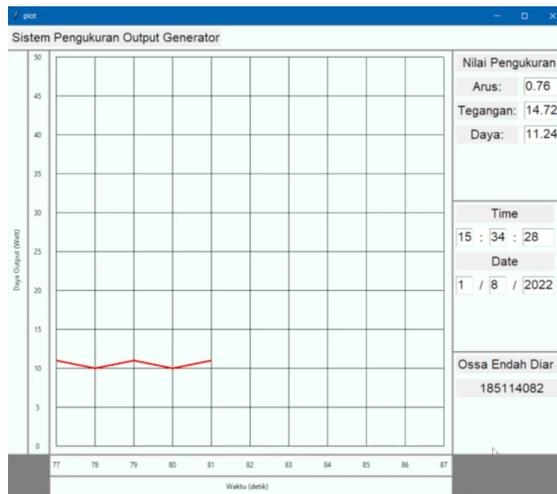


Gambar 20. Tampilan LCD sebelum push button ditekan



Gambar 21. Tampilan LCD saat proses pengukuran

Pada pengujian GUI dilakukan perbandingan antara tampilan GUI dengan tampilan pada LCD. Hasil perbandingan kedua penampil tersebut dapat dilihat pada Gambar 22 - 24. Nilai pengukuran dan grafik yang ditampilkan pada GUI sudah sesuai dengan nilai pengukuran yang ditampilkan pada layar LCD.

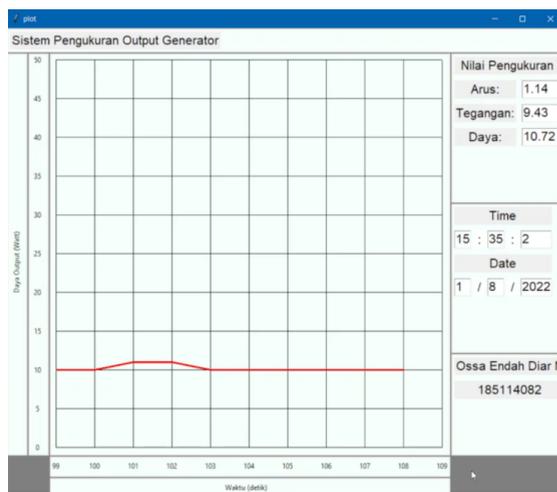


(a)



(b)

Gambar 22. Perbandingan tampilan GUI dan LCD (L=1 dan inverter=7)

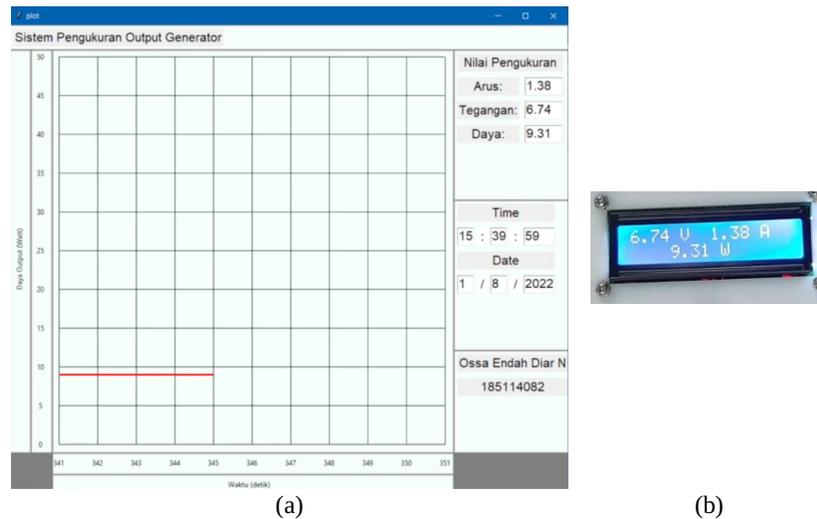


(a)



