

IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING KONSUMSI ENERGI DAN PENGHEMATAN HARGA LISTRIK RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN ARDUINO-UNO DAN LabVIEW

Kukuh Wicaksono¹, Amirullah^{1*}

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya

Jl. Ahmad Yani 114, Surabaya, 60231

*E-mail: amirullah@ubhara.ac.id

ABSTRAK

Konsumsi listrik yang tidak terkontrol akan menyebabkan pemborosan konsumsi energi listrik oleh pelanggan PLN terutama pada sektor rumah tangga. Untuk menghemat konsumsi energi listrik, maka diperlukan sistem monitoring arus, tegangan, dan daya listrik sehingga konsumsi energi listrik dan harga (tarif) listrik rumah tangga bisa dipantau dan dikendalikan oleh pelanggan. Penelitian bertujuan mendesain dan mengimplementasikan sistem monitoring konsumsi energi dan penghematan harga listrik rumah tangga menggunakan Arduino Uno dan LabVIEW. Penghematan konsumsi energi listrik dilakukan dengan mengatur lama penggunaan beban listrik rumah tangga dengan cara memutus sumber listrik oleh rele sesuai nominal harga listrik yang dikehendaki. Model Arduino-Uno berfungsi menerima perintah dalam bentuk pemrograman LabVIEW dari sensor masukan PZEM-004T. Data masukan ditransfer melalui kabel serial USB untuk dikirim ke personal komputer melalui pemrograman Arduino Uno yang dimonitor perangkat antarmuka LabVIEW. Sistem monitoring selanjutnya menggerakkan rele dengan setting harga ditentukan yang berfungsi sebagai pembatas penggunaan beban listrik. Penelitian menggunakan dua model pengujian yaitu menggunakan alat-ukur multi meter dan sensor PZEM-004T melalui pemrograman berbasis Arduino Uno-LabVIEW. Pengukuran dilakukan pada delapan beban listrik antara-lain: Lampu, Kipas Angin, Laptop, Solder, Televisi, Speaker Aktif, Setrika, dan Pompa Air. Hasil pengujian semua beban antara multimeter dengan sensor diperoleh nilai Hasil pengujian pada delapan beban antara sensor dengan multimeter berturut-turut menghasilkan error tegangan 0,048-1,347 %, error arus 0- 35,484 %, dan error daya 0,728-45,668%. Dengan sensor PZEM-004T dan beban menyala selama 5 menit, maka beban menyerap daya sebesar 0,067 W dan konsumsi biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 88,775,-. Pada harga listrik Rp. 50 dan beban antara 128-134 W dibutuhkan waktu kerja rele sebesar 5,08 menit. Sedangkan pada harga listrik Rp. 100 dan interval beban sama dibutuhkan waktu kerja rele sebesar 10,30 menit. Semakin kecil setting rupiah maka rele memutus beban lebih cepat, sehingga pelanggan semakin sedikit mengkonsumsi daya listrik. Implementasi sistem monitoring berbasis Arduino Uno-LabVIEW mampu memantau dan menghemat konsumsi energi berdasarkan nominal tarif listrik yang telah ditentukan.

Kata kunci: Monitoring, Penghematan, Arduino-Uno, LabVIEW, Sensor PZEM-004T

1. PENDAHULUAN

Konsumsi listrik yang tidak terkontrol akan menyebabkan pemborosan konsumsi energi listrik oleh pelanggan PLN terutama pada sektor rumah tangga. Untuk menghemat konsumsi energi listrik, maka diperlukan sistem monitoring arus, tegangan, dan daya listrik sehingga konsumsi energi listrik dan harga (tarif) listrik rumah tangga bisa dipantau dan dikendalikan oleh pelanggan. Kilo-watt-hour (kWh)-meter adalah peralatan PLN yang digunakan untuk mengukur dan menghitung jumlah energi dan biaya konsumsi listrik yang digunakan oleh pelanggan. Alat ukur energi listrik rumah listrik yang dapat dikonversi dan dimonitor harganya dalam bentuk rupiah berbasis mikrokontroler PIC 16f877 sudah diimplementasikan oleh Titis Wicaksono, et.al [1]. Alat yang didesain mampu mengukur daya maksimal 491,9524 W

dengan error rata-rata 0.33017% dan error biaya listrik rata-rata 0.011708%. Prototipe kWh-meter digital menggunakan Mikrokontroler Atmega8535 untuk ruang lingkup dua kamar berbeda sudah dibuat oleh Andi Setiono, et.al [2]. Alat yang dirancang berupa Wattmeter digital mampu mengukur daya lampu pijar secara presisi dalam rentang daya 100 W-500 W dengan error rata-rata sebesar 0.41% [2]. KWH meter digital berbasis mikrokontroler AT89S51 untuk memonitor konsumsi daya listrik juga telah dikembangkan oleh M. Arif Nurdiansyah et. al [3]. Sejumlah metode identifikasi beban dan teknologi manajemen, energi listrik konsumsi dan emisi karbon pada bangunan untuk mengurangi biaya listrik melalui manajemen penggunaan energy yang baik dan efisien sudah dibahas oleh Yi Du, et.al [4]. Teknologi kWh meter tiga fasa dengan Mikrokontroler Atmega 32 untuk mengkalkulasi energi dan biaya pemakaian listrik dimonitor oleh Laptop menggunakan pemrograman Visual Basic sudah dirancang oleh Nurvia Utama et. al [5].

Metode Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) untuk mengumpulkan data konsumsi energi khusus sekaligus menjaga biaya dan kompleksitas pemasangan tetap rendah melalui peralatan ukur dan sensor telah diinvestigasi oleh Ahmed Zoha, et.al [6]. Wattmeter digital berbasis mikrokontroler ATmega8 untuk mengukur daya listrik sudah didesain oleh Ageng Pidaksa. Sejumlah pengukuran menghasilkan prosentasi error rata-rata sebesar 6.64 % untuk beban resistif, beban kapasitif sebesar 3.39 %, dan beban induktif sebesar 23.2 % [7]. Power meter digital berbasis mikrokontroller AVR ATmega 8535 untuk mengukur dan menampilkan daya listrik suatu peralatan elektronik rumah tangga sudah diimplementasikan oleh Hilman HR Jufri, et. al [8]. Dari pengujian dan kalibrasi yang telah dilakukan terhadap alat ukur daya listrik ini diperoleh hasil rata-rata persentase kesalahan sebesar 4,3214% dengan tingkat ketepatan pengukuran sebesar 95,67%. Sistem monitoring kWh meter berbasis personal computer dilengkapi dengan program penghitung biaya listrik sudah dirancang oleh Moch. Nurul Arifin, et.al [9]. Sistem yang diusulkan mampu mengukur dan memonitor tegangan, arus, frekuensi, dan factor daya beban dalam rentang per-detik. Alat monitoring parameter konsumsi energi listrik menggunakan sensor arus ACS712 dan mikrokontroler ATmega 328 dengan tampilan LCD karakter 20x4 sudah didesain oleh Temy Nusa, et.al [10]. Alat yang didesain mampu mengukur arus listrik dengan cukup teliti pada beban resistif murni dengan error lebih kecil dari 1% namun tidak terlalu akurat untuk pengukuran lampu hemat energi, dan lampu LED.

