TERAKREDITASI RISTEKDIKTI No. 36b/E/KPT/2016

Jurnal Rekayasa Elektrika

VOLUME 14 NOMOR 1 APRIL 2018

Rancang Bangun Smart Energy Meter Berbasis UNO dan Raspberry Pi 9-18

Agung Budi Muljono, I Made Ari Nrartha, I Made Ginarsa, dan I Made Budi Suksmadana

JRE	Vol. 14	No. 1	Hal 1–82	Banda Aceh, April 2018	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X

Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 14, No. 1, April 2018, hal. 9-18
ISSN. 1412-4785; e-ISSN. 2252-620X, Terakreditasi RISTEKDIKTI No. 36b/E/KPT/2016
DOI: 10.17529/jre.v14i1.8718

Rancang Bangun Smart Energy Meter Berbasis UNO dan Raspberry Pi

Agung Budi Muljono, I Made Ari Nrartha, I Made Ginarsa, dan I Made Budi Suksmadana
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
Jl. Majapahit No. 62, Mataram 83125
e-mail: agungbm@unram.ac.id

***Abstrak*—Smart energy meter (SEM) dikembangkan dengan tujuan transparansi konsumsi energi oleh konsumen untuk strategi tarif. Strategi tarif dirancang berdasarkan jenis beban konsumen. Strategi tarif berupa beda harga energi per-kWh untuk beban linear dan nonlinear. Kesadaran bayar energi dibangun dengan menampilkan semua informasi konsumsi daya beban dari konsumen seperti: tegangan, arus, faktor daya, sifat beban, jenis beban, daya, distorsi volt-ampere, distorsi faktor daya, THD, bentuk gelombang arus dan tegangan, serta spektrum frekuensi harmoniknya. Rancang bangun SEM menggunakan sensor arus ZMCT103C dan sensor tegangan ZMPT101B. Fungsi keamanan SEM menggunakan sensor getar SW420, sensor buka/tutup baut pada *casing* dan kunci elektronik. Hasil penelitian diperoleh kesalahan pengukuran sensor tegangan, arus, dan faktor daya berturut-turut sebesar 0,8 %, 1,5%, dan 1,0%. Keamanan SEM berfungsi dengan baik, informasi tindakan pemeliharaan dan kriminal ditampilkan pada layar dan bunyi buzzer untuk tindakan kriminal. Strategi tarif untuk beban linear dan nonlinear dapat berfungsi untuk menghitung biaya energi per-kWh. Detail konsumsi energi beban disimpan dalam sebuah database.**

Kata kunci: ***Smart Energy Meter, UNO, raspberrypi, python, mysql***

***Abstract*—Smart energy meter (SEM) is developed to the transparency goal of energy consumption by consumers for tariff strategy. The tariff strategy is designed based on the type of consumer load that per-kWh energy price difference for linear and nonlinear loads. Energy conscious awareness is built by displaying all load power consumption information from consumer loads such as voltage, current, power factor, load properties, load type, power, volt-ampere distortion, power factor distortion, THD, current and voltage waveforms, and harmonic frequency spectrum. The SEM is designed using ZMCT103C and ZMPT101B for current and voltage sensors, respectively. The SEM security function uses the SW420 vibrating sensor, open/close bolt sensor on the chasing and electronic lock. The results show that error measurement of the voltage sensor, current sensor, and power factor are 0.8%, 1.5%, and 1.0% respectively. The SEM security works well as the information on maintenance and criminal actions are informed on screen and buzzer sound for criminal acts. The tariff strategy for linear and nonlinear loads is used to calculate the energy cost per-kWh. The details of load energy consumption are stored in a database.**

Keywords: ***Smart energy meter, UNO, raspberrypi, python, mysql***

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Perkembangan beban-beban listrik sangat pesat dan bervariasi. Beban-beban listrik linear seperti pemanas, *rice cooker*, motor-motor listrik, microwave, dan lain sebagainya. Beban-beban listrik nonlinear seperti lampu LED, *charger mobile phone* (HP), *charger* sepeda listrik, dan *charger* mobil listrik. Beban-beban listrik nonlinear memberikan dampak distorsi gelombang arus pada sistem [1, 2, 3].

Distorsi gelombang arus disebut harmonik arus. Harmonik arus fungsi waktu merupakan jumlah dari gelombang-gelombang sinus dengan frekuensi kelipatan integer dari frekuensi dasar. Harmonik arus menyebabkan nilai RMS arus lebih tinggi, sehingga susut energi dan suhu konduktor meningkat, umur ekonomis transformator dan motor-motor listrik berkurang, dan rele salah bekerja, bahkan gagal men-*trip*-kan *circuit breaker* [4].

Harmonik menjadi salah satu penyebab masalah kualitas daya. Kualitas daya rendah menyebabkan pengukuran pada energi meter tidak valid. Energi meter jenis digital menghasilkan kesalahan ukur lebih kecil dari pada meter analog untuk sistem dengan masalah kualitas daya [5].

Perkembangan desain *energy meter* digital sangat pesat. *Energy meter* digital yang dikembangkan adalah *smart energy meter*. *Smart energy meter* mempunyai informasi tambahan seperti besar energi yang terpakai dalam kWh dan harga energi tersebut. Smart meter dirancang untuk mempermudah pemantauan energi oleh konsumen dan produsen [6, 7]. Revolusi dalam produksi energi dari jaringan akibat penetrasi pembangkit

Received 18 October 2017; Revised 05 March 2018; Accepted 12 March 2018

tersebar yang semakin luas, maka dikembangkan *smart energy meter* untuk *power grid* [8]. Arsitektur *smart meter* dengan biaya murah dikembangkan untuk dapat dipasarkan dan usulan *add-on* untuk meter yang sudah terpakai di konsumen untuk menghindari pembelian *smart meter* baru [9]. Pengembangan *smart meter* pada LabView untuk tujuan strategi tarif berdasarkan waktu pemakaian dan kualitas daya [10]. *Smart meter* selain untuk mempermudah pemantauan energi oleh produsen, juga untuk mencegah pencurian [11].

