

MONITORING ARUS, TEGANGAN, DAN SUHU PADA *PROTOTYPE THERMOELECTRIC GENERATOR* BERBASIS IoT

Habib Wildan Fahruri

D3 Teknik Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
habib.17050413008@mhs.unesa.ac.id

Widi Aribowo, Mahendra Widyartono, Aditya Chandra Hermawan

D3 Teknik Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
widiaribowo@unesa.ac.id, mahendrawidyartono@unesa.ac.id, adityahermawan@unesa.ac.id

Abstrak

Monitoring salah satu teknologi maju yang bertujuan untuk meningkatkan keandalan, kualitas, efisiensi operasi, efisiensi pengiriman tenaga dan mengurangi biaya operasi secara signifikan. Tujuan penelitian pada alat monitoring ini untuk membaca data dari nilai arus, tegangan, dan suhu pada *thermoelectric generator* sebagai pembangkit energi listrik. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan observasi serta membuat dan melaksanakan percobaan alat secara langsung untuk memperoleh data yang dihasilkan alat yang dibuat. Penelitian ini menggunakan 11 buah *thermoelectric generator* tipe TEG1-199-1-4-0,5. Sistem kerja monitoring ini dengan sensor arus, tegangan, dan suhu memberi masukan ke arduino untuk mengolah data. Data dari sensor diolah arduino, hasil data yang diperoleh sensor akan ditampilkan di LCD 20x4 dan mengirimkannya data dengan modul GSM SIM800L ke telepon seluler dengan SMS sehingga pengguna dapat mengontrol pemakaian energi listrik secara tepat dan cepat. Hasil dari *output* rata-rata arus dan tegangan sensor 56.21 A dan 3.3 V, nilai rata-rata perbedaan suhu 50.65°C yang terjadi pada pukul 12.00-13.00 WIB. Dapat disimpulkan bahwa *thermoelectric generator* bisa digunakan sebagai pembangkit energi listrik alternatif dengan memanfaatkan panas matahari.

Kata kunci : TEG, Sensor Arus ACS710, Sensor Tegangan DC, Sensor Suhu DS18B20, Modul SIM800L

Abstract

Monitoring is one of the advanced technologies that aim to improve reliability, quality, operating efficiency, energy delivery efficiency and significantly reduce operating costs. The purpose of research on this monitoring tool is to read data from the value of current, voltage, and temperature in a thermoelectric generator as an electrical energy generator. The method used is a quantitative method by observing and making and conducting direct tool experiments to obtain the data produced by the tools made. . This study used 11 thermoelectric generators of type TEG1-199-1-4-0,5. This monitoring work system with current, voltage and temperature sensors provides input to Arduino to process data. The data from the sensor is processed by Arduino, the results of the data obtained by the sensor will be displayed on the 20x4 LCD and send data with the GSM SIM800L module to the cell phone by SMS so that users can control the use of electrical energy precisely and quickly. The results of the average output current and sensor voltage are 56.21 A and 3.3 V, the average temperature difference is 50.65°C that occurs at 12.00-13.00 WIB. It can be concluded that the thermoelectric generator can be used as an alternative electric energy generator by utilizing solar heat.

Keywords: TEG, ACS710 Current Sensor, DC Voltage Sensor, DS18B20 Temperature Sensor, SIM800L Module

PENDAHULUAN

Laju pertumbuhan penduduk di dunia, hari ini menunjukkan bahwa kebutuhan energi cenderung meningkat. Energi listrik dalam kehidupan sehari-hari merupakan kebutuhan energi yang dibutuhkan manusia. Industri banyak yang mengembangkan potensi energi listrik. Pengembangan energi alternatif pembangkit listrik yang telah diproduksi seperti *thermoelectric generator*, yang mampu mengkonversi dari panas matahari menjadi

energi listrik. *Thermoelectric generator* ini kedepannya dapat meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan khususnya energi panas yang dikonversi menjadi sumber energi listrik. Sebagai pembangkit energi listrik ini dapat bermanfaat dan menjadi sumber energi listrik yang dimanfaatkan secara luas (Hafidh, 2016:2)

Penelitian yang dilakukan oleh (Z.B Tang, 2015:1) tentang "*A research on thermoelectric generator's electrical performance under temperature mismatch*

condition for automotive waste heat recovery system". Penelitian ini, membahas *thermoelectric generator (TEG)* dengan mengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Modul *thermoelectric* dapat dioperasikan dalam kondisi perbedaan suhu diantara kedua sisinya.