Sistem monitoring listrik Prabayar dan kendali konsumsi listrik real time menggunakan Arduino Uno sudah diimplementasikan oleh Diah Risqiwati, et.al [11]. Arduino berfungsi sebagai sistem kontrol pengambilan data, sebelum data tersebut diolah pada server. Data arus disensor AC712-20A dan daya listrik diputus oleh rele ketika pulsa sudah tidak mencukupi. Alat penghitung daya listrik rumah tangga jarak jauh menggunakan transmisi data berbasis internet dan dimonitor dari halaman website sudah dirancang oleh Sri Suryaningsih, et. al [12]. Desain alat mampu memonitor daya listrik rumah-tangga melalui halaman website dibandingkan pengukuran langsung dengan hasil akurasi relatif baik. Smart Meter dengan sensor arus ACS712 untuk identifikasi dan memantau konsumsi energi listrik rumah tangga menggunakan neural network sudah didesain oleh Koko Hutoro, et.al [13]. Metode yang diusulkan mampu memberikan hasil signifikan karena menghasilkan akurasi identifikasi beban mencapai 99%. Prototipe kWh meter digital satu fasa untuk memonitor arus tegangan faktor-daya, dan energi beban menggunakan Arduino Mega 2560 sudah diperkenalkan oleh Muhammad Gifar Afria B., et. al [14]. Dalam proses pengukuran alat mampu menghasilkan error rata-rata 0% untuk pembacaan arus, 0,4 untuk pembacaan tegangan, 0,07 untuk pembacaan factor beban dan 4,5% untuk pembacaan kWh.

Pemantauan pemakaian energi listrik menggunakan LabVIEW secara real time melalui komputer sudah didesain oleh Muhammad Yusuf Yunus, et.al [15]. Implementasi alat mampu memantau penggunaan energi beban dalam batas error rata-rata yang relatif kecil. Implemen-

tasi sistem monitoring konsumsi energi listrik secara real time dengan menggunakan LabVIEW sudah dirancang oleh Muhammad Yusuf Yunus, et.al [16]. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa performansi alat sangat baik dalam memonitor penggunaan energi dengan menggunakan beban rumah tangga. kWh meter digital untuk menghitung biaya konsumsi energi listrik berbasis Arduino UNO R3 sudah dirancang oleh M. Ilham Ludya Wahyu, et. al [17]. Desain kWh meter digital mampu menghasilkan akurasi pengukuran sebesar 95% dengan tingkat error rata-rata sebesar 5%. 6 dan mampu menyerap daya sebesar 2 watt. Sistem pengukuran daya dan estimasi biaya menggunakan sensor arus ACS 712, Arduino Uno, dan dimonitor oleh LCD 2×4 sudah didesain oleh Rizal Akbar et. al. [18]. Hasil pengukuran arus diperoleh error rata-rata sebesar 3% dan pengukuran tegangan diperoleh error rata-rata sebesar 0.33%. Pengukuran daya, kWh, serta estimasi biaya pada sejumlah peralatan listrik (kipas, kulkas, rice cooker, dan setrika) selama 5 menit, menunjukkan bahwa rice-cooker dan setrika adalah alat yang paling besar mengkonsumsi daya listrik. Rice-cooker menyerap daya sebesar 278 W, energi 0,02323 kWh, dan estimasi biaya sebesar Rp 34,11. Setrika menyerap daya 284 W, energi 0,02374 kWh, dan estimasi biaya sebesar Rp 34,85.

Makalah membahas desain dan implementasi sistem monitoring konsumsi energi dan penghematan harga listrik rumah tangga menggunakan Arduino Uno dan dimonitor secara real time dengan LabVIEW. Penghematan konsumsi energi listrik dilakukan dengan mengatur waktu penggunaan beban listrik rumah tangga dengan cara memutus sumber listrik oleh rele sesuai nominal harga listrik yang dikehendaki. Penelitian menggunakan dua model pengujian yaitu menggunakan alat-ukur multi meter dan sensor arus PZEM-004T melalui pemrograman berbasis Arduino Uno-LabVIEW. Makalah disusun sebagai berikut. Bab 2 membahas metode penelitian, desain *hardware* Arduino Uno dan PZEM-004T, desain *software* LabVIEW, perhitungan daya, factor daya, dan energi, serta validasi hasil monitoring. Bab 3 membahas hasil implementasi *hardware* dan *software*, pengujian menggunakan sensor PZEM-004T dan multimeter digital, dan pengujian monitoring biaya listrik, dan pengujian rele. Terakhir, hasil dan saran penelitian disimpulkan pada Bab 4.