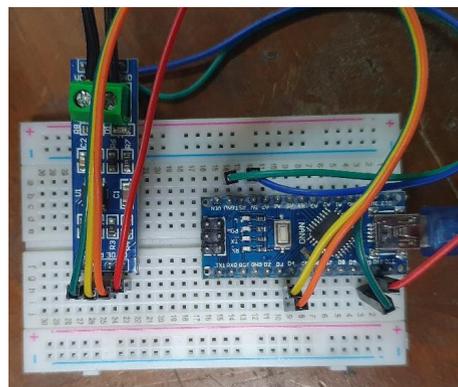
(b)

Gambar 23. Perbandingan tampilan GUI dan LCD (L=2 dan inverter=8)



Gambar 24. Perbandingan tampilan GUI dan LCD (L=3 dan inverter=9)

Komunikasi antara *slave* dan *master* menggunakan komunikasi RS485. Modul RS485 milik *slave* dan *master* saling dihubungkan sesuai dengan pin (pin A dan pin B). Pada pengujian ini, dibuat perangkat *dummy* yang bertindak sebagai *master*. Perangkat *dummy* berupa mikrokontroler Arduino Uno yang sudah terhubung dengan modul RS485. Perangkat *dummy* dapat dilihat pada Gambar 25.

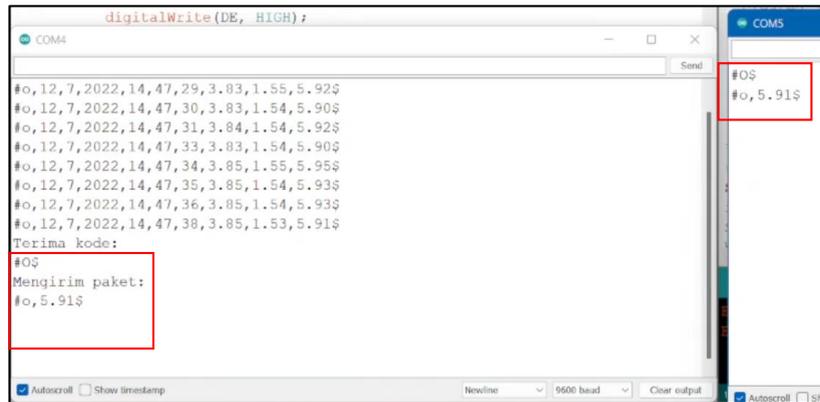


Gambar 25. Perangkat dummy master

Hasil pengujian komunikasi antara *slave* dan *master* dilakukan melalui satu perangkat komputer yang sama dengan menggunakan dua port yang berbeda. Port ‘COM5’ digunakan untuk perangkat *master*, sedangkan perangkat *slave* menggunakan port ‘COM4’. Pada layar komputer dibuka masing-masing program Arduino IDE kedua perangkat, kemudian juga menampilkan kedua serial monitor.

Pada Gambar 26, diketikkan kode #O\$ pada serial monitor COM5 milik *master*. Beberapa saat kemudian *slave* menerima kode dan menampilkan kode tersebut ke serial monitor COM4 milik *slave*. Kode #O\$ memenuhi kondisi,

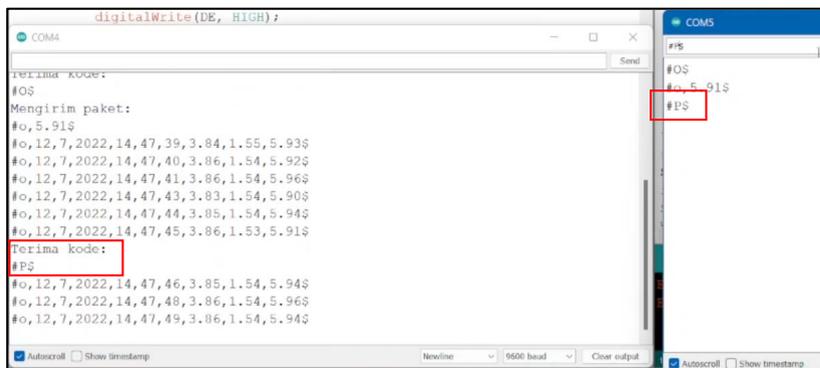
sehingga paket data pengukuran daya output dapat dikirim ke perangkat *master*. Paket data yang diterima *master* akan langsung ditampilkan ke serial monitor.