Penelitian juga dilakukan oleh (Arrochman, 2019:1). Tentang "Pembuatan sumber energi listrik konversi panas api". Pada penelitian ini pemanas api berfungsi memanaskan plat dengan api kemudian panas akan diserap oleh *thermoelectric* pada sisi *hottside*. *Effect seebeck* akan menghasilkan daya listrik dengan menerima dan membuang panas pada *thermoelectric*.

Penelitian ini membuat alat monitoring arus, tegangan, dan suhu pada *prototype thermoelectric generator* sebagai pembangkit energi listrik. Tujuan dibuatnya alat ini adalah untuk meningkatkan penggunaan energi alternatif yang ramah lingkungan dan untuk membaca serta memantau nilai arus, tegangan, dan suhu pada *thermoelectric generator*. Alat monitoring ini dilengkapi dengan sensor arus, tegangan dan suhu yang dikontrol dan dikendalikan oleh mikrokontroler.

Untuk memudahkan memonitoring alat ini juga menggunakan *internet of things (IoT)*. konsep dari *IoT* mempunyai kemampuan untuk mengirim data secara otomatis melalui jaringan, meningkatkan kualitas alat kerja dan mampu memantau alat yang dibuat dari jarak jauh (Rohman, 2016:2). *IoT* yang digunakan yaitu sms gateway dengan modul GSM SIM800L. Modul ini dijalankan dengan perintah *AT Command* (Roziq, 2019:4)

Oleh karena itu, alat monitoring arus, tegangan dan suhu pada *prototype thermoelectric generator* berbasis *IoT*, dengan adanya *IoT* ini dapat mempermudah pengguna untuk mengetahui, membaca dan mengontrol dari besaran nilai arus, tagangan dan suhu pada *prototype thermoelectric generator* sebagai pembangkit energi listrik

KAJIAN PUSTAKA

Thermoelectric Generator (TEG)

Thermoelectric Generator (TEG) didasarkan pada efek *Seebeck*. Efek ini ditemukan pada tahun 1821 oleh *Thomas Johann Seebeck*, bahwa tegangan yang dihasilkan sama dengan perbedaan temperatur dan bergantung pada tipe bahan konduktor, tetapi tidak terpengaruh persebaran temperatur sepanjang konduktor. *Seebeck* menguji berbagai bahan, termasuk semikonduktor yang ditemukan secara alami yaitu *ZnSb* dan *PbS*. Koefisien *seebeck* (sering kali diukur dalam $\mu\text{V/K}$) didefinisikan sebagai tegangan buka rangkaian yang dihasilkan antara dua sisi konduktor (Pradana, 2019:2). Spesifikasi modul termoelektrik TEG1-199-1.4-0,5 yang dipergunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi *Thermoelectric Generator (TEG)*

Spesifikasi	Keterangan
<i>Size</i>	44x40x3 (mm)
<i>Open Circuit Voltage</i>	11,1 V
<i>Matched Load Resistance</i>	3,07 Ω
<i>Matched Load Voltage</i>	5,6 V
<i>Output Current</i>	1,8 A
<i>Output Power</i>	10 Watt
<i>Matched Load Voltage (60°C)</i>	2,4 V
<i>Output Current (60°C)</i>	0,46 A
<i>Matched Load Voltage (80°C)</i>	3,6 V
<i>Output Current (80°C)</i>	0,55 A

Prinsip Kerja *Thermoelectric Generator (TEG)*

Termoelektrik adalah teknologi *solid state*, pada termoelektrik ini tidak ada bagian yang bergerak maupun fluida yang mengalir dan relatif ramah lingkungan. Modul *thermoelectric generator* banyak aplikasi yang digunakan sebagai pendinginan *thermoelectric*. Alat ini berfungsi untuk pembangkit energi listrik dengan menggunakan efek *seebeck* (Pradana, 2019:2). Selisih temperatur pada kedua sisi panas (*hottside*) *thermoelectric* dan pada sisi yang dingin (*coldside*) *thermoelectric* dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut :

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (1)$$

Keterangan :

T_h = Temperatur panas ($^{\circ}\text{C}$)

T_c = Temperatur dingin ($^{\circ}\text{C}$)

ΔT = Perbedaan Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Daya yang diperoleh dan dihasilkan dari *thermoelectric generator (TEG)* dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut :

$$P = V \times I \quad (2)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Arduino Uno

Arduino Uno merupakan sebuah board yang menggunakan At-mega 328. Arduino mempunyai 14 pin digital 6 diantaranya bisa digunakan untuk output PWM, 6 input analog, 16 MHz osilato kristal, koneksi USB, konektor tegangan, sebuah header ICSP, dan tombol reset yang ditunjukkan pada Gambar 1 (Basith, 2017:2).