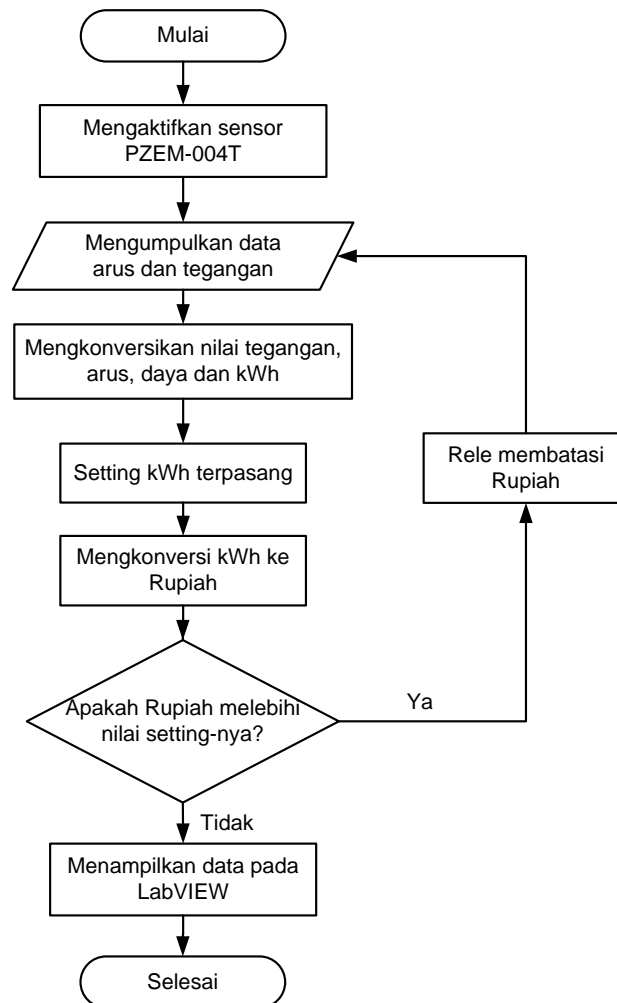
2. METODE

2.1. Metode Penelitian

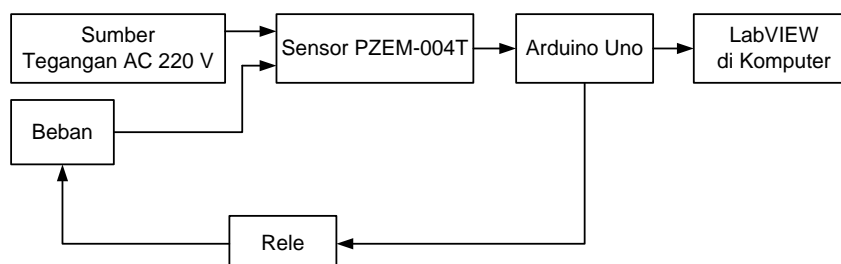
Gambar 1 menunjukkan model rancangan sistem monitoring energi dan harga listrik rumah tangga yaitu input, Arduino Uno, dan output. Sistem monitoring bekerja dimulai dengan beban listrik terhubung ke sumber tegangan bolak-balik (AC) 220 V. Data nilai tegangan sumber dan arus beban dibaca oleh sensor PZEM-004T. Data tersebut selanjutnya diproses oleh Arduino Uno untuk dikonversikan ke nilai arus, tegangan, daya, kWh serta nilai nominal harga pemakaian dalam rupiah. Selain mengolah dan memproses nilai tegangan dan arus, Arduino Uno juga diprogram untuk memutus sumber listrik dengan menggunakan rele ketika harga rupiah telah melebihi nilai setting. Arduino Uno juga berfungsi sebagai pengirim data dari sensor ke komputer personal atau laptop. Data nilai arus, tegangan, daya, kWh, dan harga nominal listrik selanjutnya dimonitor dan ditampilkan secara real-time menggunakan software antar muka LabVIEW. Pengujian hasil pengukuran tegangan sumber dan arus beban menggunakan Multimeter, juga dilakukan untuk validasi hasil parameter sama dengan sensor PZEM-004T pada sistem monitoring Arduino Uno-LabVIEW. Pengujian dilakukan pada delapan beban listrik antara-lain: Lampu, Kipas Angin, Laptop, Solder, Televisi, Speaker Aktif, Setrika, dan Pompa Air.

2.2. Desain Hardware

Desain *hardware* (perangkat keras) pada aplikasi sistem dibagi menjadi perangkat keras pengguna dan pengatur. Perangkat keras pengguna yang meliputi tegangan AC 220 V sebagai sumber tegangan sistem monitoring, sensor PZEM-004T sebagai pengumpul data nilai arus dan tegangan, rele sebagai pemutus sumber tegangan pada beban serta Arduino Uno sebagai blok pengolah dan pengatur data. Perangkat keras pengatur yaitu komputer berfungsi sebagai display data menggunakan *software* (perangkat lunak) LabVIEW. Blok desain *hardware* ditunjukkan pada Gambar 2.



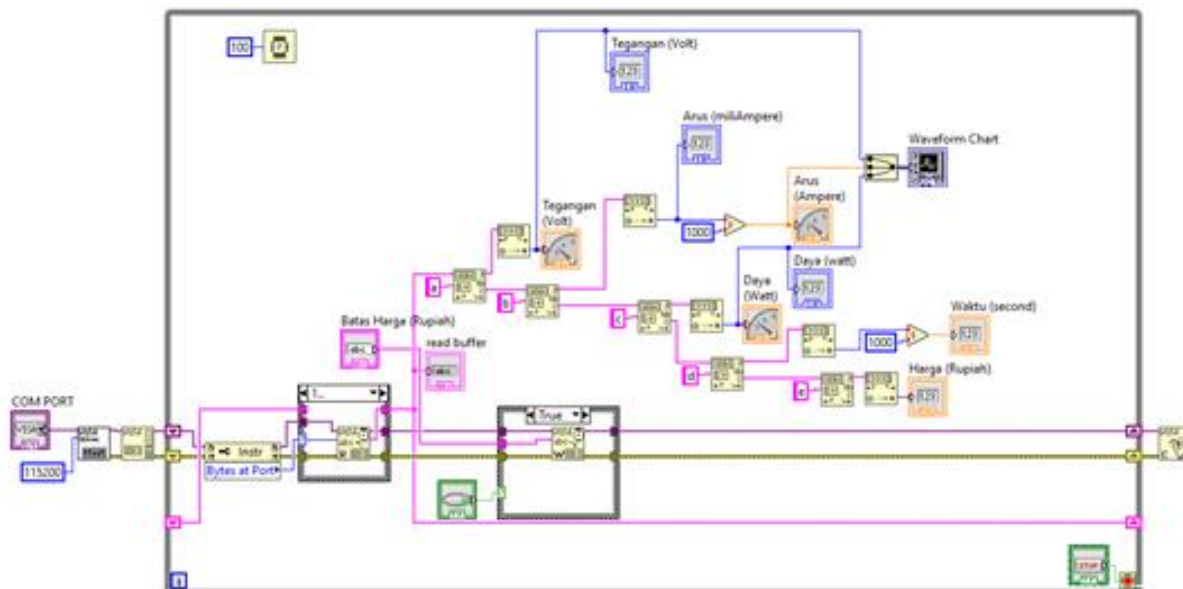
Gambar 1. Model Sistem Monitoring yang Diusulkan