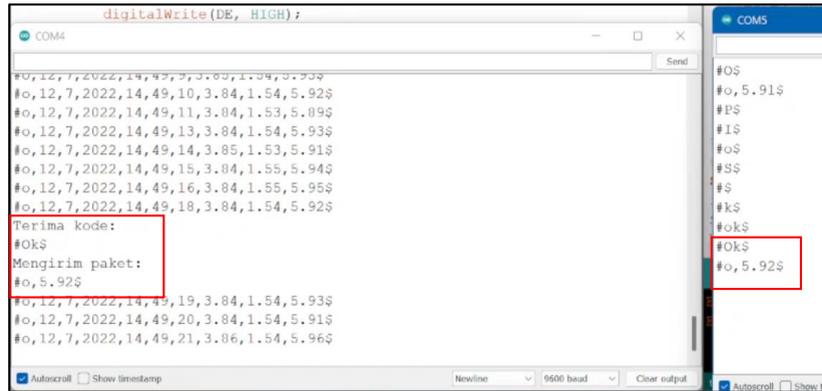
Gambar 26. Pengujian komunikasi RS485 slave dan master

Pada Gambar 27, diketikkan kode #P\$ pada serial monitor COM5 milik *master*. Beberapa saat kemudian *slave* menerima kode dan menampilkannya ke serial monitor COM4 milik *slave*. Kode #P\$ tidak memenuhi kondisi, sehingga paket data tidak dapat dikirim ke perangkat *master*.

Pada Gambar 28, diketikkan kode #Ok\$ pada serial monitor COM5 milik *master*. Beberapa saat kemudian *slave* menerima kode dan menampilkannya ke serial monitor COM4 milik *slave*. Kode #Ok\$ ternyata memenuhi kondisi, sehingga paket data dapat dikirim ke perangkat *master*. Hal ini dikarenakan pada program *slave* bagian identifikasi, pengecekan kondisi hanya melihat karakter kedua saja, yaitu huruf O kapital. Karakter setelahnya tidak dilakukan pengecekan. Sehingga apabila kondisi saat identifikasi terpenuhi, maka program pengiriman data tetap akan berjalan.



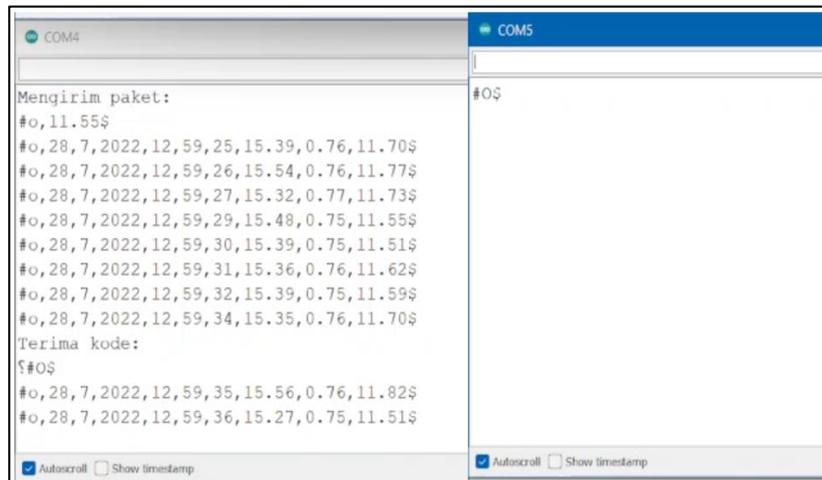
Gambar 27. Pengujian komunikasi RS485 slave dan master