Tansparansi konsumsi energi untuk masalah kualitas daya dibutuhkan untuk strategi tarif yang dapat diterima oleh konsumen. Rancangan *smart energy meter* untuk tujuan itu diperlukan. *Smart energy meter* jenis ini harus dapat menampilkan semua informasi konsumsi daya dari beban seperti tegangan, arus, faktor daya, sifat beban (*lagging/leading*), jenis beban (linear/nonlinear), daya, distorsi daya, distorsi faktor daya, dan total harmonic distortion (THD). Disamping itu perlu ada visualisasi bentuk gelombang tegangan dan arus serta kandungan harmoniknya dalam bentuk spektrum tegangan dan arus fungsi frekuensi harmonik. Pada penelitian ini dirancang *smart energy meter* untuk tujuan transparansi penggunaan energi listrik oleh konsumen dengan menambahkan fungsi keamanan untuk meter berbasis Arduino UNO dan Raspberry pi.

II. Studi Pustaka

Pada studi pustaka dijelaskan teori yang digunakan pada perhitungan *root mean square* (RMS), nilai rata-rata, faktor daya, daya reaktif, daya semu, *total harmonic distortion* (THD), faktor distorsi, *displacement* faktor daya, distorsi volt-ampere, energi, denda, dan insentif.

A. Perhitungan RMS

Nilai rms arus dan tegangan diperoleh dari sensor arus dan tegangan untuk satu periode sinyal. Pada satu periode sinyal nilai rms arus dan tegangan ditulis pada Persamaan (1),

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1}\left|x_i\right|^2}, \quad (1)$$

dengan x_{RMS}, x_i, dan n berturut-turut adalah nilai rms, sinyal arus atau tegangan, dan jumlah data dalam satu periode.

B. Perhitungan Nilai Rata-rata

Nilai rata-rata pada arus dan tegangan AC adalah nol. Daya aktif dihitung dari nilai rata-data daya sesaat. Daya sesaat adalah perkalian sinyal arus dan tegangan. Persamaan (2) adalah rumus untuk perhitungan daya aktif,

$$P_{rerata} = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i, \quad (2)$$

dimana P_{rerata}, x_i dan n berturut-turut adalah daya aktif, daya sesaat dan jumlah data dalam satu periode sinyal.

C. Perhitungan Faktor Daya

Nilai faktor daya beban dihitung menggunakan hasil perhitungan Persamaan (1) dan (2). Sementara itu, faktor daya dihitung menggunakan Persamaan (3),

$$fd = \frac{P_{rerata}}{v_{RMS}\ i_{RMS}}, \quad (3)$$

dengan fd, v_{RMS}, dan i_{RMS} berturut-turut adalah faktor daya, tegangan RMS, dan arus RMS.

D. Perhitungan Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang tidak pernah hilang dalam jaringan. Daya reaktif diperoleh dengan Persamaan (4) berikut,

$$Q = v_{RMS} i_{RMS} in\left(a\cos\left(fd\right)\right), \quad (4)$$

dengan Q adalah daya reaktif.

E. Perhitungan Daya Semu

Daya semu merupakan besaran daya yang dikirim dari sumber ke beban dan dinyatakan dengan Persamaan (5),

$$S = \sqrt{P_{rerata}^2 + Q^2}, \quad (5)$$

dengan S adalah daya semu.

F. Perhitungan THD

Total harmonic distortion (THD) adalah besaran yang menyatakan kandungan harmonisa pada sinyal arus atau tegangan. Nilai THD diperoleh dengan konstruksi sinyal fungsi waktu ke fungsi frekuensi menggunakan *discrete Fourier transform* (DFT).

$$THD = \frac{\sqrt{A_2 + A_3 + A_4 + \ldots}}{A_1}, \quad (6)$$

dimana THD, A_1, A_2, A_3, dan A_4 berturut-turut adalah *total harmonic distortion*, amplitudo frekuensi dasar, amplitudo dua kali frekuensi dasar, amplitudo tiga kali frekuensi dasar, dan amplitudo empat kali frekuensi dasar.

G. Perhitungan Faktor Distorsi

Rasio dari nilai RMS frekuensi dasar terhadap nilai RMS total disebut faktor distorsi. Faktor distorsi dapat dihitung dengan Persamaan (7),

$$fd = \sqrt{\frac{1}{1+\left(THD\right)^2}}. \quad (7)$$

H. Perhitungan Faktor Daya Displacement

Faktor daya *displacement* adalah faktor daya beban pada frekuensi dasar. Faktor daya ini dapat diperoleh dari beda sudut tegangan dan arus pada frekuensi dasar.

$$fdd = \cos(\theta_1), \quad (8)$$

dengan *fdd* dan θ_i berturut-turut adalah faktor daya *displacement* dan selisih sudut tegangan dan arus pada frekuensi dasar.

I. Perhitungan Distorsi Volt-Ampere

Akibat dari beban nonlinear adalah arus beban tidak berbentuk sinus murni seperti sumber tegangan aslinya. Beban nonlinear memberikan tambahan volt-ampere yang disebut distorsi volt-ampere,

$$D = V_{1,RMS}\sqrt{\sum_{n\neq 1}^{\infty} I_{n,RMS}^2}, \quad (9)$$

dengan $V_{1,RMS}$ adalah magnitude tegangan pada frekuensi dasar.

J. Perhitungan Energi

Energi dihitung berdasarkan daya aktif yang dikonsumsi oleh beban dalam selang waktu tertentu dan dinyatakan dalam Persamaan 10,

$$E = P_{rerata} \times t. \quad (10)$$

K. Denda dan Insentif.

Kualitas daya mempengaruhi pembacaan meter dan rugi-rugi penyaluran. Salah satu penyebab rendahnya kualitas daya adalah beban nonlinear. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan strategi denda atau tambahan biaya yang dikenakan kepada konsumen untuk penggunaan beban listrik nonlinear per-kWh-nya. Sebaliknya, untuk konsumen yang menggunakan beban linear diberi insentif sehingga biaya energi per-kWh lebih murah dari pada beban nonlinear.