Arduino dapat memuat segala hal yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler Arduino dapat dihubungkan ke komputer melalui koneksi USB atau dengan sumber tegangan DC dari *battery* maupun adaptor AC ke DC bisa untuk kerja mikrokontroler arduino. Arduino At-mega16U2 dapat diprogram untuk USB to serial *converter* untuk komunikasi serial ke komputer melalui koneksi USB.

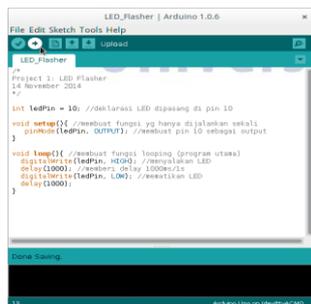


Gambar 1. Arduino Uno
(Sumber : Basith, 2017)

Spesifikasi Mikrokontroler Arduino UNO atmega adalah tegangan operasi 5 V, tegangan *input* 7-12 V, tegangan *limit* 6-20 V, pin digital I/O 14 (6 PWM), [in analog input 6, arus DC per pin I/O 40 mA, arus DC pin 3.3 V 150 mA, *flash memory* 32 KB, *EEPROM* 1 KB, kecepatan peawatan 16 Mhz

IDE Arduino

IDE adalah *integrated development environment*, secara bahasa merupakan software yang terintegrasi untuk melaksanakan pengembangan. Arduino menggunakan bahasa pemrograman bahasa C. Bahasa pemrograman arduino sudah beberapa kali dilakukan perubahan untuk memudahkan pengguna dalam melakukan pemrograman dari bahasa aslinya. Pada arduino sudah ditanamkan program yang bernama *Bootlader* yang berfungsi untuk penengah antara *compiler* arduino dengan mikrokontroler (Basith, 2017:2)..



Gambar 2. IDE Arduino
(Sumber : Basith, 2017)

Sensor Arus ACS712

Sensor ACS712 merupakan sensor arus bekerja berdasarkan efek medan. ACS712 bisa digunakan untuk

mengukur arus DC maupun arus AC. Sensor ACS712 dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga untuk sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus kecil (Adam, 2019:3). Sensor dapat diaplikasikan pada bidang industri, komunikasi dan komersial yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sensor Arus ACS712
(Sumber : Adam, 2019)

Adapun spesifikasi sensor ACS712 adalah :

1. Berbasis ACS712 dengan fitur :
2. Waktu kenaikan perubahan = 5 μ s. Frekuensi 80 KHz, error ACS712 1.5 % kerja pada suhu 25°C. Resistansi konduktor 1.2 m Ω . Tegangan isolasi 2.1 KVRMS antara pin 1- 4 dan pin 5-8 . Sensitivitas 185 mV/A. ASC712 dapat mengukur arus DC atau AC hingga 5 A.
3. Tegangan kerja 5 VDC
4. Dilengkapu dengan operasional untuk menambah sensitivitas.

Sensor Tegangan DC

Tegangan DC diukur dan dibaca dengan sensor tegangan DC. Sensor tegangan ini bekerja di dasarnya pada prinsip resistansi dan tegangan input pada sensor ini dapat berkurang hingga 5 kali dari tegangan asli (Adam, 2019:3).



Gambar 4. Sensor Tegangan DC
(Sumber : Adam, 2019)

Dari Gambar 4 sensor tegangan DC mempunyai spesifikasi input tegangan DC 0-25V, jangkauan tegangan DC 0.02445-25V, tegangan analog 0.00489V dan tegangan input DC pin positif dengan VCC, Negatif dengan GND.

LCD (*Liquid Cristal Display*)

LCD (*Liquid Cristal Display*) merupakan display elektronik dibuat dengan teknologi *CMOS* logic dengan tidak menghasilkan cahaya akan tetapi

dengan memantulkan cahaya yang disekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD digunakan untuk menampilkan data dalam bentuk huruf, karakter, grafik maupun angka (Mawali, 2019:3).



Gambar 5. LCD 20x4
(Sumber : Mawali, 2019)

Dari Gambar 5 LCD (*liquid Crystal Display*) 20x4 memiliki 16 buah pin data yang digunakan hanya 10 pin diantaranya VSS, VDD, VEE, D4, D5, D6, D7, RS, RW, dan E. Konfigurasi LCD ke arduino dengan soket RS = pin 7, RW = pin GND, E = pin 6, D4 = pin 5, D5 = pin 4, dan D7 = pin 2.

Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 tidak memerlukan rangkaian ADC karena sudah mempunyai output digital, dibandingkan dengan sensor LM35 sensor suhu DS18B20 mempunyai kestabilan lebih baik dari hal kecepatan untul pengukuran dan akurasi nilai suhu (Irfan, 2017:3). Protokol 1 *wire communication* digunakan untuk pembacaan sensor DS18B20. Sensor ini memiliki 3 pin yaitu +5 V, GND, dan data I/O. Sensor DS18B20 membutuhkan 1 pin *input/output* untuk bekerja dengan arduino sehingga membuat sensor ini lebih praktis ditunjukkan pada Gambar 6. Kemampuan untuk mengukur sensor suhu ini memiliki kemampuan antara -55 derajat celcius sampai 125 derajat celcius dan bekerja secara akurat dengan error 0.5 derajat celcius kisaran -10 derajat celcius sampai 85 derajat celcius. Tidak memerlukan listrik eksternal karena daya yang digunakan bisa langsung dari data *line*.



Gambar 6. Sensor Suhu DS18B20
(Sumber : Basith, 2017)

Modul GSM SIM800L

Modul GSM SIM800L merupakan modul SMT yang ditanamkan diaplikasi pengguna dengan solusi pita ganda GSM/GPRS. Dengan standar industri, modul GSM SIM800l akan memberi performa dengan GSM /GPRS

900 / 1800 MHz.untuk suara, sms, data, dan faks dengan konsumsi daya rendah dan dalam faktor bentuk kecil (Fitriandi, 2016:5). Modul GSM SIM 800L ini memiliki ukuran yang kecil yaitu 24 mm x 24 mm x 3 mm. Modul GSM SIM800l ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. SIM800L
(Sumber : Fitriandi, 2016)

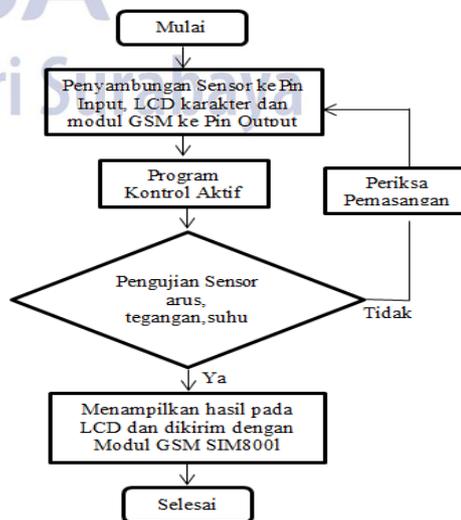
Modul GSM SIM800L mempunyai 4 jaringan pita 850 / 900 / 1800 / 1900 / MHz, kecepatan data 85,6 Kbps, tegangan kerja 3,4 sampai 4,3 V dan mempunyai temperatur kerja -40°C sampai 85°C.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen atau percobaan. Metode ini merupakan suatu keharusan dalam bidang keilmuan untuk melakukan suatu perkembangan ilmu pengetahuan maupun teknologi yang bisa dimanfaatkan dan dipelajari oleh masyarakat secara aman dan terpecaya. Dalam pembelajaran melibatkan siswa ataupun mahasiswa untuk membuktikan hasil dari percobaan. Pada metode penelitian ini meliputi, sebagai perancangan pembuatan *hardware* dan perancangan pembuatan *software*.

Perancangan Pembuatan Hardware

Diagram line pada perancangan pembuatan *hardware* ditunjukkan pada Gambar 8.

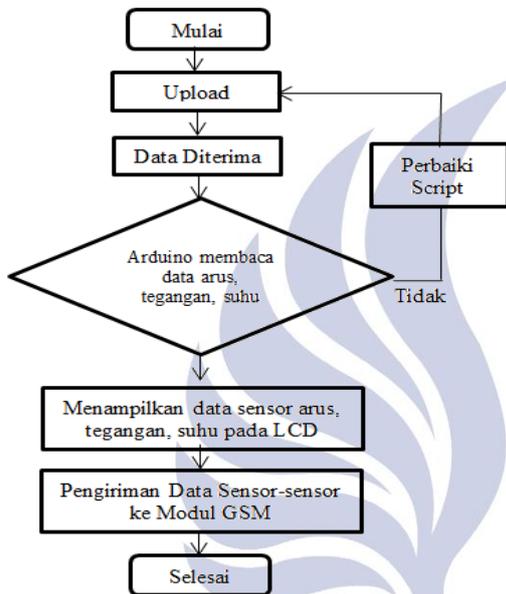


Gambar 8. Flowchart Hardware

Pembuatan perangkat keras (*hardware*) melalui beberapa tahapan yaitu penyambungan sensor-sensor yang digunakan ke pin *input* dan *output*, pengujian sensor arus, tegangan dan suhu yang telah dihubungkan ke arduino uno dan menampilkan hasil pada LCD karakter 20x4 serta menguji pengiriman data menggunakan modul GSM SIM800L.