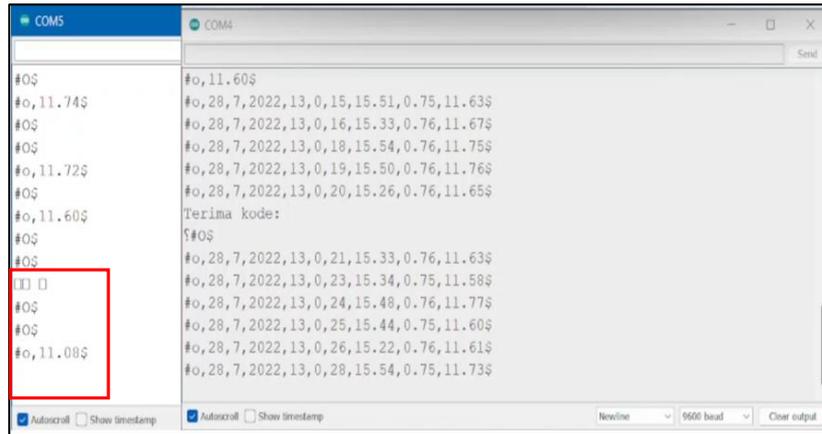
Gambar 28. Pengujian komunikasi RS485 slave dan master

Pada Gambar 29. *master* mengirimkan kode #O\$. Kemudian *slave* menerima kode tersebut. Namun kode yang diterima oleh *slave* terdapat *noise* yang disimbolkan dengan tanda tanya terbalik (?). Adanya *noise* menyebabkan program *slave* tidak dapat mengidentifikasi kode yang diterima sehingga kode dianggap tidak sesuai dengan format dan data tidak dikirim ke master.

Pada Gambar 30 dilakukan pengujian saat kabel usb *slave* tidak dihubungkan dengan computer atau laptop. Kondisi ini ditandai dengan serial monitor pada COM4 tidak lagi menampilkan format pengukuran seperti sebelumnya. *Master* mengirimkan kode #O\$ sesuai dengan kode *slave* yang benar. Pada pengujian ini, serial monitor *master* (COM5) menerima data *noise* yang disimbolkan dengan kotak-kotak. Kemudian kode dikirim ulang dan master tidak menerima data dari *slave*. Kode dikirim kembali untuk ketiga kalinya. Pada percobaan ini data pengukuran dari *slave* berhasil diterima oleh master dan tertampil pada serial monitor COM5.

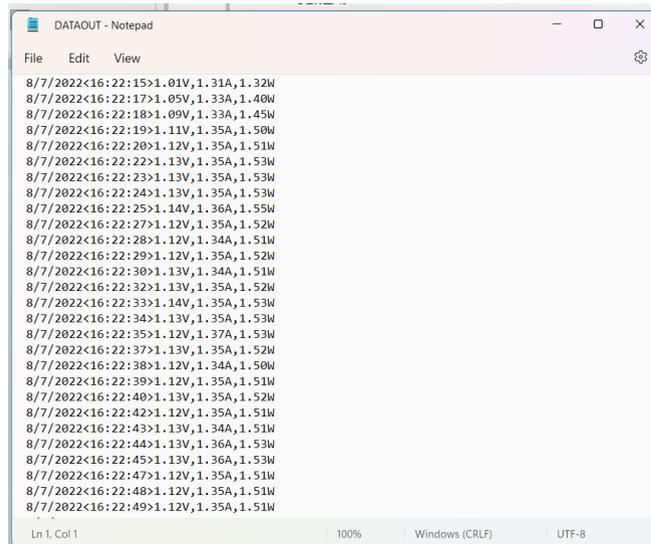


Gambar 29. Pengujian komunikasi RS485 slave dan master



Gambar 30. Pengujian komunikasi RS485 slave dan master

Selama pengujian sistem, data hasil pengukuran disimpan ke dalam kartu memori. Data akan terekam selama sistem menyala. Data hasil pengukuran yang tersimpan dapat diakses melalui komputer. Seluruh data hasil pengujian dicatat ke dalam sebuah file bertipe *text* (.txt) dengan nama ‘DATAOUT’ dan dapat dibuka dengan aplikasi *notepad* pada komputer. Pada Gambar 28 dapat dilihat bahwa data yang tersimpan secara berurutan adalah tanggal, jam, tegangan, arus, dan daya. Data terekam setiap 1 detik, dapat dilihat dari data waktu yang berubah detiknya. Selama pengujian, data yang terekam sebanyak lebih dari 20 ribu baris dengan ukuran file sebesar 803KB.