III. METODE

A. Metoda Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini ditabulasikan pada Tabel 1. Alat yang digunakan pada penelitian diperlihatkan pada Tabel 2. Semua alat yang digunakan untuk pengukuran SEM dikalibrasi terlebih dahulu. Dan, alur pelaksanaan penelitian dapat diilustrasikan dengan diagram alir pada Gambar 1.

B. Perancangan

1. Sensor Tegangan dan Sensor Arus

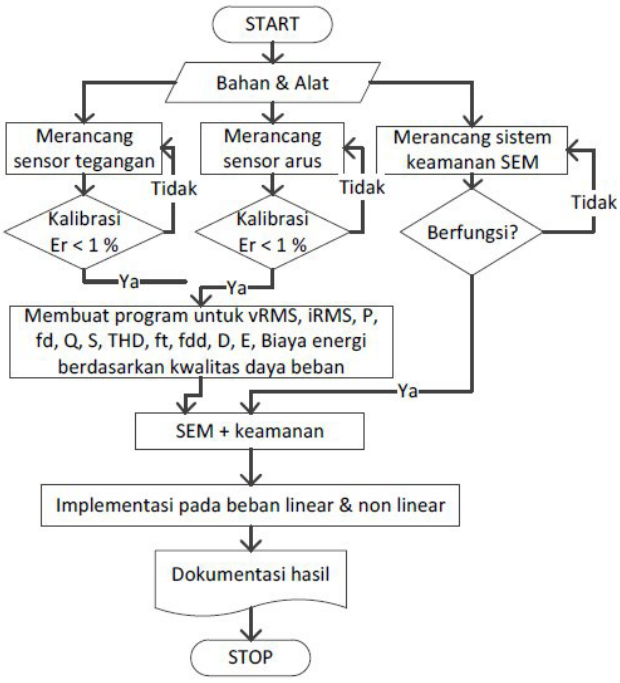
Rangkaian sensor tegangan ZMPT101B (Gambar 2a) [12] menggunakan perbandingan trafo 1:1 dengan arus maksimum 2 mA. Sensor arus ZMCT103C (Gambar 2b) [13] mempunyai perbandingan arus 1000:1. Linear range 0~10A (sampling resistor 50 ohm).

Tabel 1. Bahan penelitian

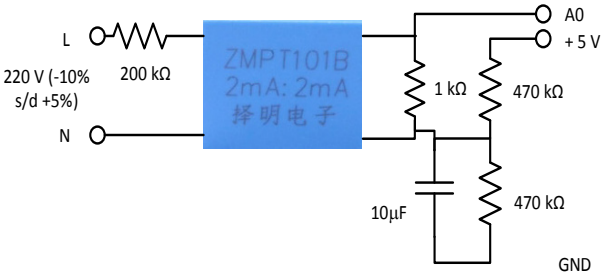
Alat	Jumlah	Keterangan
ZMPT 101B	1	Sensor tegangan
ZMCT103C (class A)	1	Sensor arus
Arduino Uno R 3	1	
Raspberry Pi 3 B+	1	
5 Inch LCD HDMI TS	1	
RTC DS 3231	1	
Relay 1 channel	1	
Power Adaptor 12 V 5 A	1	
LM2596 DC Step Down 3 A	1	
Kunci elektronik	1	
SW420	1	Sensor getar
Buzzer 12 volt	1	
Led	4	
Transistor C9014	1	
Resistor	14	
Kapasitor	2	

Tabel 2. Alat penelitian

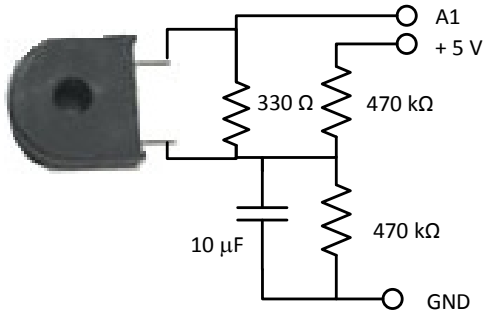
Alat	Jumlah	Keterangan
Lucas_Nulle, LM2330 Multi 13 S	1	
Leybold 727 12 Power Faktor Meter	1	Kalibrasi faktor daya
Analog Oscilloscope HM303-6, 35 MHz	1	Kalibrasi bentuk gelombang



