

# Desain Sistem Pemantau Konsumsi Energi untuk Rusunawa di Indonesia

Yakub Fahim Luckyarno<sup>1</sup>, Sentagi Sesotya Utami<sup>2</sup>, Faridah<sup>3</sup>, Ressay Jaya Yanti<sup>4</sup>

**Abstract**—Electricity consumption in the household sector is classified into two categories based on the economic class of the household. The first category is the low class, in which the greatest electricity consumption (approximately 20.00%) is used for lighting. The second category is the medium and high class, in which the greatest electricity consumption (approximately 20.00-32.00%) occurs for powering the air conditioning (AC) system. To date, vertical type housing can be commonly found in the medium class, and as of 2017, the level of occupation has reached 9.52%. This condition calls for an analysis on the energy consumption and energy efficiency of the buildings. Case found in a low-cost apartment building, also known as Rumah Susun Sederhana Sewa (Rusunawa) in Yogyakarta, Indonesia, is one example where an energy monitoring system is needed. This is due to the inhabitants' habit of electrical usage that is unsuitable to the Rusunawa's function, such as their inefficient use of AC and washing machines. The energy meter system measures the electrical voltage and current of electrical appliances that are attached to the system. This system utilizes a ZMPT101B-5 sensor to measure the voltage and an ACS712 sensor to measure the electrical current. The design of the energy meter system enables one to measure the voltage and current of electrical appliances with a 4.40% margin of error. Based on the measurements obtained in this paper, the AC is the greatest source of power consumption, with an approximate value of 800 kWh.

**Intisari**—Konsumsi energi listrik sektor rumah tangga dibagi menjadi dua, yaitu kelas ekonomi rendah, dengan konsumsi listrik terbesar pada sistem penerangan, yaitu sekitar 20,00%, dan kelas ekonomi menengah dan tinggi, dengan konsumsi terbesar terjadi pada sistem *air conditioning* sekitar 20,00–32,00%. Untuk kelas ekonomi menengah, tipe rumah tinggal vertikal sudah banyak digunakan dan tingkat okupansinya meningkat 9,52% pada tahun 2017. Kondisi ini memerlukan analisis konsumsi dan penghematan energi. Kasus yang terjadi pada sebuah rumah susun sederhana sewa (rusunawa) di Yogyakarta, Indonesia, merupakan contoh nyata diperlukannya sistem pemantau energi. Hal itu disebabkan oleh praktik penggunaan listrik yang tidak sesuai dengan fungsi dari rusunawa, seperti penggunaan *air conditioning* dan mesin cuci. Sistem energi meter mengukur tegangan dan arus dari peralatan listrik yang dihubungkan ke sistem. Sensor tegangan yang digunakan adalah ZMPT101B-5, sedangkan sensor arus yang digunakan adalah ACS712. Desain sistem energi meter dapat mengukur tegangan dan arus dari

peralatan listrik dengan tingkat *error* sebesar 4,40%. Berdasarkan hasil pengukuran, *air conditioning* merupakan sumber konsumsi daya tertinggi dengan nilai kisaran 800 kWh.

**Kata Kunci**—Bangunan, Rusunawa, Pemantauan, Konsumsi Energi.

## I. PENDAHULUAN

Data konsumsi energi pada bangunan dikategorikan menjadi dua, yaitu konsumsi energi untuk operasional bangunan komersial dan rumah tinggal (perumahan). Jenis energi yang dikonsumsi oleh berbagai bangunan atau gedung akan sangat bervariasi, tergantung pada jenis bangunannya sendiri dan kondisi iklim sekitar [1]. Konsumsi energi listrik pada sektor rumah tangga dibagi menjadi dua. Pertama adalah rumah tangga kelas ekonomi rendah. Pada kelas ini, konsumsi listrik terbesar disumbang oleh sistem penerangan, yakni sekitar 20,00%. Kedua, kelas ekonomi menengah dan tinggi, dengan konsumsi energi sekitar 20,00% sampai 32,00% diperuntukkan bagi pendinginan ruang menggunakan sistem *air conditioning* [2]. Sementara itu, untuk bangunan komersial, sebagian besar penggunaan energi listrik adalah untuk sistem pendinginan (*refrigeration*), sebesar 14,00%. Pada sistem yang lain, konsumsi listrik adalah sebagai berikut: sistem ventilasi sebesar 11,20%, pendingin ruang sebesar 10,60%, dan sistem pencahayaan menggunakan sebesar 10,60% dari total konsumsi energi bangunan [3].