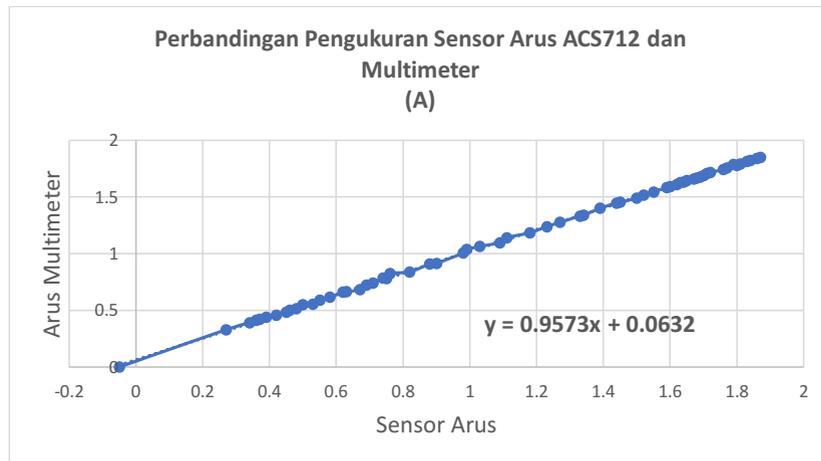
Gambar 31. Hasil penyimpanan data pada kartu memori

Kalibrasi sensor arus dan sensor tegangan

Pengujian sensor ACS712 sebagai sensor arus dilakukan dengan bantuan generator listrik yang digunakan pada penelitian, modul beban lampu, dan multimeter. Modul beban dilengkapi saklar pada masing-masing lampunya untuk mengatur nyala lampu. Multimeter digunakan untuk acuan nilai aktual pengukuran arus.

Tahap pertama dilakukan pengujian sesuai dengan program yang telah dirancang. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik pembacaan sensor arus ACS712. Keluaran generator dihubungkan ke modul beban. Bagian jalur positif diputus untuk menghubungkan sensor, sehingga arus akan melewati sensor ACS712 sebelum masuk menuju beban.

Generator dinyalakan dengan angka indikator pada inverter adalah 3,0 sampai 10,0. lampu dinyalakan sebanyak satu buah. Pengukuran dilakukan setiap kenaikan 1 angka pada indikator inverter untuk setiap 1 buah lampu yang menyala. Seluruh hasil pengukuran dari sensor dan multimeter dicatat ke dalam *excel*. Data diurutkan dari nilai terkecil, kemudian dibandingkan antara pengukuran sensor dengan multimeter ke dalam plot grafik. Dari grafik diambil persamaan linearnya. Grafik dapat dilihat pada Gambar 32. Proses kalibrasi ini diambil jangkauan arus mulai 0A hingga +1,87A.