Gambar 1. Diagram alir penelitian

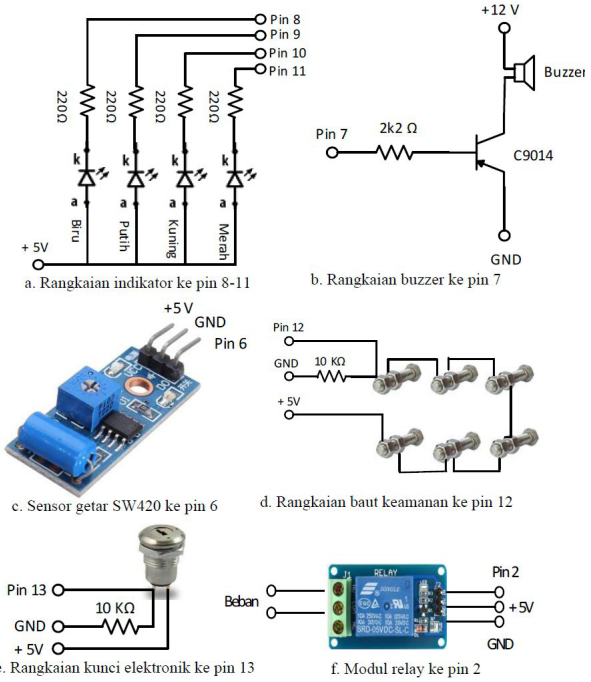


(a). Sensor tegangan



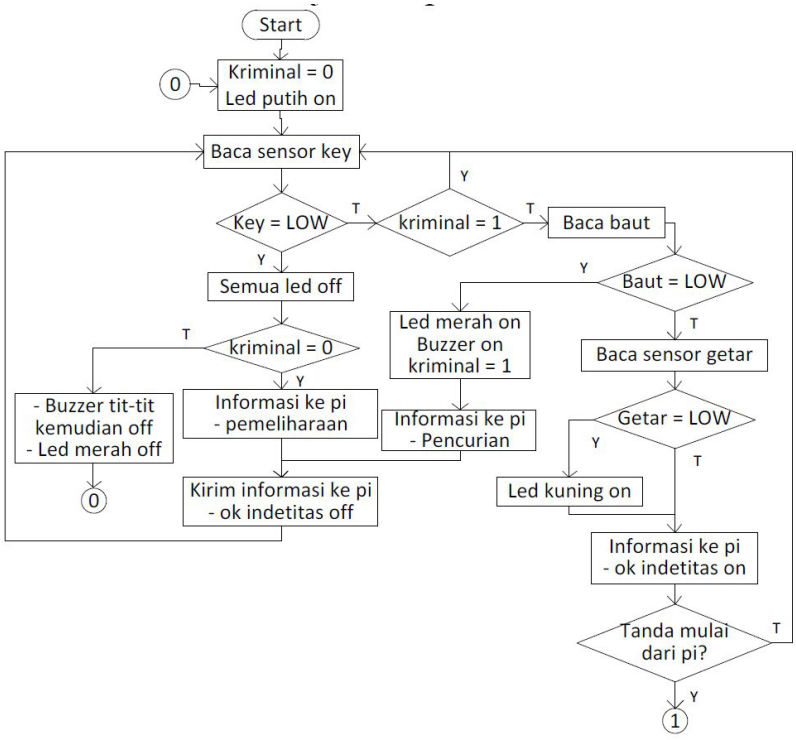
(b). Sensor arus

Gambar 2. Rangkaian listrik sensor tegangan [12] dan arus [13]



a. Rangkaian indikator ke pin 8-11
b. Rangkaian buzzer ke pin 7
c. Sensor getar SW420 ke pin 6
d. Rangkaian baut keamanan ke pin 12
e. Rangkaian kunci elektronik ke pin 13
f. Modul relay ke pin 2

Gambar 3. Pin-pin UNO [14] untuk indikator dan rele [15]



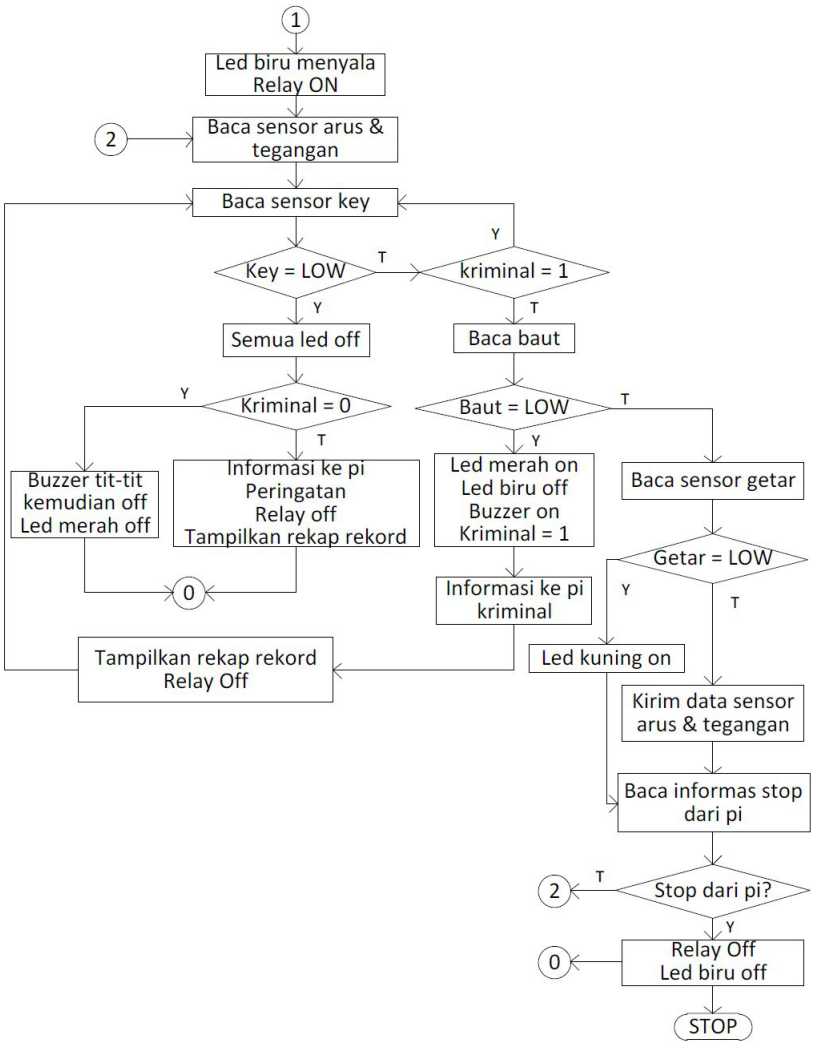
Gambar 4. Diagram alir program pada UNO bagian pertama

2. Indikator Operasi, Sistem Keamanan dan Modul Rele

Indikator operasi dan gangguan keamanan dengan indikator led dan buzzer. Indikasi tindakan kriminal yaitu membuka meter tanpa mematikan fungsi keamanan. Untuk mematikan fungsi keamanan digunakan kunci elekronik. Rangkaian untuk indikator operasi dan gangguan keamanan pada Gambar 3 a-e [14]. Modul rele terdiri dari NO, NC, dan catu daya untuk rele sebesar 5 VDC [15]. Gambar 3 f menunjukkan ilustrasi dari modul rele besarta pin yang dihubungkan keluar.

3. Perangkat Lunak pada UNO

Penelitian ini menggunakan IDE Arduino 1.8.2 untuk membaca sensor tegangan pada port analog A_0 dan sensor arus pada port analog A_1. Port digital untuk indikator operasi dan keamanan SEM. Diagram alir program pada IDE arduino 1.8.2 ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 5. Diagram alir program pada UNO bagian kedua

4. Perangkat Lunak pada Raspberry

Sistem operasi yang digunakan adalah *Linux Raspberrypi* 4.9.35-v7+. Untuk program dan *graphic user interface* (GUI) yang digunakan pada penelitian ini adalah bahasa *python* dan *database mysql*.