Pada tahun 2017, terjadi peningkatan jumlah okupansi untuk tipe rumah tinggal vertikal, atau sering disebut dengan rumah susun di Indonesia, yakni sebesar 9,52% [4]. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan lahan yang tersedia untuk perumahan atau area huni. Harga tanah yang semakin mahal, khususnya di kota-kota besar di Indonesia, menyebabkan rumah tinggal beralih dari tipe rumah tapak atau rumah tunggal, yaitu rumah dengan pekarangan, ke rumah susun, yaitu satu gedung berlantai banyak berisi beberapa unit rumah tinggal. Apartemen merupakan salah satu contoh rumah susun yang umumnya relatif mahal karena dilengkapi dengan beberapa fasilitas. Rumah susun yang harganya lebih terjangkau tidak dilengkapi oleh beberapa fasilitas, termasuk *lift*, sehingga umumnya terdiri atas lima hingga tujuh lantai. Sebagian besar rumah susun yang terjangkau oleh masyarakat kelas ekonomi menengah ke bawah merupakan rumah susun bersifat hak sewa dan sering disebut dengan rumah susun sederhana sewa (rusunawa). Rusunawa merupakan program pemerintah dalam membantu masyarakat berpenghasilan rendah untuk mendapatkan hunian layak yang terjangkau [5].

Permasalahan yang muncul dalam pengelolaan rusunawa adalah budaya tinggal penghuninya yang masih membawa kebiasaan-kebiasaan lama dari rumah tunggal. Satu unit rumah

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika 2, Bulaksumur, Yogyakarta 55281 INDONESIA (telp: 0274-555 225; fax: 0274-4321982; e-mail: <sup>1</sup>yakubfahimluckyarno@ugm.ac.id, <sup>2</sup>sentagi@ugm.ac.id, <sup>3</sup>faridah@ugm.ac.id)

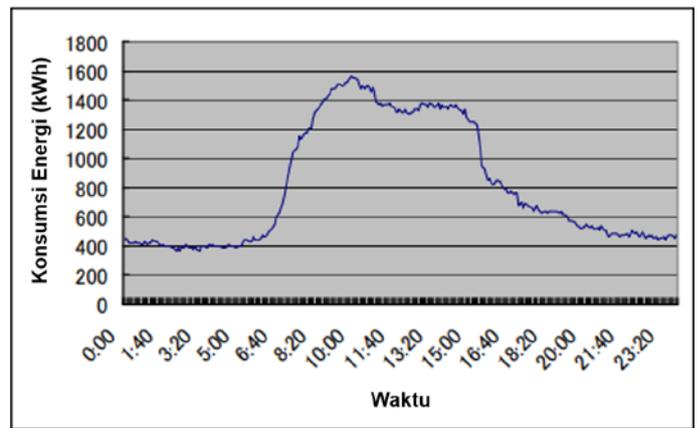
<sup>4</sup>Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika 2, Bulaksumur, Yogyakarta 55281 INDONESIA (telp: 0274-5555; e-mail: ressay.jaya.y@mail.ugm.ac.id)

dengan area terbatas biasanya dipenuhi oleh barang-barang rumah tangga. Bentuk gedung, susunan unit rumah tinggal dan padatnya tingkat hunian menyebabkan adanya keterbatasan pemanfaatan potensi lingkungan, seperti ventilasi alami melalui jendela. Hal ini berdampak pada tidak tercapainya kenyamanan huni sehingga mendorong penghuni untuk memasang sistem *air conditioning*. Di sisi lain, pihak manajemen memberikan beberapa batasan hak sewa di antaranya adalah lama periode huni, jenis peralatan listrik yang terpasang, dan perubahan fisik ruang sewa [6]. Jenis peralatan listrik yang digunakan sehari-hari pun, akan sangat bervariasi untuk setiap rumah tangga, dan seringkali penggunaannya tidak diketahui oleh pihak manajemen.

Beberapa kasus pelanggaran oleh penghuni rusunawa terkait pemasangan peralatan listrik yang menggunakan daya listrik tinggi, seperti *air conditioning* dan mesin cuci, telah ditemukan di salah satu rusunawa di Yogyakarta, Indonesia. Temuan ini merupakan salah satu data audit energi yang menjadi dasar pemikiran pentingnya dibuat alat pemantau konsumsi energi untuk rusunawa. Banyaknya praktik penggunaan energi listrik yang tidak sesuai dengan persyaratan sewa akan menyebabkan lonjakan konsumsi energi listrik total rusunawa yang merugikan pihak manajemen gedung. Pelanggaran perjanjian sewa ini dilakukan oleh penghuni yang umumnya telah tinggal di rusunawa tersebut melebihi periode sewa yang telah disepakati semula (maksimal lima tahun). Survei yang dilakukan pada tahun 2017 menunjukkan sekitar 48,00% penghuni telah menghuni rusunawa tersebut antara lima hingga delapan tahun, melebihi batas lama huni, yaitu tiga tahun, yang mulai diberlakukan sejak tahun 2018.