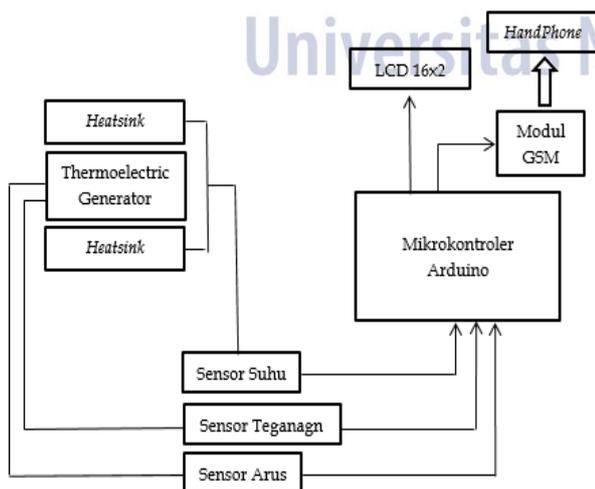
Perancangan Pembuatan Software

Diagram line pada perancangan pembuatan *software* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. *Flowchart Software*

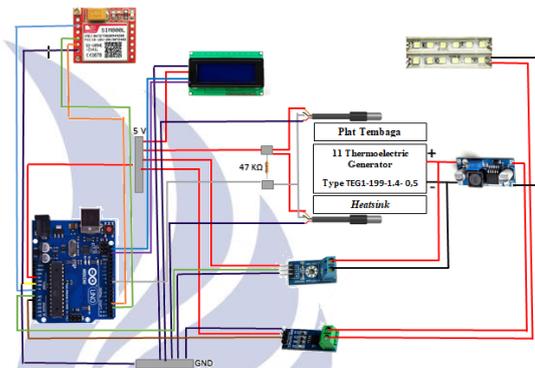
Pembuatan *software* kerja yang dilakukan pada arduino uno yaitu pembuatan program/*coding* untuk pembacaan sensor arus, tegangan dan suhu, menampilkan hasil data sensor arus, tegangan dan suhu pada LCD 20x4 dan pembuatan program/*coding* untuk pengiriman sensor arus, tegangan, dan suhu melalui modul GSM SIM800L.



Gambar 10. *Diagram Blok Software*

Dari Gambar 10 secara garis besar prinsip kerja sistem ini berdasarkan blok diagram dapat dijelaskan yaitu Sensor arus, sensor tegangan dan sensor suhu memberi masukan ke arduino uno yang menghasilkan data, arduino mengolah data yang diterima dari sensor-sensor tersebut dan kemudian data yang sudah diolah ditampilkan ke LCD dan dikirim ke penerima lewat SMS dengan cara *request* data.

Setelah itu langkah berikutnya melakukan perakitan dan pengkabelan komponen untuk rangkaian elektrik yang digunakan untuk memonitoring arus, tegangan dan suhu yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. *Rangkaian pada alat Monitoring*

Alat dan Bahan

Alat dan bahan untuk monitoring arus, tegangan dan suhu pada *prototype thermoelectric generator* berbasis IoT adalah sebagai berikut.

Alat : Solder, obeng (+)(-), mesin bor, kabel, gunting, *thermal pasta*, akrilik, mur, dan baut.

Bahan : Arduino uno, sensor arus ACS710, sensor tegangan DC, sensor suhu DS18B20, LCD 20x4, modul GSM SIM800L, DC *step up* xl6009, *thermoelectric generator*, lampu LED rohs, dan Lensa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Definisi Operasional Alat

Ada beberapa hal yang berkaitan dengan pembuatan alat, mulai dari diagram blok, konstruksi alat dan tata letak komponen. Hasil dari rancangan alat monitoring arus, tegangan, dan suhu pada *prototype thermoelectric generator* berbasis IoT ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. *Hasil Rancangan Alat*

Perangkat *prototype* pembangkit energi listrik memanfaatkan energi panas matahari menggunakan *thermoelectric generator (TEG)*. Alat ini menggunakan 11 *thermoelectric generator (TEG)* dengan *type* TEG1-195-1,4-0,5 disusun secara seri. Rangkaian seri ini dapat meningkatkan hasil dari tegangan *thermoelectric generator (TEG)*. Diawali dengan 4 lensa cembung memfokuskan cahaya matahari, cahaya ini difokuskan langsung ke plat tembaga agar panas yang dihasilkan dapat maksimal untuk *thermoelectricity*. Panas yang diterima plat tembaga diserap oleh bagian *thermoelectric* yang berfungsi untuk menerima panas. Sedangkan bagian *thermoelectric* yang berfungsi menerima dingin berada di atas *heatsink*. Setengah bagian dari *heatsink* berada didalam wadah yang berisi air es. Air es ini berfungsi untuk menetralkan atau menurunkan suhu pada *heatsink*. Suhu pada plat tembaga dan suhu pada *heatsink* akan dibaca oleh sensor suhu DS18B20. Sensor suhu ini memberi masukan ke arduino untuk diolah dan diproses. Setelah arduino uno selesai memproses data yang masuk, arduino akan mengirimkan hasil data pada LCD. Kemudian LCD akan menampilkan hasil data dengan karakter huruf dan angka “ Suhu1 = 00.00°C “ untuk pembacaan suhu pada *heatsink* dan “ Suhu2 = 00.00°C” untuk pembacaan suhu pada plat tembaga.