5. Bahasa Python

Bahasa *python* digunakan untuk membaca data dari UNO dan untuk menghitung semua variabel SEM secara paralel. Proses paralel menggunakan modul *threading*. Bahasa *Python* yang digunakan adalah versi 2.7.9. Terdapat 3 sampai 4 proses berjalan secara bersama-sama. Proses GUI, proses baca data, proses hitung v_{RMS}, dan proses hitung i_{RMS}, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan variabel-variabel lainnya.

6. Database Mysql

Mysql server yang digunakan adalah versi 5.5.57-0+deb8u1. *Mysql server* pada pi untuk mengelola data variabel yang diperoleh dari beban. Langkah selanjutnya adalah menyimpan data indentitas pengguna berdasarkan ID pengguna yang bersifat unik. Data ID pengguna diambil dari tanggal-bulan-jam-menit-detik SEM diakses. Administrator dari SEM dapat mengecek dan mengetahui penggunaan energi setiap pengguna SEM.

IV. Hasil dan Pembahasan

Alat SEM setelah dirakit sesuai rencana maka alat SEM siap digunakan. Kotak SEM dibuat dari bahan *acrylic* 3 milimeter transparan. Bentuk fisik dari SEM ditunjukkan pada Gambar 6.

A. Hasil Kalibrasi

Sensor-sensor dikalibrasi dengan cara membandingkan hasil baca dari sensor dengan hasil baca alat ukur yang digunakan sebagai referensi. Dalam hal ini Multimeter LM2330 dan Multi 13S digunakan untuk masing-masing kalibrasi sensor tegangan dan sensor arus. Dan, kalibrasi faktor daya digunakan alat ukur Leybold 727 12.

Diperoleh hasil kalibrasi dengan skala sebesar 205,82 dan 3,10 masing-masing untuk sensor tegangan dan arus. Juga diperoleh hasil kesalahan baca sensor rata-rata

Gambar 6. Bentuk fisik dari SEM

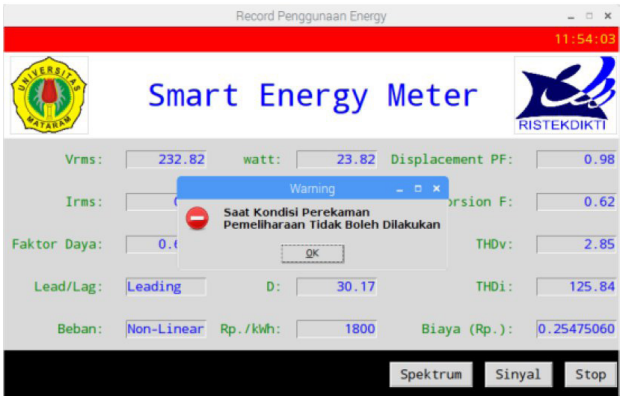
sebesar 0,8 %, 1,5%. dan 1,0% berturut-turut untuk sensor tegangan, arus, dan faktor daya untuk ketelitian dua angka di belakang koma.

Bentuk gelombang juga ditampilkan menggunakan *analog oscilloscope* HM303-6, 35 MHz. Hasil pembacaan menunjukkan hasil yang sama dengan hasil pembacaan sensor. UNO mempunyai pembacaan data analog 10.000 data per detik. Untuk kedua sensor (sensor arus dan tegangan), setiap sensor secara ideal dapat memperoleh data sebanyak 5000 data per detik. Pada penelitian ini data yang dibaca setiap sensor adalah 200 data, sehingga diperoleh bentuk gelombang 2 periode untuk frekuensi listrik 50 Hz.

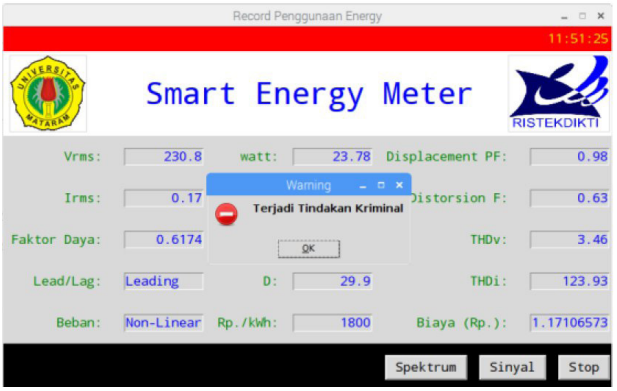
B. Uji Fungsi Indikator Operasi dan Sistem Keamanan

Lampu LED digunakan sebagai indikator operasi dan gangguan keamanan SEM. Alat SEM menggunakan 4 LED, yaitu LED putih, biru, kuning atau merah. LED putih untuk indikator SEM siap digunakan. LED biru untuk indikator SEM sedang merekam penggunaan energi. LED kuning untuk indikator terjadi gunjangan pada SEM. LED merah untuk indikator terjadi tindakan kriminal. Ketika penutup SEM dibuka tanpa mematikan kunci elektronik maka LED merah akan menyala dibarengi dengan bunyi buzzer. Kunci elektronik digunakan untuk mematikan fungsi keamanan SEM, apabila sewaktu-waktu diadakan pemeliharaan untuk SEM.

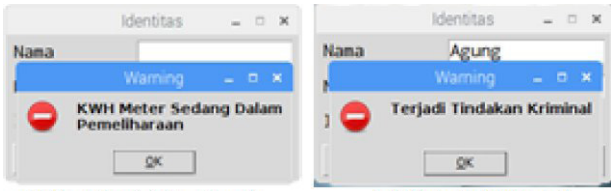
Tindakan kriminal atau mematikan kunci elektronik SEM pada saat merekam beban menyebabkan SEM otomatis memutus rele ke beban sekaligus merekap hasil rekam dan menampilkan tindakan yang dilakukan



Gambar 7. Kunci elektronik dimatikan saat SEM merekam beban



Gambar 8. Baut penutup SEM dibuka saat SEM merekam beban



(a) Indikator kunci elektronik mati (b) Indikator tindak kriminal

Gambar 9. Indikator kunci elektronik mati dan tindak kriminal

pengguna pada layar LCD seperti yang terlihat pada Gambar 7 dan 8.