Pihak manajemen rusunawa dapat mengetahui total konsumsi energi listrik gedung setiap bulannya menggunakan tagihan listrik bulanan yang dikeluarkan oleh PLN atau perusahaan penyedia listrik lainnya dengan pembacaan meteran listrik. Permasalahannya, total konsumsi energi listrik gedung tidak hanya ditentukan oleh peralatan listrik, tetapi juga oleh perilaku penghuni. Kelemahan lain penggunaan meteran listrik yang konvensional adalah tidak menggambarkan profil penggunaan energi secara rinci, seperti beban pencahayaan, pendinginan, maupun operasional. Akan tetapi, saat ini telah dijumpai beberapa rusunawa yang memiliki meteran listrik terpisah untuk setiap unit, sehingga mudah untuk mengetahui unit hunian yang telah melakukan pelanggaran pemasangan peralatan maupun perilaku pemakaian energi listrik yang boros. Hasil audit energi di rusunawa yang menjadi objek makalah ini menunjukkan bahwa data yang tersedia terbatas pada total energi listrik untuk tiap gedung, atau disebut juga blok. Setiap blok terdiri atas beberapa unit hunian, sehingga yang dapat diketahui adalah rata-rata konsumsi listrik per unit per blok/gedung.

Paparan permasalahan tersebut menggarisbawahi pentingnya digunakan metode pelaporan konsumsi energi yang lebih rinci agar penggunaan energi dilakukan secara bijak. Hal ini diharapkan, dengan adanya perubahan pelaporan sistem konsumsi energi, dapat memengaruhi perilaku konsumen. Saat ini telah banyak digunakan alat pemantau konsumsi energi yang dapat memantau konsumsi dalam satu jam atau interval



Gbr. 1 Analisis kurva beban harian.

waktu tertentu untuk menggantikan cara pencatatan konvensional [7].

Makalah ini berkontribusi untuk mendapatkan data konsumsi daya di rusunawa secara *real time*, kontinu, dan rinci dari sisi peralatan dan waktu. Hasil yang disediakan dalam makalah ini akan membantu penghuni mengubah perilaku yang kurang efisien dalam penggunaan energi listrik. Alat pemantau yang mampu mencatat konsumsi secara berkelanjutan akan memicu munculnya ide kreatif untuk menghemat serta mengontrol upaya efisiensi tersebut, baik oleh penghuni maupun oleh pihak manajemen bangunan.

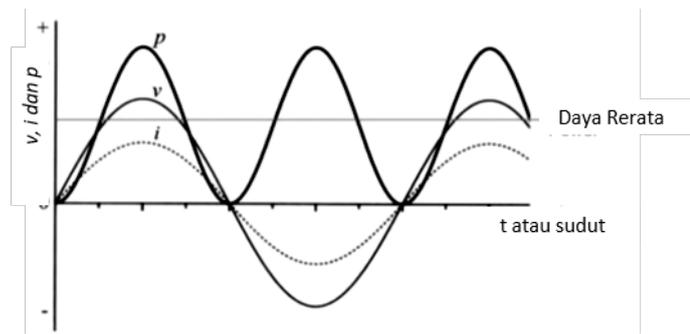
## II. DASAR SISTEM PENGUKURAN ENERGI LISTRIK

Sebagian besar gedung di Indonesia masih memantau penggunaan listriknya melalui kWh meter analog atau digital, yang pencatatannya biasanya dilakukan sebulan sekali. Dalam satu gedung berlantai banyak, kWh meter umumnya terbagi per lantai dan mengukur penggunaan listrik keseluruhan. Ketersediaan kWh meter yang telah terpisah untuk setiap sistem bangunan jarang terjadi, misalnya penggunaan listrik pada jaringan pencahayaan dipantau terpisah dari yang digunakan untuk sistem *air conditioning*. Dalam kasus rusunawa, pemantauan perlu dipisah lebih spesifik lagi, bukan hanya per lantai, tetapi per unit tinggal. Fungsi utama sistem pemantauan energi adalah kemampuan untuk mengetahui tingkat efisiensi konsumsi energi suatu bangunan [8].

Sebuah studi dilakukan untuk menunjukkan nilai konsumsi yang dihasilkan oleh satu unit rumah tangga dalam sehari [9]. Seperti ditunjukkan pada Gbr. 1, konsumsi tinggi terjadi pada rentang waktu pukul 10.30 hingga pukul 15.30 [9].

Tegangan dan arus listrik pada sistem listrik AC biasanya dinyatakan dalam nilai *Root Mean Square* (RMS). Nilai RMS juga dikenal sebagai kuadrat rata-rata, yang merupakan pengukuran statistik besarnya suatu fungsi yang memiliki magnitude yang berubah-ubah. Perubahan tegangan dan arus secara sinusoidal dapat dihitung dengan (1) [10].  $A$  merupakan nilai amplitudo maksimum dari sinyal yang dicuplik, sedangkan  $V_{rms}$  merupakan tegangan efektif atau RMS.

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} A \quad (1)$$



Gbr. 2 Gelombang arus, tegangan, dan daya listrik AC [11].

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Daya listrik dibagi menjadi tiga, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu.

#### A. Daya aktif

Pada sistem listrik arus searah (*Direct Current*, DC), perhitungan daya dirumuskan sebagai perkalian arus listrik dengan tegangan, sedangkan pada sistem listrik arus bolak-balik (*Alternating Current*, AC), perhitungan daya menjadi sedikit berbeda karena melibatkan faktor daya ( $\cos \phi$ ).