Gambar 2. Blok Desain Hardware Sistem Monitoring

2.3. Desain Software LabVIEW

Desain program LabVIEW digunakan untuk membaca program Arduino Uno sebagai pengumpul data. Data direkam oleh sensor PZEM-004T meliputi tegangan, arus, daya, kWh, dan harga listrik dalam rupiah. Selanjutnya data dikumpulkan oleh Arduino Uno dan ditransfer ke software LabVIEW untuk ditampilkan ke tampilan gambar dan angka dalam bentuk *graphical user interface* (GUI). Blok desain software LabVIEW ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok Desain Software LabVIEW

Supaya Arduino Uno mampu membaca input data serial, Port USB harus menggunakan komponen Visa Serial. Komponen tersebut akan men-scan COM Serial yang aktif dengan melihat inputan COM Arduino pada device manager komputer atau laptop. Untuk konfigurasi komunikasi serial antara Arduino dengan LabVIEW digunakan empat *source code* yaitu *Visa Configure Serial Port*, *Visa Flush I/O Buffer*, *Visa Bytes at Serial Port*, dan *Visa Read Visa Close*. *Visa Configure Serial Port* berfungsi untuk mengatur setting komunikasi serial diawal sebelum komunikasi di langsunngkan. *Visa Flush I/O Buffer* berfungsi untuk membersihkan isi buffer dengan mengirimkan semua isinya ke alat yang ditentukan oleh Visa resource name. *Visa Bytes at Serial Port* berfungsi untuk menghitung banyaknya byte yang terdapat dalam buffer di saluran port serial yang ditentukan. *Visa Read* berfungsi untuk membaca sejumlah byte data dari alat atau hardware interface yang ditentukan oleh *Visa resource name*. *Visa Close* berfungsi untuk menutup komunikasi dengan alat yang ditentukan oleh *Visa resource name*[19].

2.4. Perhitungan Daya, Faktor Daya, dan Energi Listrik

Daya listrik adalah besarnya usaha dalam memindahkan muatan per satuan waktu atau jumlah energi listrik yang digunakan tiap detik. Nilai daya hasil pembacaan sensor PZEM-004T menggunakan Persamaan 1.

$$P = V \times I \quad (1)$$

Dimana, P adalah Daya (Watt), V adalah Tegangan (Volt), dan I adalah Arus (Ampere).

Faktor Daya atau yang sering disebut $\cos \theta$ adalah perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja, terhadap arus total yang masuk kedalam rangkaian. Faktor daya bernilai 0 sampai 1. Faktor daya dirumuskan dalam Persamaan 2.

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (2)$$

Dimana P adalah Daya Aktif (Watt) dan S adalah Daya Semu (VA) [20]

Secara umum daya listrik untuk alat listrik rumah tangga menggunakan satuan watt. Nilai 1 kW adalah 1000 W dan 1 W adalah 1/1000 kW. Energi adalah daya listrik yang diserap beban selama selang waktu tertentu. Perhitungan Energi (kWh) ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$kWh = kW \times t \quad (3)$$

Dimana, kWh adalah Energi, kW adalah Daya, dan t adalah Waktu (jam). Sehingga konversi dari kWh ke satuan rupiah dapat dirumuskan dalam Persamaan 4 [21].

$$\begin{aligned} & \text{Pemakaian Listrik (Rp) =} \\ & \text{Jumlah Pemakaian (kWh)} \times \text{Harga (Rp) per kWh} \end{aligned} \quad (4)$$

2.5. Validasi Hasil Monitoring

Untuk menjaga akurasi kinerja sistem sistem monitoring Arduino Uno-LabVIEW, maka hasil pengukuran tegangan sumber dan arus beban menggunakan juga dilakukan dengan Multimeter. Hasil pengukuran manual tersebut selanjutnya divalidasi dengan hasil pengukuran sengan sensor PZEM-004T. Nilai error perbandingan pengukuran tegangan sumber antara sensor PZEM-004T dengan multimeter dirumuskan pada Persamaan 5.

$$\text{Error Tegangan (\%)} = \frac{|V_m - V_s|}{V_m} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana V_m adalah tegangan multimeter dan V_s adalah tegangan sensor Dengan menggunakan prosedur sama, nilai error arus beban dirumuskan pada Persamaan 6.

$$\text{Error Arus (\%)} = \frac{|I_m - I_s|}{I_m} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana I_m adalah arus multimeter dan I_s adalah arus sensor. Dengan menggunakan prosedur sama, nilai error daya beban dirumuskan pada Persamaan 7.

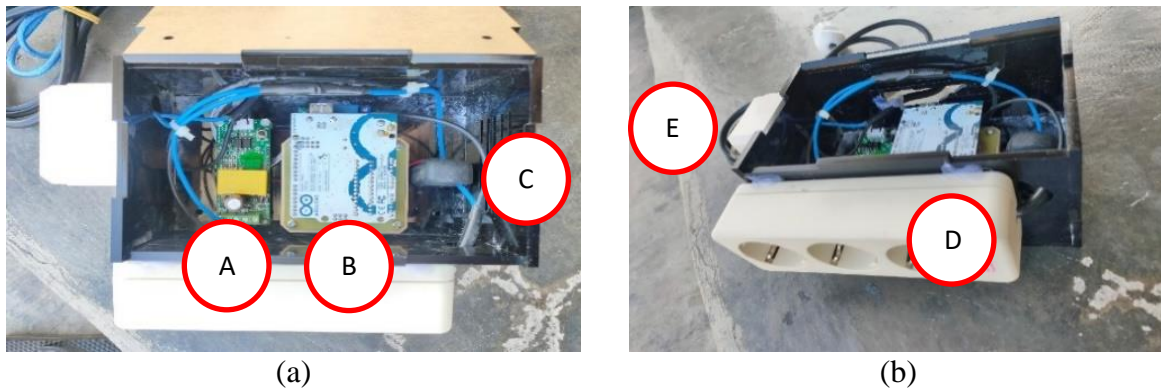
$$\text{Error Daya (\%)} = \frac{|W_m - W_s|}{W_m} \times 100\% \quad (7)$$

Dimana W_m adalah daya multimeter dan W_s adalah daya sensor.