Tindakan kriminal atau mematikan kunci elektronik pada SEM sebelum digunakan untuk merekam beban ditampilkan pada layar. Gambar 9a dan 9b menunjukkan tindakan tersebut.

C. Setting Harga dan Kata Kunci Untuk Administrator

Menu untuk admistrator dan pengguna ada pada Gambar 10a dan 10b. Kata kunci untuk administrator dapat diubah dengan menekan tombol Ubah Password. Menu untuk merubah password pada Gambar 10c. Harga per-kWh diseting menggunakan akses sebagai administrator. Diperlukan kata kunci dari adminstrator untuk menentukan seting besaran harga. Terdapat 2 harga yaitu harga untuk beban linear dan nonlinear.

D. Implemetasi SEM pada Beban Linear

Sebelum dapat merekam beban, SEM harus menerima

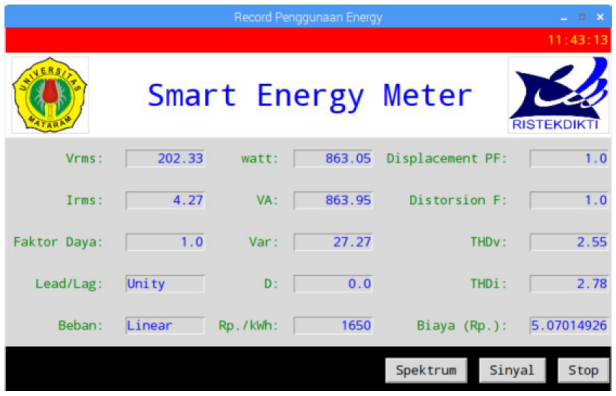
a. Menu administrator

b. Menu untuk pengguna

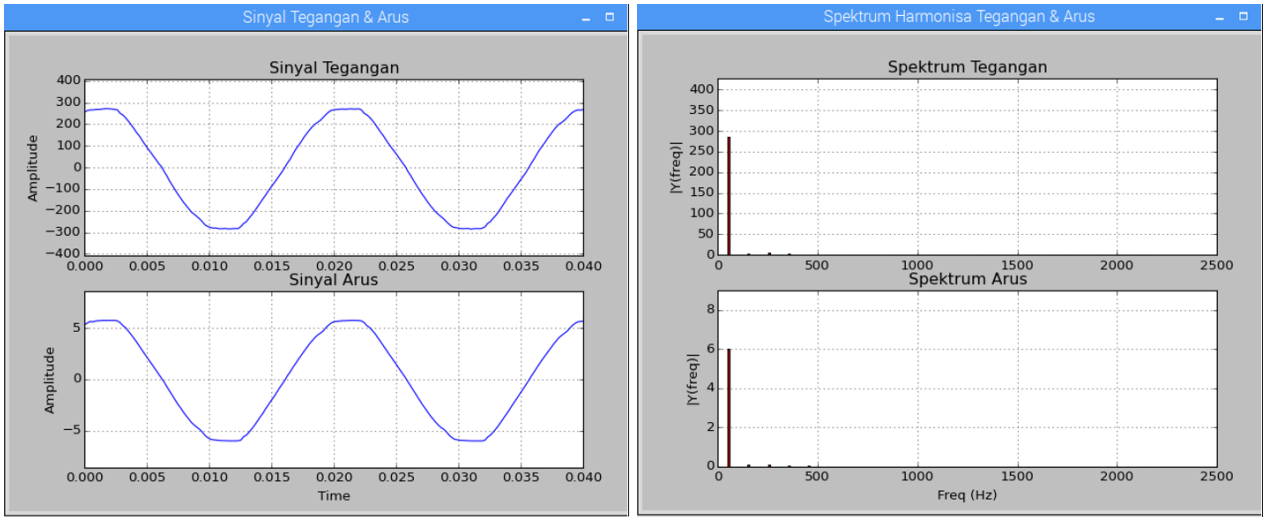
c. Menu untuk ganti password

d. Menu menyetel harga Rp/kWh

Gambar 10. Menu untuk administrator dan pengguna



Gambar 11. Hasil rekam SEM untuk beban *heater*



(a) Gelombang tegangan dan arus

(b) Spektrum tegangan dan arus

Gambar 12. Bentuk gelombang tegangan dan arus dari *heater*

input data pengguna seperti ditunjukkan pada Gambar 10. ID_Pengguna bersifat unik diambil dari tanggal_bulan_jam_menit_detik pada saat SEM siap digunakan. No. HP harus berupa angka, jika bukan angka akan ada peringatan dari SEM.

Beban linear pada penelitian adalah *heater* daya 500 watt. Heater adalah pemanas air yang memiliki resistansi murni berupa elemen pemanas dan memiliki faktor daya 1 (*unity*). Hasil rekam SEM untuk heater pada Gambar 11.

Daya *heater* terukur 863,05 Watt jauh lebih besar dari kapasitar *heater* yaitu 500 Watt. Harga untuk *heater* adalah Rp. 1.650,00 per-kWh karena *heater* termasuk beban linear. Bentuk gelombang tegangan dan arus untuk beban heater pada Gambar 12a (bagian atas).

Bentuk gelombang tegangan dan arus heater hampir sama yaitu berbentuk sinus. Spektrum tegangan dan arus dari *heater* ditampilkan pada Gambar 12a (bagian atas dan bawah). Spektrum harmonisa tegangan dan arus dari heater sangat kecil dibandingkan dengan spektrum pada frekuensi dasar 50 Hz.

Rekap hasil rekaman diperoleh setelah tombol stop ditekan dan secara otomatis rele memutus aliran daya ke beban. Gambar 13 menunjukkan hasil rekap rata-rata

Gambar 13. Hasil rekap rekaman untuk beban *heater*

beban *heater* dalam selang waktu perekaman.

Hasil rekap rekaman menampilkan waktu perekaman dan biaya pemakaian energi listrik selama waktu perekaman yaitu selama 79,82 detik dengan biaya 30,9360523 Rupiah. Gambar 14a dan 14b adalah detail konsumsi energi beban *heater* setiap 3 detik. Selanjutnya, data tersebut tersimpan dalam *database mysql* dengan menggunakan nama *file* sesuai dengan ID_Pengguna.