Penjelasan tentang faktor daya dapat diilustrasikan seperti pada Gbr. 2. Gbr. 2 menunjukkan grafik gelombang listrik AC dengan beban murni resistif. Apabila nilai faktor daya adalah 1, maka gelombang arus dan tegangan berada pada fase yang sama dan tidak ada yang saling mendahului. Persamaan (2) menunjukkan rumus perhitungan daya aktif (*active power*) dengan beberapa komponen, yaitu  $I$  adalah arus (A),  $V$  adalah tegangan (V), dan  $\cos \phi$  adalah faktor daya.

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

#### B. Daya Reaktif

Daya reaktif (*reactive power*) adalah daya yang disuplai oleh komponen reaktif. Daya reaktif, disimbolkan dengan  $Q$ , ini tidak memiliki dampak apa pun dalam kerja suatu beban listrik. Dengan kata lain, daya reaktif ini tidak berguna bagi konsumen listrik. Satuan daya reaktif adalah *Volt Ampere Reactive* (VAR), dirumuskan pada (3), dengan  $V$  adalah tegangan (V),  $I$  adalah arus (A), dan  $\sin \phi$  adalah faktor daya.

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (3)$$

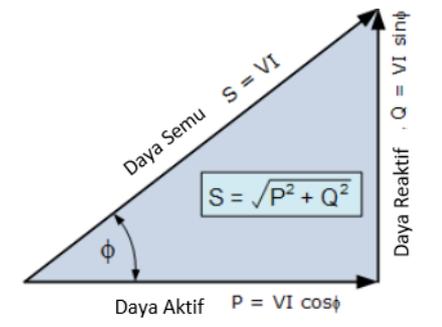
#### C. Daya Semu

Daya semu (*apparent power*) adalah penjumlahan geometris dari daya aktif dan daya reaktif. Daya semu merupakan daya yang diproduksi oleh perusahaan sumber listrik untuk didistribusikan ke konsumen. Satuan daya semu adalah *Volt Ampere* (VA), dirumuskan pada (4), dengan  $S$  adalah daya semu (kVA),  $V$  adalah tegangan (V), dan  $I$  adalah arus (A).

$$S = V \cdot I \quad (4)$$

Hubungan matematis antara tipe-tipe daya yang berbeda (daya semu, daya aktif, dan daya reaktif) dapat digambarkan dalam sebuah diagram segitiga daya. Dengan menggunakan prinsip trigonometri, maka diperoleh (5).

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (5)$$



Gbr. 3 Hubungan segitiga daya [12].

Hubungan antara daya aktif dan daya reaktif ditunjukkan pada Gbr. 3. Setiap alat ukur energi umumnya memiliki pembacaan daya aktif dan daya reaktif. Jika informasi daya aktif dan daya reaktif dapat terbaca oleh suatu alat ukur energi, maka nilai daya semu dapat diketahui. Namun, diperlukan informasi mengenai nilai faktor daya jika ingin diketahui daya aktif listrik AC. Faktor daya bukan merupakan ukuran langsung dari efisiensi *output-to-input*, tetapi faktor daya merupakan ukuran sebenarnya dari cara kapasitas sistem tenaga listrik digunakan. Faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif dalam kW dengan daya semu (*apparent power*) dalam kVA.

Ketelitian alat ukur listrik menurut Standar IEC No. 13B-23 dibagi menjadi delapan kelas, yaitu 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; dan 5. Kelas-kelas tersebut menunjukkan besarnya kesalahan alat ukur, masing-masing adalah  $\pm 0,05\%$ ,  $\pm 0,10\%$ ,  $\pm 0,20\%$ ,  $\pm 0,50\%$ ,  $\pm 1,00\%$ ,  $\pm 1,50\%$ ,  $\pm 2,50\%$ , dan  $\pm 5,00\%$ . Dari delapan kelas, alat ukur tersebut digolongkan menjadi empat golongan sesuai dengan daerah pemakaiannya, yaitu sebagai berikut.

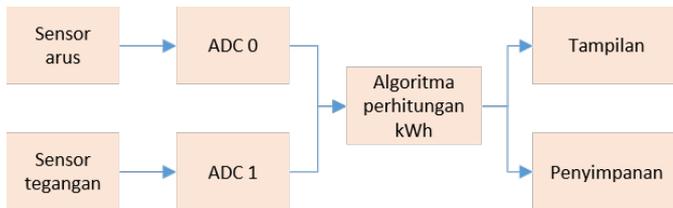
- Golongan dari kelas 0,05, 0,10 dan 0,20 termasuk alat ukur presisi yang tertinggi, yang biasa digunakan pada laboratorium yang standar.
- Golongan dari kelas 0,50 memiliki ketelitian dan tingkat presisi berikutnya dari 0,20. Alat ukur ini biasa digunakan pada pengukuran-pengukuran presisi. Alat ukur ini biasanya bersifat portabel.
- Golongan dari kelas 1 memiliki ketelitian dan tingkat presisi yang lebih rendah dari alat ukur kelas 0,5. Alat ini biasa digunakan pada alat-alat ukur portabel yang kecil atau alat ukur yang digunakan pada panel.
- Golongan dari kelas 1,5, 2,5, dan 5. Alat ukur ini biasa digunakan pada panel-panel yang tidak begitu memperhatikan presisi dan ketelitian.