3. PEMBAHASAN

3.1. Implementasi Hardware dan Software

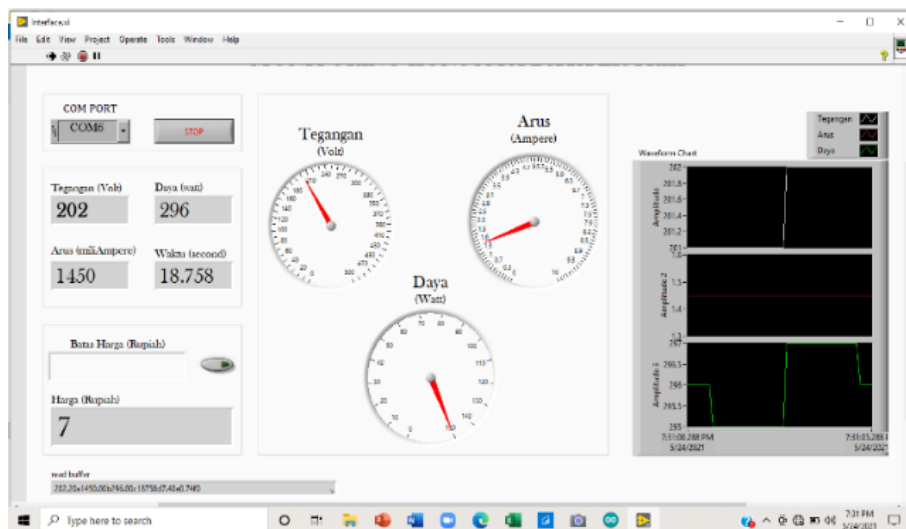
Gambar 4.a. dan Gambar 4.b menunjukkan hasil perancangan hardware atau perangkat keras sistem monitoring kWh menggunakan Arduino Uno-Labview. Detail bagian rangkaian hardware ditunjukkan pada tanda lingkaran 1 s/d 5.




Gambar 4. Implimentasi Desain Hardware (a) Tampak Atas dan (b) Tampak Samping

Dimana Lingkaran A adalah Sensor PZEM-004T berfungsi sebagai pembaca nilai tegangan, arus, daya dan kWh. Lingkaran B adalah Arduino Uno berfungsi sebagai pengolah dan pengirim data sensor dari Arduino Uno ke LabVIEW, Lingkaran C adalah Rele berfungsi sebagai pemutus aliran listrik pada stop-kontak. Lingkaran D adalah stop-kontak berfungsi sebagai pemutus dan penyambung aliran listrik di suatu beban listrik. Lingkaran E adalah sakelar berfungsi untuk menyalakan dan memberhentikan alat kWh meter.

Sistem monitoring ditampilkan melalui sebuah *software*. Aplikasi yang dibangun adalah aplikasi berbasis *graphical user interface* (GUI) dengan menggunakan *software* LabVIEW dan menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis. Tampilan GUI LabVIEW untuk pengujian menggunakan sensor PZEM-004T beban setrika ditunjukkan pada Gambar 5.



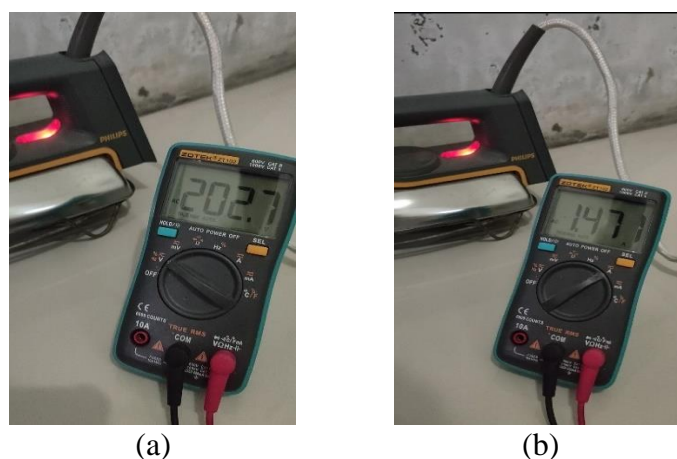
Gambar 5. Pengujian GUI LabVIEW dengan Sensor PZEM-004T pada Beban Setrika

Bagian antar muka dari aplikasi GUI Sistem monitoring kWh meter yang menggunakan Arduino Uno dan LabVIEW pada bagian ini terdapat beberapa tools untuk sistem monitoring. (1) Kolom COM PORT berfungsi sebagai pengkoneksian antara perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang memerlukan pengalaman sesuai dengan port dari Mikrokontroler Arduino Uno ke software labview. (2) Tools  berfungsi sebagai tombol running atau memulai program interface labview. (3) Tombol STOP berfungsi sebagai tombol untuk menghentikan running program yang sedang berjalan. (4) Kolom Tegangan sebagai penampil data nilai tegangan dengan satuan volt.

(5) Kolom Daya sebagai penampil nilai daya dengan satuan watt. (6) Kolom Arus sebagai penampil nilai arus dengan satuan mili ampere. (7) Kolom Waktu berfungsi untuk menampilkan waktu secara realtime ketika software berjalan dengan menggunakan satuan detik. (8) Kolom Batas Harga Rupiah berfungsi sebagai pengatur batas nilai rupiah yang akan menggerakkan rele sebagai pemutus listrik. (9) Kolom Harga Rupiah berfungsi untuk menampilkan total harga listrik ketika tombol *running* ditekan. (10) Kolom Read Buffer berfungsi untuk menampilkan nilai kWh yang terpakai secara *realtime*. (11) Tools WaveChart berfungsi penampil grafik sebagai data nilai arus, tegangan dan daya.

3.2. Pengujian Menggunakan Sensor PZEM-004T dan Multimeter Digital

Data pada penelitian diperoleh melalui dua model jenis pengujian masing-masing pada delapan beban listrik. Delapan beban listrik adalah Lampu, Kipas Angin, Laptop, Solder, Televisi, Speaker Aktif, Setrika, dan Pompa Air. Pengujian pertama dilakukan menggunakan software LabVIEW dengan cara mengukur nilai output dari sensor PZEM-004T. Pengujian kedua dilakukan dengan pengukuran secara langsung dengan menggunakan alat-ukur Multimeter Digital. Data pengukuran hasil pembacaan sensor PZEM-004T selanjutnya dibandingkan dan divalidasi dengan pengukuran langsung menggunakan Multimeter Digital. Gambar 6 menunjukkan pengujian tegangan dan arus beban setrika menggunakan Multimeter Digital.