Record Penggunaan Energy

No	Vrms	Irms	Faktor Daya	Lead/Lag	Beban	Daya Aktif	Daya Semu	Daya Reaktif	Distorsi	Displacen	Distorsior	THDv
5	201.39	4.25	1.0	Unity	Linear	855.11	855.91	26.83	0.0	1.0	1.0	2.8
6	200.44	4.23	1.0	Unity	Linear	846.53	847.86	26.66	58.2	1.0	1.0	4.83
7	201.41	4.25	1.0	Unity	Linear	856.38	855.99	26.88	0.0	1.0	1.0	2.64
8	199.14	4.2	1.0	Unity	Linear	836.26	836.39	26.44	0.0	1.0	1.0	3.22
9	201.9	4.26	1.0	Unity	Linear	860.24	860.09	27.69	0.0	1.0	1.0	2.66
10	201.17	4.25	1.0	Unity	Linear	853.71	854.97	27.47	58.6	1.0	1.0	2.55
11	199.46	4.21	1.0	Unity	Linear	839.94	839.73	26.44	0.0	1.0	1.0	4.62
12	201.24	4.25	1.0	Unity	Linear	854.64	855.27	27.23	0.0	1.0	1.0	2.55
13	202.89	4.28	1.0	Unity	Linear	868.14	868.37	27.01	0.0	1.0	1.0	3.72
14	202.39	4.27	1.0	Unity	Linear	863.12	864.21	27.14	0.0	1.0	1.0	2.58
15	201.37	4.25	1.0	Unity	Linear	855.1	855.82	27.73	0.0	1.0	1.0	2.5
16	201.52	4.25	1.0	Unity	Linear	856.56	856.46	27.47	0.0	1.0	1.0	2.64
17	201.49	4.25	1.0	Unity	Linear	856.18	856.33	27.01	0.0	1.0	1.0	2.6
18	200.77	4.24	1.0	Unity	Linear	851.2	851.26	27.04	0.0	1.0	1.0	3.57
19	202.05	4.26	1.0	Unity	Linear	861.02	860.73	27.04	0.0	1.0	1.0	2.48
20	201.52	4.25	1.0	Unity	Linear	856.17	856.46	26.95	0.0	1.0	1.0	2.73
21	201.6	4.25	1.0	Unity	Linear	857.19	856.8	26.98	0.0	1.0	1.0	2.5
22	201.75	4.26	1.0	Unity	Linear	858.52	859.46	27.65	0.0	1.0	1.0	2.55
23	199.79	4.22	1.0	Unity	Linear	842.01	843.11	26.8	57.94	1.0	1.0	4.71
24	201.18	4.25	1.0	Unity	Linear	854.55	855.02	27.15	0.0	1.0	1.0	2.64

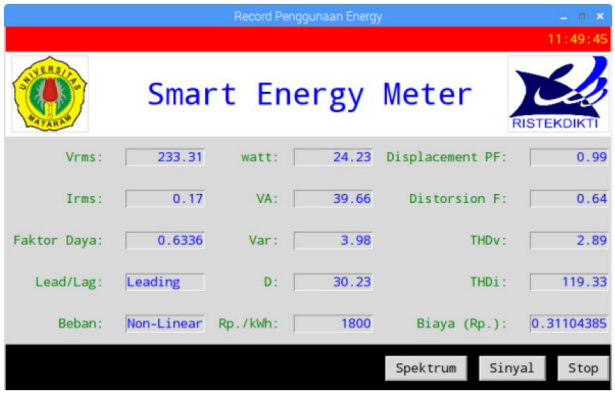
(a) Detail konsumsi energi bagian pertama

Record Penggunaan Energy

d/Lag	Beban	Daya Aktif	Daya Semu	Daya Reaktif	Distorsi	Displacen	Distorsior	THDv	THDi	Waktu Perekam	Biaya Perekamar
nity	Linear	855.11	855.91	26.83	0.0	1.0	1.0	2.8	2.87	17.23	6.44088838583
nity	Linear	846.53	847.86	26.66	58.2	1.0	1.0	4.83	4.74	21.05	7.9228176062
nity	Linear	856.38	855.99	26.88	0.0	1.0	1.0	2.64	2.83	24.22	9.16730027027
nity	Linear	836.26	836.39	26.44	0.0	1.0	1.0	3.22	3.44	28.55	10.8270172714
nity	Linear	860.24	860.09	27.69	0.0	1.0	1.0	2.66	2.77	31.73	12.0816821123
nity	Linear	853.71	854.97	27.47	58.6	1.0	1.0	2.55	2.75	35.18	13.4298534044
nity	Linear	839.94	839.73	26.44	0.0	1.0	1.0	4.62	4.86	38.37	14.6569794068
nity	Linear	854.64	855.27	27.23	0.0	1.0	1.0	2.55	2.78	41.46	15.8686450638
nity	Linear	868.14	868.37	27.01	0.0	1.0	1.0	3.72	3.82	44.69	17.155593652
nity	Linear	863.12	864.21	27.14	0.0	1.0	1.0	2.58	2.82	47.88	18.4173167177
nity	Linear	855.1	855.82	27.73	0.0	1.0	1.0	2.5	2.76	51.0	19.6411350033
nity	Linear	856.56	856.46	27.47	0.0	1.0	1.0	2.64	2.76	54.19	20.8938939929
nity	Linear	856.18	856.33	27.01	0.0	1.0	1.0	2.6	2.79	57.38	22.144322677
nity	Linear	851.2	851.26	27.04	0.0	1.0	1.0	3.57	3.61	60.57	23.3883049178
nity	Linear	861.02	860.73	27.04	0.0	1.0	1.0	2.48	2.81	63.8	24.6634377967
nity	Linear	856.17	856.46	26.95	0.0	1.0	1.0	2.73	2.91	67.16	25.9813635182
nity	Linear	857.19	856.8	26.98	0.0	1.0	1.0	2.5	2.62	70.25	27.1966454675
nity	Linear	858.52	859.46	27.65	0.0	1.0	1.0	2.55	2.75	73.49	28.4731050929
nity	Linear	842.01	843.11	26.8	57.94	1.0	1.0	4.71	4.52	76.67	29.700567757
nity	Linear	854.55	855.02	27.15	0.0	1.0	1.0	2.64	2.78	79.82	30.9360523742