### III. DESAIN SISTEM ENERGI METER

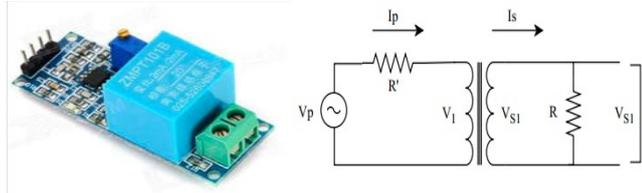
Sistem yang didesain memiliki acuan seperti Gbr. 4. Sistem terdiri atas dua unit sensor, satu unit prosesor, satu unit tampilan, dan satu unit media penyimpanan.

#### A. Komponen Penyusun Sistem

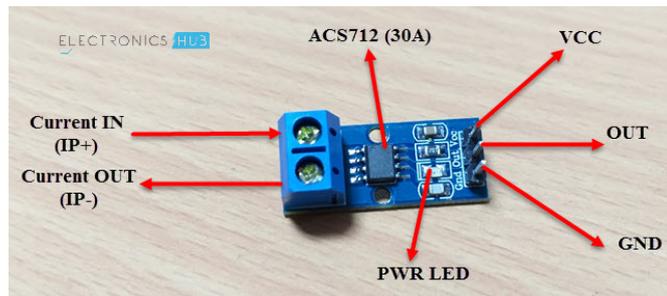
Alat ukur energi dirancang berdasarkan nilai arus dan tegangan yang terukur oleh sistem sensor melalui pemakaian daya rata-ratanya. Sensor yang digunakan pada sistem ini yaitu ZMPT101B-5 dan ACS712.



Gbr. 4 Diagram blok sistem energi meter.



Gbr. 5 Sensor tegangan ZMPT101B dan rangkaian internalnya [13].



Gbr. 6 Sensor arus ACS712 [14].

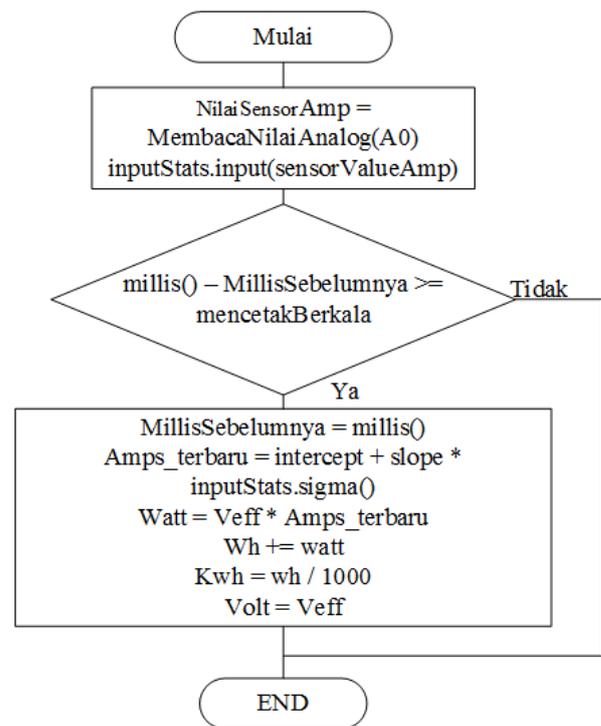
Sensor ZMPT101B-5 memiliki karakteristik akurasi tinggi, konsistensi yang baik untuk tegangan dan daya pengukuran, dan dapat mengukur tegangan AC hingga 250 V [13]. Sensor tersebut dibaca oleh prosesor melalui blok *Analog-to-Digital Converter* (ADC).

Prinsip transduksi pada sensor tegangan ZMPT101B juga menggunakan prinsip trafo sederhana, seperti pada Gbr. 5. Tegangan yang diukur,  $V_p$ , akan menyebabkan timbulnya arus,  $I_p$ . Arus  $I_p$  akan menginduksi arus  $I_s$  yang akan mengalir pada hambatan  $R$ , menghasilkan tegangan keluaran  $V_{s1}$ . Hubungan antara tegangan masukan  $V_p$  dan tegangan keluaran  $V_{s1}$  adalah  $V_{s1} = 0,0035V_p$ . Persamaan tersebut digunakan untuk kalibrasi sensor tegangan.

Sensor ACS712 merupakan sensor arus dan sensor tersebut digunakan karena memiliki karakteristik yang linier, sensitivitas keluaran 66 mV/A, dan histerisis magnetik yang mendekati nol. Sensor ACS712 mengubah masukan berupa arus menjadi keluaran berupa tegangan, seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 6.