Gambar 6. Pengujian (a) Tegangan dan (b) Arus Beban Setrika Via Multimeter Digital

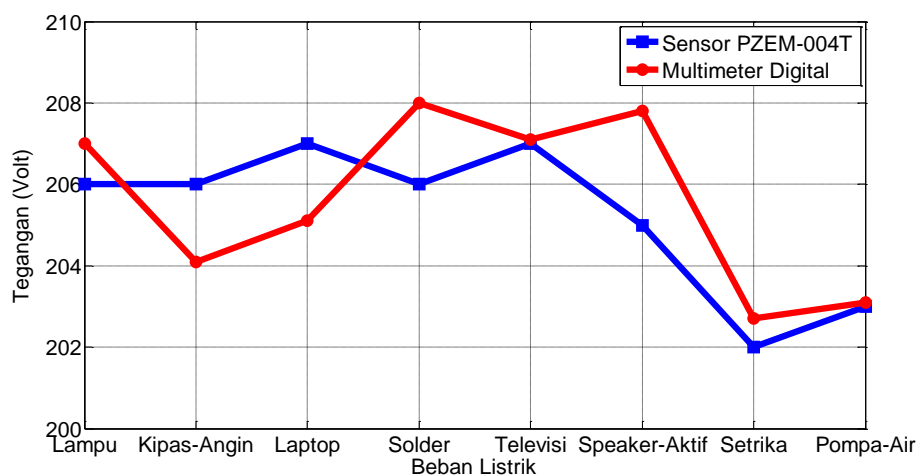
Dengan prosedur yang sama data tegangan, arus, dan daya diperoleh untuk tujuh beban lainnya baik pada pengukuran menggunakan sensor PZEM-004T maupun Multimeter Digital. Data daya delapan beban listrik pada pengukuran dengan Multimeter Digital diperoleh menggunakan Persamaan 1. Persamaan 4, 5, dan 6 selanjutnya digunakan untuk memperoleh nilai error tegangan, error arus, dan error daya antara pengukuran menggunakan dua metode pengukuran yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem dengan Sensor PZEM-004T dan Multimeter Digital

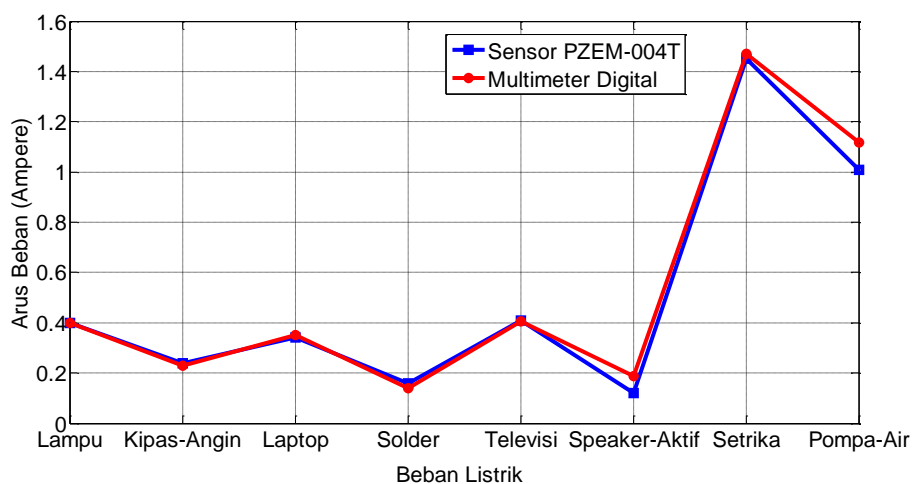
No.	Beban	Sensor PZEM-004T			Multimeter Digital			Error (%)		
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	Lampu 100 Watt	206	0.40	86	207.0	0.400	82.800	0.483	0.000	3.865
2	Kipas Angin	206	0.24	51	204.1	0.230	46.943	0.931	4.348	8.642
3	Laptop	207	0.34	43	205.1	0.352	72.195	0.926	3.409	40.439

4	Solder	206	0.16	35	208.0	0.140	29.120	0.962	14.286	20.192
5	Televisi	207	0.41	56	207.1	0.405	83.876	0.048	1.235	33.235
6	Speaker aktif	205	0.12	21	207.8	0.186	38.651	1.347	35.484	45.668
7	Setrika	202	1.45	296	202.7	1.471	298.172	0.345	1.428	0.728
8	Pompa Air	203	1.01	185	203.1	1.117	226.863	0.049	9.579	18.453

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan grafik perbandingan nilai tegangan dan arus pada delapan beban listrik rumah tangga masing-masing menggunakan metode pengukuran dengan sensor PZEM-004T maupun Multimeter Digital.



Gambar 7. Perbandingan Tegangan antara Multimeter Digital dan Sensor PZEM-004T



Gambar 8. Perbandingan Arus antara Multimeter Digital dan Sensor PZEM-004T

Gambar 7 menunjukkan bahwa monitoring beban listrik berbasis LabVIEW menggunakan sensor PZEM-004T dan pengukuran langsung menggunakan Multimeter Digital pada 8 beban listrik menghasilkan nilai tegangan sumber mendekati sama. Pengukuran menggunakan sensor menghasilkan tegangan sumber pada rentang 202-207 V, sedangkan pengukuran menggunakan Multimeter Digital menghasilkan tegangan sumber 202,7-208 V. Gambar 8 menunjukkan bahwa monitoring menggunakan sensor PZEM-004T dan pengukuran langsung dengan Multimeter Digital menghasilkan nilai arus beban mendekati sama. Pengukuran menggunakan sensor menghasilkan arus beban pada rentang 0,12-1,45 A, sedangkan pengukuran menggunakan Multimeter Digital menghasilkan arus beban 0,14-1,471 A. Tabel 1 juga menunjukkan bahwa pengujian pa-

da delapan beban antara sensor dengan multimeter, menunjukkan berturut-turut nilai error tegangan 0,048-1,347 %, nilai error arus 0- 35,484 %, dan error daya 0,728-45,668%.