Pada *thermoelectric generator (TEG)* selisih perbedaan suhu dari kedua sisi akan dikonversikan menjadi listrik. Daya listrik yang dihasilkan oleh *output* dari *thermoelectric generator (TEG)* berupa arus dan tegangan. Sensor tegangan DC akan membaca tegangan yang dihasilkan oleh *thermoelectric*. Tegangan dari *thermoelectric* kemudian di *step up* kan dengan menggunakan modul DC *step up* xl6009, setelah tegangan di *step up* sensor arus akan mendeteksi arus yang melewati ke beban. Sensor arus ACS712 dan sensor tegangan DC akan memberi masukan ke mikrokontroler arduino uno. Arduino memproses hasil data dari arus dan tegangan. Hasil data yang diproses akan ditampilkan pada LCD dengan kode karakter huruf dan angka ” Tegangan = 00.00 V “ dan Arus = 00.00 mA “.

Modul GSM yang digunakan yaitu SIM800L pada penelitian ini. Modul ini bagian dari fungsi untuk mengetahui dan monitoring hasil dari hasil pengukuran. SIM800L dikendalikan melalui perintah *AT Command*. Sistem kerja pada alat monitoring arus, tegangan dan suhu pada *Prototype thermoelectric generator* yaitu sensor arus, tegangan dan suhu akan memberi masukan ke arduino untuk diproses dan diolah hasil data pengukurannya. Kemudian peneliti memberikan *request* dengan dikirim lewat SMS dari HP ke SIM800L, modul SIM800L akan memproses permintaan yang telah dikirimkan. Setelah itu SIM800L akan mengirim balik

hasil data pengukuran dari sensor arus, tegangan, dan suhu ke peneliti.

Pengujian Alat

Sensor Arus ACS710

Sensor ACS710 untuk mengetahui hasil *output* arus dari *thermoelectric generator*. Sensor ini dipasang seri pada *output DC step up* yang akan mengukur arus beban yang mengalir. ACS712 ini mampu membaca arus mencapai 5 A. Hasil pembacaan arus ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pembacaan Arus

Hari	Interval waktu (WIB)	Arus sensor (mA)	Arus multimeter (mA)	Error (%)
1	08.00-09.00	25.7	20.3	26.6
	12.00-13.00	57.95	53.54	8.2
	15.00-16.00	11.8	7.8	51.2
2	08.00-09.00	23.03	18.42	25.2
	12.00-13.00	54.56	50.03	9
	15.00-16.00	12.1	8.42	43.7
3	08.00-09.00	22.5	18.1	24.3
	12.00-13.00	55.7	51.23	8.7
	15.00-16.00	10.2	6.92	47.4
4	08.00-09.00	24.6	19.6	25.5
	12.00-13.00	58.3	54.22	7.5
	15.00-16.00	12.5	8.4	48.8
5	08.00-09.00	23.5	17.5	34.2
	12.00-13.00	53.8	48.65	10.5
	15.00-16.00	11.9	8.47	49.4
6	08.00-09.00	25.2	21.84	15.3
	12.00-13.00	59.6	54.2	9.9
	15.00-16.00	12.9	9.42	36.9
7	08.00-09.00	23.78	17.82	33.4
	12.00-13.00	53.6	44.7	19.9
	15.00-16.00	11.7	7.12	64.3

Dari Tabel 2 Pengujian dilakukan selama 7 hari waktu pengujian antara pukul 08.00-09.00, 12.00-13.00, dan 15.00-16.00. Rata-rata nilai arus tertinggi terjadi pada pukul 12.00 – 13.00 WIB, arus sensor 56.21 mA dan arus dengan multimeter 50.93 mA. Nilai arus *error* saat dilakukan pengujian, didapatkan total rata-rata *error* arus sebesar 10.5 %. Dengan arus sensor dikurangi arus multimeter dibagi dengan arus multimeter dan dikali dengan 100 %.