### B. Algoritme Sistem Energi Meter

Algoritme sistem ditunjukkan pada Gbr. 7 dan Gbr. 8. Algoritme yang ditunjukkan pada Gbr. 7 adalah algoritme perhitungan tegangan, sedangkan algoritme yang ditunjukkan pada Gbr. 8 adalah algoritme perhitungan arus dan perhitungan daya. Algoritme yang ditunjukkan pada Gbr. 7 dimulai dari pembacaan data analog sensor menggunakan peranti mikrokontroler. Selanjutnya, nilai sensor yang diperoleh dalam



Gbr. 7 Diagram alir pembacaan tegangan.

bentuk data digital dibandingkan dengan nilai desimal 511. Nilai tersebut merupakan nilai batas ambang (*threshold*). Nilai  $V_{eff}$  yang didapatkan merupakan hasil perhitungan dari  $V_{max}$  dibagi  $\sqrt{2}$ , kemudian dikalikan dengan faktor pengali.

Algoritme yang ditunjukkan pada Gbr. 8 dimulai dari pembacaan nilai sensor arus yang terbaca, kemudian dihitung arusnya melalui persamaan tertentu. Setelah nilai tegangan dan arus didapatkan, maka energi dapat dihitung, baik dalam satuan Wh maupun kWh.

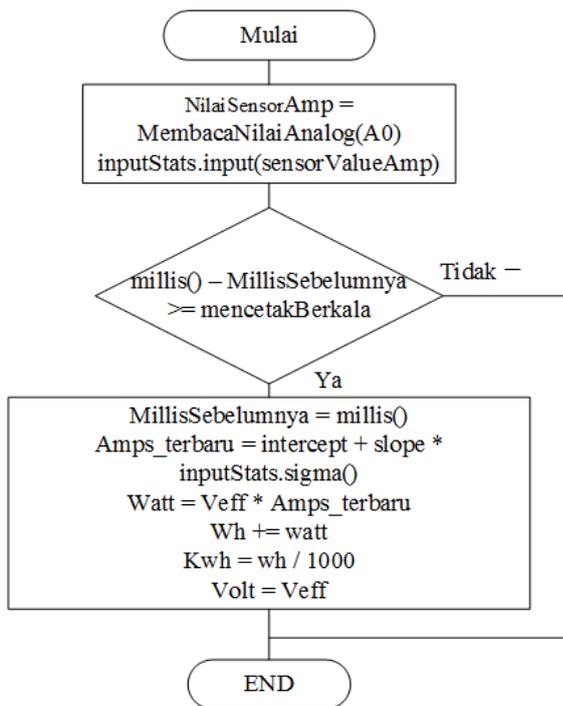
### C. Kalibrasi Sistem Energi Meter

Pengujian perangkat keras dilakukan dengan mengukur parameter tegangan dan arus kerja perangkat mikrokontroler sesuai dengan petunjuk yang ada pada *datasheet* setiap komponen.

Kendala saat melakukan pengukuran adalah validitas nilai hasil pengukuran. Hal ini dikarenakan setiap pengukuran yang menggunakan alat ukur hanya dapat menghasilkan nilai perkiraan. Dengan demikian, dalam merancang sebuah alat ukur harus ada nilai pembanding yang dapat diperoleh dari hasil perhitungan atau dari hasil pengukuran menggunakan alat ukur yang telah diakui kemampuannya. Nilai pembanding tersebut digunakan untuk mengetahui besar kesalahan dalam pengukuran dan memprediksi tingkat ketelitian alat ukur yang dibuat.

Ada beberapa cara dalam menentukan kesalahan, salah satunya adalah menentukan persentase kesalahan (*percent of error*) menggunakan (6) [15].

$$\%error = \frac{|nilai\ pengukuran - nilai\ pembanding|}{nilai\ pembanding} \times 100\% \quad (6)$$



Gbr. 8 Diagram alir pembacaan arus dan perhitungan daya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi hasil pengujian yang diperoleh, dan terdiri atas pemaparan hasil kalibrasi dan hasil pengukuran.

A. Hasil Kalibrasi

Untuk memastikan bahwa sistem pemantauan ini dapat memberikan hasil pengukuran yang sesuai dengan kondisi nyatanya, perlu dilakukan kalibrasi. Proses kalibrasi ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran dengan alat yang telah terkalibrasi, yaitu sebuah amperemeter dan sebuah beban. Saat proses kalibrasi berlangsung, sistem energi meter dan amperemeter secara bersamaan akan menghasilkan nilai tegangan dan arus. Nilai ini kemudian dicatat untuk dilihat perbandingannya dan diperoleh nilai kesalahan dari sistem energi meter yang telah dirancang. Hasil kalibrasi sistem energi meter disajikan dalam Tabel I.

Hasil pada Tabel I menunjukkan bahwa pada awal kalibrasi, selisih nilai tegangan terukur antara sistem energi meter dan multimeter menghasilkan tingkat *error* terbesar, yaitu 14,30%. Perhitungan nilai *error* dilakukan berdasarkan (6). Proses pengukuran dilakukan sebanyak dua kali dan tingkat *error* terjadi pada kisaran nilai 3,00–4,00%. Mengacu pada Standar IEC No. 13B-23, sistem energi meter untuk pengukuran parameter tegangan termasuk dalam kelas kelima, yaitu golongan dari kelas 1,5, 2,5 dan 5. Alat ukur ini biasa digunakan pada panel-panel yang tidak begitu memperhatikan presisi dan ketelitian.