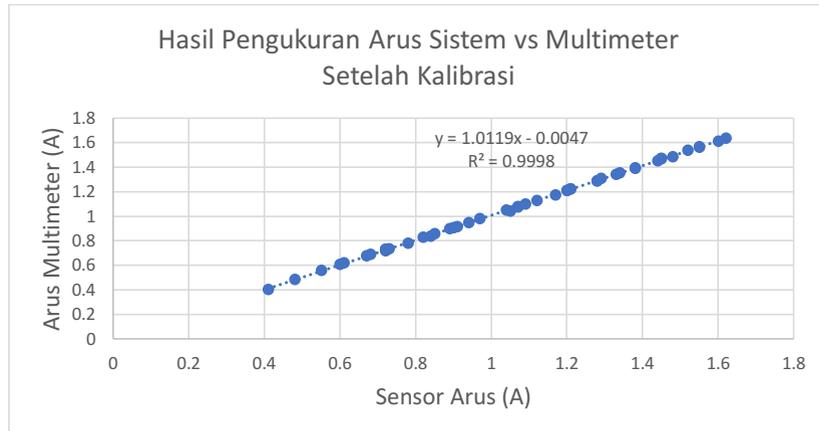


Gambar 32. Grafik kalibrasi sensor arus

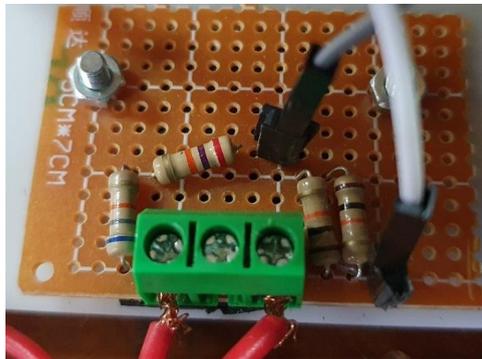
Persamaan linear yang didapat dari grafik, kemudian dituliskan ke dalam program pembacaan arus. Setelah itu, dilakukan pengujian ulang dengan metode yang sama seperti sebelumnya dengan mencatat RPM dari putaran generator. Dari pengujian ulang, hasil pengukuran arus keluaran generator oleh sensor ACS didapat rata-rata galat dibawah 1%. Pada pengujian ini, jangkauan pengukuran arus mulai dari 0A hingga +1,62A Hasil pengujian ditampilkan ke dalam grafik pada Gambar 33.

Rangkaian pembagi tegangan pada sistem diimplementasikan sebagai sensor tegangan. Rangkaian tegangan dibuat dengan 3 buah nilai resistor yang berbeda sesuai dengan perancangan awal. Resistornya adalah 10k ohm sebanyak 2 buah, 27k ohm sebanyak 1 buah, dan 68k ohm sebanyak 1 buah. Resistor 27k ohm dan

68k ohm disusun secara seri. Kedua resistor 10k ohm disusun secara paralel kemudian diserikan dengan resistor sebelumnya. Rangkaian disusun pada papan PCB. Kemudian, diberi pin *female* untuk menghubungkan ke pin analog mikrokontroler. Implementasi rangkaian pembagi tegangan dapat dilihat pada Gambar 34.



Gambar 33. Grafik keluaran arus generator dengan variasi beban



Gambar 34. Implementasi rangkaian pembagi tegangan

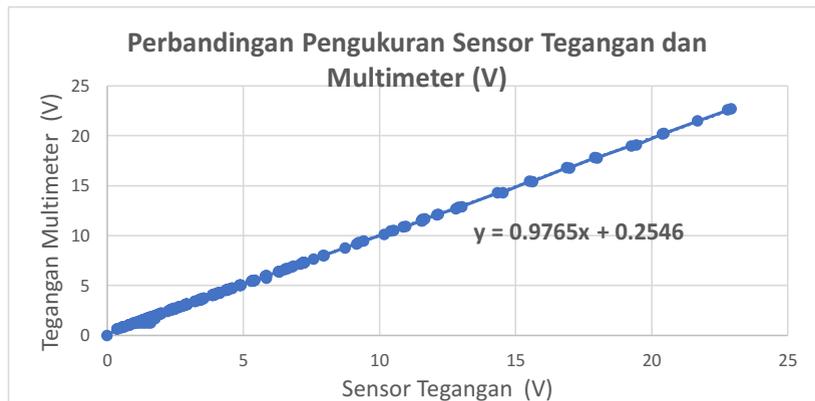
Seperti pengujian sensor arus sebelumnya, pengujian sensor tegangan dilakukan dengan bantuan generator listrik yang digunakan pada penelitian, modul beban lampu yang dilengkapi dengan saklar, dan multimeter sebagai acuan nilai aktual pengukuran tegangan.

Tahap pertama dilakukan pengujian sesuai dengan program yang telah dirancang. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik pembacaan sensor tegangan. Keluaran generator dihubungkan ke modul beban. Sensor tegangan dihubungkan secara paralel ke beban sesuai dengan kutubnya.