Sensor Tegangan DC

Sensor tegangan DC untuk membaca *output* tegangan dari *thermoelectric generator*. Sensor tegangan ini mampu mengukur tegangan maksimal 25 volt. Sensor ini dipasang secara paralel pada *output* tegangan *thermoelectric*. Hasil pembacaan tegangan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pembacaan Tegangan

Hari	Interval Waktu (WIB)	Tegangan sensor (V)	Tegangan multimeter (V)	Error (%)
1	08.00-09.00	1.75	1.43	22.3
	12.00-13.00	3.36	3.12	7.6
	15.00-16.00	1.03	0.98	5.1
2	08.00-09.00	1.63	1.38	18.1
	12.00-13.00	3.21	3.08	4.2
	15.00-16.00	1.07	0.94	13.8
3	08.00-09.00	1.54	1.28	20.3
	12.00-13.00	3.3	3.15	4.7
	15.00-16.00	0.95	0.72	31.9
4	08.00-09.00	1.63	1.24	31.4
	12.00-13.00	3.38	3.02	11.9
	15.00-16.00	1.12	1.02	9.8
5	08.00-09.00	1.59	1.28	24.2
	12.00-13.00	3.25	3.09	5.1
	15.00-16.00	1.02	0.85	20
6	08.00-09.00	1.78	1.28	39.7
	12.00-13.00	3.4	3.25	4.6
	15.00-16.00	1.22	1.15	6.9
7	08.00-09.00	1.72	1.35	27.4
	12.00-13.00	3.2	3.08	3.8
	15.00-16.00	0.98	0.75	30.6

Tabel 4. Hasil Pembacaan Suhu

Hari	Interval Waktu (WIB)	T1 (°C) Heatsink	T2 (°C) Plat Tembaga	ΔT (°C)
1	08.00-09.00	5	45	40
	12.00-13.00	5	56	51
	15.00-16.00	7	34	27
2	08.00-09.00	6.3	43.7	36.7
	12.00-13.00	6.3	54.3	48
	15.00-16.00	7.9	35.1	27.2
3	08.00-09.00	5.5	40.2	34.7
	12.00-13.00	6.5	57.2	50.8
	15.00-16.00	7.1	32.7	25.6
4	08.00-09.00	6.1	45.3	39.2
	12.00-13.00	6.9	59.2	52.3
	15.00-16.00	8.2	35.7	27.5
5	08.00-09.00	5.9	42.8	36.9
	12.00-13.00	6.4	55.3	48.9
	15.00-16.00	7.5	33.2	25.7
6	08.00-09.00	6.2	45.3	39.1
	12.00-13.00	5.1	58.7	53.6
	15.00-16.00	7.8	35.2	27.4
7	08.00-09.00	5.9	43.1	37.2
	12.00-13.00	6.2	56.2	50
	15.00-16.00	7.8	32.5	25.7

Dari Tabel 3 Pengujian dilakukan selama 7 hari waktu pengujian antara pukul 08.00-09.00, 12.00-13.00, dan 15.00-16.00. Rata-rata nilai tegangan tertinggi terjadi pada pukul 12.00-13.00 WIB, tegangan sensor 3.3 V dan tegangan pada multimeter 3.11 V. Nilai tegangan

error saat dilakukan pengujian, didapatkan total rata-rata *error* tegangan sebesar 5.9 %. Dengan tegangan sensor dikurangi tegangan multimeter dibagi dengan tegangan multimeter dan dikali dengan 100 %.

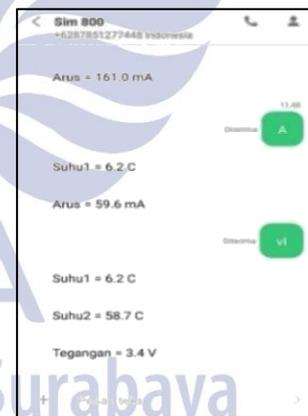
Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 digunakan untuk mengetahui perbedaan suhu pada *thermoelectric generator*. Pengujian ini menggunakan 2 sensor suhu. Sensor suhu 1 dipasang pada *heatsink* dan sensor suhu 2 dipasang pada plat tembaga. Hasil pembacaan suhu DS18B20 ditunjukkan pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 nilai suhu saat dilakukan pengujian didapatkan total rata-rata suhu tertinggi pada pukul 12.00-13.00 WIB selama 7 hari pada suhu *heatsink* 6.05°C dan suhu plat tembaga 56.7°C. Rata-rata perbedaan suhu tertinggi sebesar 50.65°C pada pukul 12.00-13.00 WIB.