Penelitian ini merupakan tahap awal untuk merancang suatu sistem energi meter yang dapat diimplementasikan. Dapat dikatakan bahwa sistem pengukuran ini layak digunakan untuk mengukur tegangan yang kemudian digunakan untuk memprediksi konsumsi energi listrik pada suatu bangunan.

TABEL I  
HASIL KALIBRASI TEGANGAN

Pengukuran	Multimeter (Volt)	Energi Meter (Volt)	Selisih (Volt)	Error (%)
1	132,00	150,83	18,83	14,30
2	144,20	140,95	3,25	2,30
3	154,70	167,30	12,60	8,10
4	166,60	167,30	0,70	0,40
5	177,70	170,60	7,10	4,00
6	188,00	182,13	5,87	3,10
7	201,20	196,00	5,20	2,60
8	211,80	210,13	1,67	0,80
9	220,70	218,36	2,34	1,10
10	226,80	216,77	10,03	4,40
11	233,30	224,95	8,35	3,60
12	240,50	223,30	17,20	7,20
13	248,00	238,13	9,87	4,00
14	252,00	238,13	13,87	5,50
<b>Rerata</b>				<b>4,40</b>



Gbr. 9 Hasil rancang bangun sistem energi meter.

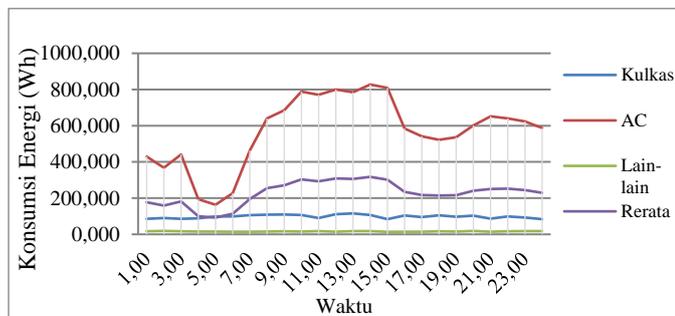
B. Hasil Pengukuran

Hasil dari sistem yang dibangun ditunjukkan oleh Gbr. 9 dan Gbr. 10. Sistem tersebut diimplementasikan pada sebuah unit di rusunawa. Hasil pemantauan sistem energi meter digunakan untuk melihat besar konsumsi energi untuk masing-masing peralatan listrik pada unit tersebut, seperti pada Gbr. 11.

Pada Gbr. 11 tampak bahwa penggunaan energi listrik terbesar adalah *air conditioning*, dengan puncaknya terjadi pada pukul 10.00 sampai 15.00 WIB. Hal tersebut terjadi karena suhu luar di lokasi saat pengukuran mencapai 35°C, yang menyebabkan lingkungan ruang huni terasa panas. Penggunaan energi listrik oleh kulkas relatif lebih rendah daripada *air conditioning* dan tidak fluktuatif karena kondisi kulkas yang selalu menyala. Berdasarkan hasil pengukuran, terlihat bahwa sistem energi meter mampu memprediksi pola konsumsi energi dan nilai konsumsi tertinggi pada periode waktu tertentu. Data penelitian awal dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dan rekomendasi untuk meningkatkan kinerja sistem energi meter yang ditinjau dari aspek perangkat lunak dan perangkat keras. Target penelitian selanjutnya adalah

1	09.05.18	12:42:32	0	0	0	0
2	09.05.18	12:42:33	0,06	215,07	12,28	0
3	09.05.18	12:42:34	0,07	213,42	14,54	0
4	09.05.18	12:42:35	0,06	211,77	11,67	0
5	09.05.18	12:42:36	0,05	198,6	10,43	0
6	09.05.18	12:42:37	0,05	211,77	11,56	0
7	09.05.18	12:42:38	0,07	206,83	14,22	0
8	09.05.18	12:42:39	0,07	203,54	13,48	0
9	09.05.18	12:42:49	0	0	0	0
10	09.05.18	12:42:50	0,05	195,3	10,61	0
11	09.05.18	12:42:51	0,04	198,6	8,56	0
12	09.05.18	12:42:58	0	0	0	0
13	09.05.18	12:42:59	0,04	198,6	7,59	0
14	09.05.18	12:43:00	0,04	198,6	8,09	0
15	09.05.18	12:43:01	0,04	193,66	7,48	0
16	09.05.18	12:43:02	0,04	198,6	7,95	0
17	09.05.18	12:43:03	0,04	195,3	8,35	0
18	09.05.18	12:43:04	0,05	200,24	9,2	0
19	09.05.18	12:43:05	0,05	200,24	10,88	0
20	09.05.18	12:43:06	0,04	192,01	8,02	0
21	09.05.18	12:43:07	0,06	198,6	11,44	0
22	09.05.18	12:43:08	0,04	193,66	6,89	0
23	09.05.18	12:43:09	0,06	193,66	11,3	0

Gbr. 10 Hasil pengukuran salah satu piranti menggunakan sistem energi meter.