Pada pengujian ini, inverter generator juga diset mulai angka 3.0 hingga 10.0. Mula-mula beban lampu tidak dinyalakan satupun atau pengujian tanpa beban. Hasilnya dicatat untuk dibandingkan antara hasil pengukuran sensor dengan hasil

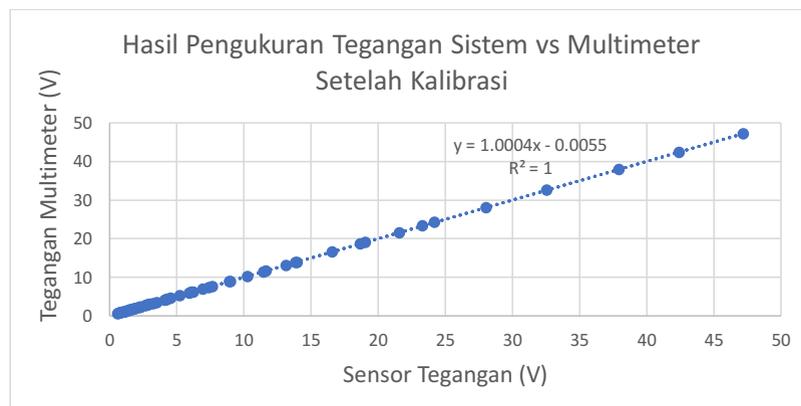
pengukuran multimeter. Kemudian, diulang kembali mulai 3.0 pada inverter dengan satu beban lampu yang menyala dan seterusnya. Seluruh hasil pengukuran dari sensor dan multimeter dicatat ke dalam *excel*. Data diurutkan dari nilai terkecil, kemudian dibandingkan antara pengukuran sensor dengan multimeter ke dalam plot grafik. Dari grafik diambil persamaan linearnya. Grafik dapat dilihat pada Gambar 35. Hasil kalibrasi ini didapat jangkauan nilai pengukuran mulai 0V hingga +22,8V.

Persamaan linear yang didapat dari grafik, kemudian dituliskan ke dalam program pembacaan tegangan. Setelah itu, dilakukan pengujian ulang dengan metode yang sama seperti sebelumnya dengan mencatat RPM dari putaran generator. Setelah dilakukan kalibrasi, nilai pengukuran tegangan yang tertampil adalah 0.26V saat tidak ada tegangan. Maka, dibuat penyesuaian program agar nilai yang tertampil adalah 0V. Hasil pengujian tertampil dalam tabel terlampir.



Gambar 35. Grafik kalibrasi sensor tegangan

Dari pengujian ulang, hasil pengukuran tegangan keluaran generator oleh rangkaian pembagi tegangan didapat rata-rata galat dibawah 1%. Hasil pengujian ditampilkan ke dalam grafik pada Gambar 36.



Gambar 36. Grafik keluaran tegangan generator dengan variasi beban

Kesimpulan

Keseluruhan sistem sudah dapat melakukan pengukuran daya keluaran generator dengan menggunakan sensor arus dan sensor tegangan. Hasil pengujian sensor arus didapat bahwa sensor mampu mengukur arus keluaran generator yang telah disearahkan dengan jangkauan yang didapat mulai 0A hingga 1.75A dengan rata-rata galat 2.79%. Sensor tegangan mampu mengukur tegangan dengan jangkauan 0V hingga 60,55V dengan rata-rata galat 6,55%. Pada pengukuran diperoleh daya keluaran generator dengan rata-rata galat sebesar 10,9%. Sistem dapat menampilkan plot grafik dari pengukuran daya keluaran generator secara visual melalui jendela GUI. Sistem telah berhasil melakukan komunikasi antara *slave* dan *master* dalam pengiriman data melalui RS485 dengan identifikasi kode.

Daftar Pustaka

- Allegro. (2022, Februari 7). ACS712. Manchester, New Hampshire, USA: Allegro . Retrieved April 19, 2022, from <https://www.allegromicro.com/>
- Dalimi. (2001). *Energy Outlook & Statistic*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Hayt, W. H., & Durbin, J. E. (2005). *Rangkaian Listrik Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Hidayat, S. (2017). *Perancangan Proteksi dan Monitoring Generator Sinkron Tiga Fase Berbasis Arduino Mega 2560*. Fakultas Teknik. Mataram: Universitas Mataram.
- Iskandarianto, F. A. (2020). Rancang Bangun Sistem Monitoring Tegangan, Arus, dan Frekuensi Keluaran Generator 3 Fasa pada Modul Mini Power Plant Departemen Teknik Instrumentasi. *Jurnal AMORI*, 1(2), 9-14.
- Ponto, H. (2018). *Dasar Teknik Listrik*. Yogyakarta: Deepublish.