Pengujian Modul GSM SIM800L

Modul GSM SIM800L mampu bekerja secara maksimal, ketika modul SIM800L dirangkai dengan komponen lainnya. Mampu atau tidaknya modul SIM800L pada frekuensi yang telah ditentukan untuk pengiriman hasil monitoring arus, tegangan dan suhu lewat SMS yang dikendalikan oleh perintah *AT Command* dan *SIMCOM*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 13.

**Gambar 13. Pegujian Modul SIM800L**

PENUTUP

Simpulan

Monitoring arus, tegangan, dan suhu pada *prototype thermoelectric generator* berbasis IoT adalah pembangkit energi listrik yang memanfaatkan panas matahari, *prototype* ini dilengkapi sistem monitoring yang terdiri sensor arus ACS712, sensor tegangan DC, sensor suhu, LCD 20x4 dan juga modul GSM SIM800L. Berdasarkan hasil pembahasan dan pengujian alat dapat diimplementasikan untuk menginformasikan hasil

pembacaan dari pengukuran arus, tegangan, dan suhu pada *thermoelectric generator*.

Pada pusat kontrol alat ini menggunakan arduino uno sebagai pengendali dan pengolah data. Sistem kerja dari alat monitoring ini dengan sensor-sensor memberi masukkan data ke mikrokontroler. Arduino uno akan mengolah data hasil masukkan. Kemudian hasil data akan ditampilkan pada LCD dan dikirim ke penerima dengan cara *request* melalui SMS dengan menggunakan modul SIM800L. Hasil dari *output thermoelectric generator* nilai rata-rata arus sensor 56.21 mA, arus multimeter 50.93 dengan error 10.5 % pada pukul 12.00-13.00 WIB. nilai rata-rata tegangan sensor 3.3 V, tegangan multimeter 3.11 V dengan error 5.9 % pada pukul 12.00-13.00 WIB. Nilai suhu *heatsink* 6.05°C dan suhu plat tembaga 56.7°C. Rata-rata perbedaan suhu tertinggi sebesar 50.65°C pada pukul 12.00-13.00 WIB.

Saran

Sistem monitoring arus, tegangan dan suhu ini masih terdapat kekurangan untuk pembacaan hasil data menggunakan sensor masih belum stabil, perbandingan pembacaan sensor dengan multimeter, *error* yang didapat masih tinggi. Untuk memperbaiki alat ini dibutuhkan sensor yang lebih akurat untuk keandalan alatnya. Keberhasilan pengujian SIM800L dilihat dari kecepatan pada pemrosesan dan pengiriman data dari alat monitoring ke penerima dari faktor keterbatasan menangkap sinyal jaringan GSM maka disarankan untuk penelitian selanjutnya agar menggunakan modul internet, karena pembacaannya lebih *real time* dan memudahkan peneliti melakukan pengujian dan pengiriman data.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam. 2019. *Sitem Monitoring Arus dan Tegangan menggunakan SMS Gateway*. Teknik Elektro. Politeknik Negeri Bengkalis.
- Arrochman, Rynantha. 2019. *Pembuatan Sumber Energi Listrik Konvensi Panas Api Menggunakan Thermoelectric dengan Beban Motor DC dan Lampu LED*. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Negeri Surabaya.
- Basith. 2017. *Mikrokontroler Arduino Uno*. Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- Fitriandi, Afrizal. 2016. *Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway*. Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Hafidh, Abdurrohman. 2016. *Efektifitas Modul Peltier TEC-12706 Sebagai Generator Dengan Memanfaatkan Energi Panas Dari Modul Peltier TEC-12706*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UMS.
- Irfan, Fauzi. 2017. *Monitoring Ketinggian dan Suhu Air Dalam Tangki Berbasis WEB Menggunakan Arduino uno & Ethernet Shield*. Sistem Komputer. Universitas Budi Luhur. Jakarta Selatan.
- Mawali, Ahmad Rizal. 2019. *Rancang Bangun Pemantauan Pembayaran dan Konsumsi Listrik Jarak Jauh Berbasis Arduino Uno dan Modul Bluetooth*. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Negeri Surabaya
- Pradana, Muhammad Ady. 2019. *Prototipe Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator Menggunakan Penghantar Panas Aluminium, Kuningan dan Seng*. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Negeri Surabaya.
- Rohman, Fadlur. 2016. *Implementasi IoT Dalam Rancang Bangun Sistem Monitoring Panel Surya Berbasis Arduino*. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Muria Kudus.
- Roziq, Fatkur. 2019. *Sistem Kontrol dan Monitoring Jarak Jauh Menggunakan SMS Berbasis Microcontroller Arduino Pada Instalasi Otomasi Kelistrikan Industri*. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Negeri Surabaya.
- Z.B Tang, 2015. *A research on thermoelectric generator's electrical performance under temperature mismatch conditionfor automotive waste heat recovery system*.