Gbr. 11 Hasil konsumsi energi untuk peralatan listrik di rumah susun.

merancang sistem energi meter yang mampu menghasilkan *error* kelas 0,05, 0,1, dan 0,2, sehingga termasuk dalam sistem pengukuran yang memiliki presisi tertinggi yang biasa digunakan pada laboratorium tersertifikasi.

## V. KESIMPULAN

Desain sistem pengukur konsumsi energi listrik, energi meter, telah berhasil disusun dengan tingkat *error* sebesar 4,40%. Berdasarkan hasil pengukuran pada unit rusunawa, konsumsi energi listrik terbesar dihasilkan oleh unit pendingin udara (*air conditioning*), dengan kisaran nilai 800 kWh. Penelitian ini masih merupakan tahap awal sistem pemantau konsumsi energi bangunan, yang keluarannya masih merupakan unit-unit pemantau terpisah yang belum terhubung dalam suatu jaringan sistem bangunan. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur seperti pemantauan daring (*online monitoring*) dengan biaya yang lebih murah dan penguatan pada metode kalibrasi sensor.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sangat mengapresiasi dan berterima kasih kepada beberapa pihak yang terlibat dalam penelitian ini. Penelitian ini merupakan penelitian yang didanai oleh Hiroshima University, Jepang melalui Unit Penyelenggara Riset Integrated Smart and Green Building (INSGREEB) di bawah Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika. Terima kasih juga disampaikan kepada Laboratorium Sensor dan Sistem Tele-Kontrol di Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika yang menyediakan fasilitas untuk melakukan perancangan dan implementasi instrumen serta beberapa uji validasi instrumen.

## REFERENSI

- [1] *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*, ASHRAE Standard 90.1, 2016.
- [2] H. Batih dan S. Chumnong, "Characteristics of Urban Households Electrical Energy Consumption in Indonesia and Its Saving Potentials," *Renew. Sust. Energ. Rev.*, Vol. 57, hal. 1160-1173, 2016.
- [3] N. Karali, M.A. McNeil, dan V. Letschert, "Potential Impact of Lighting and Appliance Efficiency Standards on Peak Demand: The Case of Indonesia," Lawrence Berkeley Nat. Lab., Berkeley, CA, USA, Tech. Rep. LBNL-1003760, 2015.
- [4] (2009) "Persentase Rumah Tangga Menurut Provinsi dan Status Kepemilikan Rumah Kontrak Sewa," [Online], <https://www.bps.go.id/statictable/2009/03/12/1541/persentase-rumah-tangga-menurut-provinsi-dan-status-kepemilikan-rumah-kontrak-sewa-1999-2017.html>, tanggal akses: 25-Jun.-2019.
- [5] (2019) "Pemerintah Kabupaten Sleman," [Online], <http://www.slemankab.go.id/>, tanggal akses: 25-Jun.-2019.
- [6] "Pengelolaan Rumah Susun Sederhana Sewa," Peraturan Menteri Negara Perumahan Rakyat RI, No. 14, 2007.
- [7] P. Vadda dan S.M. Seelam, "Smart Metering for Smart Electricity Consumption," Master Tesis, School of Comp., Blekinge Inst. Tech., Karlskrona, Sweden, 2013.
- [8] Zurnawita dan C. Prabowo, "Rancang Bangun Sistem Pemantau Penggunaan Energi Listrik," *Jurnal Momentum*, Vol. 18, No.1, hal. 84-89, 2016.
- [9] "Studi pada Konservasi Energi dan Peningkatan Efisiensi di Indonesia," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI, Agt. 2009.
- [10] I. Abubakar, S.N. Khalid, M.W. Mustafa, H. Shareef, dan M. Mustapha, "Calibration of ZMPT101B Voltage Sensor Module Using Polynomial Regression for Accurate Load Monitoring," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 12, No. 4, hal. 1076-1084, Feb. 2017.
- [11] (2019) "Basic Electrical Engineering, Part 11: Power in AC Circuits," [Online], <http://www.itacanet.org/basic-electrical-engineering/part-11-power-in-ac-circuits/>, tanggal akses: 1 Agt. 2019.
- [12] (2014) "Reactive Power," [Online], <http://www.electronicstutorials.ws/accircuits/reactive-power.html>, tanggal akses: 1-Agt.-2019.
- [13] S.S. Utami, A.A. Na'im, E. Kencanawati, M.A. Tanjung, dan B. Achmad, "Energy Monitoring System for Existing Buildings in Indonesia," *E3S Web of Conferences*, Vol. 42, 2018, paper 01003, hal. 1-7.
- [14] Ravi (2018) "Interfacing ACS712 Current Sensor with Arduino - Measure Current with Arduino," [Online], <https://www.electronicshub.org/interfacing-acs712-current-sensor-with-arduino/>, tanggal akses: 1-Agt.-2019.
- [15] N. Amaro, "Sistem Monitoring Besar Listrik dengan Teknologi IoT (*Internet of Things*)," Skripsi, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 2017.