3.3. Pengujian Monitoring Biaya Listrik

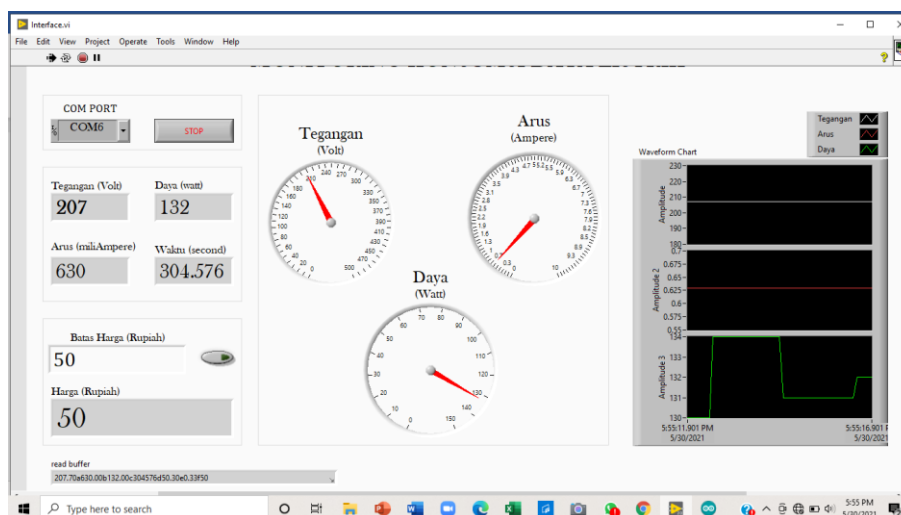
Pengujian monitoring dengan Sensor PZEM-004T dilakukan dengan mengukur 8 jenis beban listrik yaitu lampu, kipas angin, laptop, solder, televisi, speaker aktif, setrika, dan pompa-air. Hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya dengan metode tersebut sudah diuraikan sebelumnya pada Tabel 1. Pada makalah ini, pengujian alat dilakukan di rumah golongan tarif R-1M/TR batas daya 451-900 VA dengan biaya per-kWh sebesar Rp1.325/kWh. Tabel 2 menunjukkan jumlah pemakaian energi listrik pada masing-masing beban selama 5 menit. Total jumlah pemakaian energi pada selang waktu tersebut adalah 0.067 kWh. Dengan menggunakan Persamaan 4 dan biaya per-kWh sekarang, maka biaya pemakaian listrik selama 5 menit jika semua beban listrik beroperasi untuk semua beban listrik sebesar Rp. 88,775.

Tabel 2. Data Perhitungan Energi Listrik Selama 5 Menit

No.	Beban	Daya (kW)	Waktu (menit)	Energi (kWh)
1.	Lampu 100 Watt	0.086	5/60	0.007
2.	Kipas Angin	0.051	5/60	0.004
3.	Laptop	0.043	5/60	0.004
4.	Solder	0.035	5/60	0.003
5.	Televisi	0.056	5/60	0.005
6.	Speaker Aktif	0.021	5/60	0.002
7.	Strika	0.296	5/60	0.025
8.	Pompa Air	0.203	5/60	0.017
	Jumlah	-	-	0.067

3.4. Pengujian Rele

Pada pengujian sistem monitoring beban menggunakan Sensor PZEM-004T, rele berfungsi sebagai pemutus aliran listrik pada beban dengan pengaturan melalui GUI Labview yaitu dengan menyetel batas biaya listrik. Pengujian rele dilakukan dengan pengujian langsung terhadap alat monitoring dimana batas harga harus ditentukan sebelumnya. Gambar 9 menunjukkan tampilan GUI-LabVIEW pada sistem monitoring setelah disetel di harga Rp. 50.



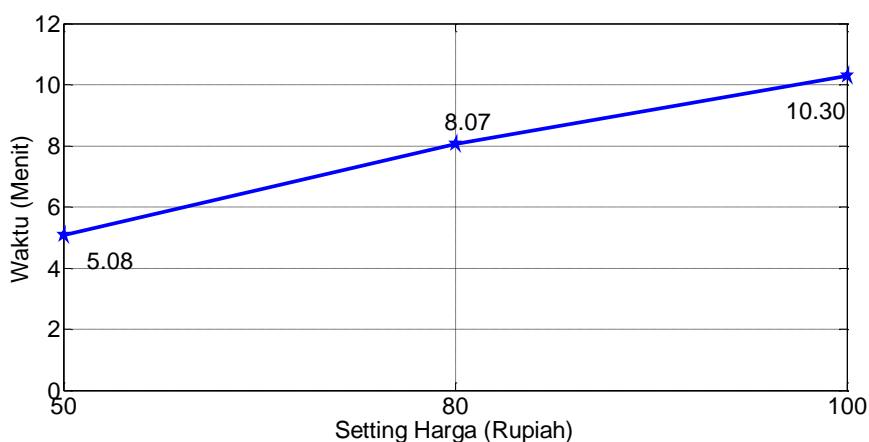
Gambar 9. Sistem Monitoring dengan Tampilan GUI-LabVIEW Disetel Harga Rp 50

Tampilan GUI-LabVIEW menunjukkan bahwa sistem monitoring pada setting pada harga Rp. 50 mampu menyalakan atau mengkonsumsi listrik selama 304,576 detik atau selama 5.08 menit. Dengan prosedur yang sama selanjutnya, maka konsumsi energi dan

waktu kerja rele pada setting harga Rp. 80 dan Rp. 100 ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 10.

Tabel 3. Pengujian Waktu Kerja Rele

Setting Harga (Rp)	Beban Listrik	Waktu Kerja Rele (Menit)
50	128 - 134 Watt	$\frac{304.576}{60} = 5,08$
80	128 - 134 Watt	$\frac{484.456}{60} = 8,07$
100	128 - 134 Watt	$\frac{617.774}{60} = 10,30$



Gambar 10. Perbandingan Setting Harga Listrik Terhadap Waktu Kerja Rele

Pada harga listrik Rp. 80 dan beban antara 128-134 W dibutuhkan waktu kerja rele sebesar 8,07 menit. Sedangkan pada harga listrik Rp. 100 dan interval beban sama dibutuhkan waktu kerja rele sebesar 10,30 menit. Semakin kecil setting nilai rupiah maka rele memutus beban lebih cepat, sehingga pelanggan semakin hemat atau sedikit mengkonsumsi daya listrik.

4. SIMPULAN

Sistem monitoring konsumsi energi dan penghematan harga listrik rumah tangga menggunakan Arduino Uno dan LabVIEW sudah diimplementasikan. Penghematan konsumsi energi listrik dilakukan dengan mengatur lama penggunaan beban listrik rumah tangga dengan memutus sumber listrik oleh rele sesuai nominal harga listrik yang dikehendaki. Penelitian menggunakan dua model pengujian yaitu menggunakan alat-ukur multimeter digital dan sensor PZEM-004T melalui pemrograman berbasis Arduino Uno-LabVIEW. Pengukuran dilakukan pada delapan beban listrik antara-lain: Lampu, Kipas Angin, Laptop, Solder, Televisi, Speaker Aktif, Setrika, dan Pompa Air. Hasil pengujian pada delapan beban antara sensor dengan multimeter, menghasilkan berturut-turut nilai error tegangan 0,048-1,347 %, nilai error arus 0- 35,484 %, dan error daya 0,728-45,668%. Semakin kecil *setting* harga rupiah maka rele memutus beban lebih cepat, sehingga pelanggan semakin sedikit mengkonsumsi energi listrik. Error daya pada pengukuran menggunakan sensor PZEM-004T terhadap Multimeter Digital relatif masih besar, karena pengukuran daya listrik pada multimeter digital masih dilakukan dengan asumsi faktor daya satu. Disisi lain pengukuran menggunakan sensor PZEM-004T pada sistem monitoring berbasis Arduino Uno-LabVIEW

sudah mempertimbangkan faktor daya beban. Penggunaan Osiloskop Digital yang dilengkapi filter pengukuran faktor daya dapat diusulkan untuk meningkatkan validasi hasil sekaligus menurunkan nilai error daya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Titis Wicaksono, Ageng Sadnowo R., dan Abdul Haris, "Rancang Bangun Alat Penghitung Biaya Energi Listrik Terpakai Berbasis Mikrokontroler Pic 16f877", *ELECTRICIAN Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, Volume 1 Nomor 1, September 2007, Hal. 37-41.
- [2] Andi Setiono, "Prototipe Aplikasi KWh Meter Digital Menggunakan Mikrokontroler AT-MEGA8535 untuk Ruang Lingkup Kamar Tangerang", *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH* Volume 26, November 2009, Hal. 32-39.
- [3] Nurdiansyah Arif M. dan Artono Dwijo Sutomo, "KWh Meter Digital Berbasis Mikrokontroler AT89S51", Program Diploma III Ilmu Komputer. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sebelas Maret Surakarta, 2010.
- [4] Yi Du, Liang Du, Bin Lu, Ronald Harley, and Thomas Habetler, "A Review of Identification and Monitoring Methods for Electric Loads in Commercial and Residential Buildings", *IEEE*, 2010.
- [5] Utama Nurvia, Sutedjo, M. Zaenal Efendi, "Sistem Monitoring kWh Meter 3 Phase dan Kalkulasi Biaya Pemakaian", Jurusan Teknik Elektro Industri. PENS-ITS, Surabaya, 2011.
- [6] Zoha, A. Gluhak, M.A Imram, and S. Rajasegarar, "Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey", *Sensors*, 2012, pp. 16838-16866.
- [7] Ageng Pidaksa. "Wattmeter Digital AC Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8", Universitas Negeri Yogyakarta, 2011.
- [8] Hilman Hr. Jufri, Nasruddin M.N, Bisman P., "Rancang Bangun Alat Ukur Daya Arus Bolak-Balk Berbasis Mikrokontroler Atmega8535", Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sumatera Utara Medan, 2013, Hal. 1-9.
- [9] Arifin Nurul Moch, Rony Haendra RF. "Sistem Monitoring KWH Meter Berbasis PC Dilengkapi Dengan Program Penghitung Biaya Listrik", *Jurnal Teknik WAKTU* Volume 12 Nomor 02 – Juli 2014, Hal. 39-42.
- [10] Nusa Temy, Sherwin R.U.A. Sompie, Meita Rumbayan, 2015, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler", *E-journal Teknik Elektro dan Komputer*, Vol.4 No.5, 2015, Hal. 19-26.
- [11] Diah Risqiwati, Ahmad Ghozali Rizal, Zamah Sari, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Listrik Prabayar dengan Menggunakan Arduino Uno", *KINETIK*, Vol.1, No.2, Agustus 2016, Hal. 47-54.
- [12] S. Suryaningsih, "Rancang Bangun Alat Pemantau Penggunaan Energi Listrik Rumah Tangga Berbasis Internet", *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) Seminar Nasional Fisika, Prodi Pendidikan Fisika dan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Jakarta*, Volume V, Oktober 2016, Hal. 87-90.
- [13] Koko Hutoro, Adi Soeprijanto, dan Ontoneso Penangsang, "Desain Smart Meter Untuk Memantau Dan Identifikasi Pemakaian Energi Listrik Pada Sektor Rumah Tangga Menggunakan Backpropagation Neural Network," Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2015, Hal. 1-6.
- [14] Afriya B Giffar Muhammad dan Heru Winarno, "Pembuatan kWh Meter Digital 1 Fasa Berbasis Arduino Mega 2560", *GEMA TEKNOLOGI* Vol. 19 No. 3 Periode April 2017 - Oktober 2017, Hal. 25-31.
- [15] Muhammad Yusuf Yunus, Marhatang, "Rancang Bangun Pemantau Pemakaian Energi Listrik Menggunakan LabVIEW", *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*, Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2017, Hal. 197-202.
- [16] Yunus Muhammad, Marhatang, "Implementasi Labview Untuk Pemantauan Pemakaian Energi Listrik", *Jurnal of Electrical and Electronic Engineering-Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (JEEE-U)*, Vol. 2 No. 1 April 2018, Hal. 21-30.

- [17] Wahyu Ludya M. Ilham, Syaifurrahman, dan Muhammad Saleh, 2018, “Rancang Bangun kWh Meter Digital Sebagai Penghitung Biaya Pemakaian Energi Listrik Berbasis Arduino UNO R3”, Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, 2018. Hal. 1-7.
- [18] Rizal Akbar, Husein Mubarak, “Rancang Bangun Alat Monitoring Tegangan, Arus, Daya, kWh, serta Estimasi Biaya Pemakaian Peralatan Listrik pada Rumah Tangga”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2018.
- [19] <https://id.scribd.com/document/415523194/labview>, Diakses Online Tanggal 3 Oktober 2021.
- [20] <http://www.info-elektro.com/2014/01/ac-regulator-pengatur-tegangan-bolak.html>, Diakses Online Tanggal 3 Oktober 2021.
- [21] <https://ukurandansatuan.com/cara-menghitung-kwh-pemakaian-listrik.html>, Diakses Online Tanggal 3 Oktober 2021.