(b) Detail konsumsi energi bagian kedua

Gambar 14. Detail konsumsi energi untuk beban *heater*



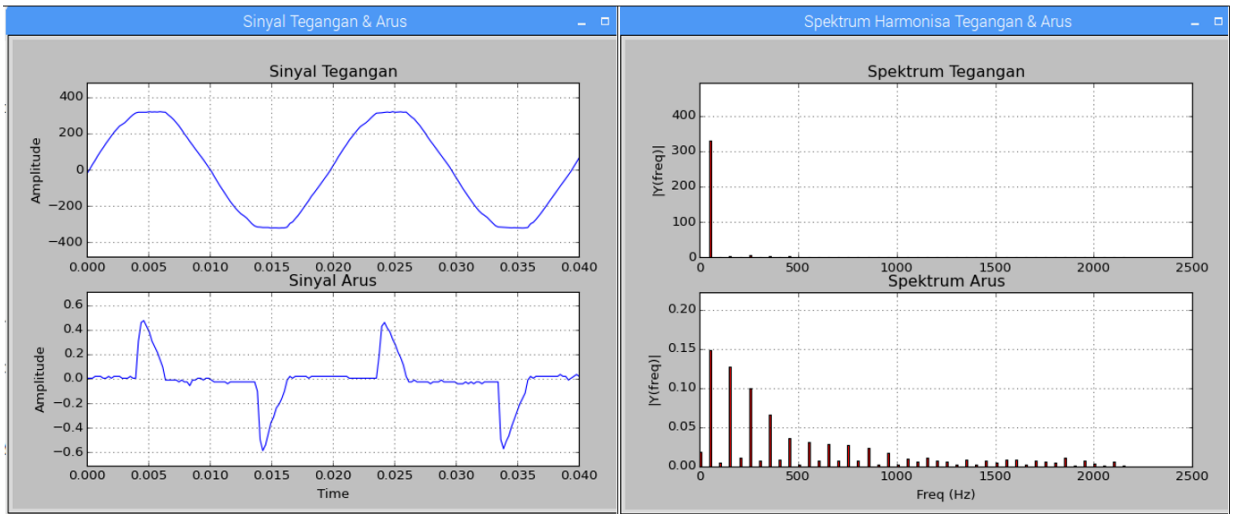
Gambar 15. Hasil rekaman beban *charger* laptop

Gambar 16. Hasil rekap rekaman beban *charger* laptop

E. Implemetasi SEM pada Beban Nonlinear

Charger laptop adalah salah satu beban nonlinear, yang mana dalam penelitian ini charger laptop dipakai contoh untuk memperlihatkan unjuk kerja dari alat SEM. Konsumsi energi listrik dari *charger* laptop direkam dengan SEM. Hasil rekaman dan rekap rekaman tersebut masing-masing ditunjukkan pada Gambar 15 dan 16.

Rekap rekaman Gambar 16 menunjukkan biaya energi beban *charger* laptop selama 88,93 detik adalah 1,17106573 rupiah. Biaya ini untuk daya rata-rata beban *charger* laptop sebesar 23,82 watt.



(a) Gelombang tegangan dan arus (b) Spektrum tegangan dan arus

Gambar 17. Bentuk gelombang dan spektrum beban *charger* laptop

Record Penggunaan Energy

No	Vrms	Irms	Faktor Daya	Lead/Lag	Beban	Daya Aktif	Daya Semu	Daya Reaktif	Distorsi	Displacem	Distorsior	THDv
8	231.02	0.15	0.582	Lagging	Non-Linear	20.34	34.65	-5.06	27.71	0.97	0.6	3.3
9	232.65	0.17	0.6076	Leading	Non-Linear	22.94	39.55	4.85	31.97	0.98	0.62	2.86
10	232.66	0.17	0.5978	Leading	Non-Linear	23.39	39.55	4.57	31.97	0.98	0.61	2.82
11	235.1	0.18	0.6175	Leading	Non-Linear	24.67	42.32	8.34	33.48	0.95	0.65	3.49
12	232.8	0.17	0.6076	Leading	Non-Linear	23.2	39.58	4.26	31.99	0.98	0.62	2.79
13	233.61	0.17	0.582	Leading	Non-Linear	22.95	39.71	6.0	32.1	0.97	0.6	3.31
14	232.89	0.17	0.5978	Leading	Non-Linear	22.56	39.59	4.86	32.0	0.98	0.61	2.89
15	232.91	0.17	0.6076	Leading	Non-Linear	23.55	39.59	5.0	30.18	0.98	0.62	2.84
16	233.88	0.17	0.6174	Leading	Non-Linear	23.97	39.76	5.4	30.3	0.98	0.63	2.95
17	233.07	0.17	0.6174	Leading	Non-Linear	23.86	39.62	4.81	30.2	0.98	0.63	2.97
18	231.76	0.17	0.6138	Leading	Non-Linear	23.63	39.4	3.93	31.83	0.99	0.62	4.75
19	233.88	0.17	0.6468	Leading	Non-Linear	25.78	39.76	4.82	30.3	0.98	0.66	2.87
20	233.11	0.17	0.6076	Leading	Non-Linear	23.69	39.63	5.01	30.2	0.98	0.62	2.8
21	232.93	0.18	0.6076	Leading	Non-Linear	24.35	41.93	5.12	33.18	0.98	0.62	2.67
22	232.89	0.18	0.6076	Leading	Non-Linear	25.45	41.92	4.7	33.17	0.98	0.62	2.69
23	232.81	0.17	0.6174	Leading	Non-Linear	24.57	39.58	4.91	30.16	0.98	0.63	2.96
24	233.26	0.17	0.6076	Leading	Non-Linear	23.99	39.65	5.29	30.22	0.98	0.62	2.7
25	232.31	0.17	0.6305	Leading	Non-Linear	24.59	39.49	5.77	30.08	0.97	0.65	4.47
26	233.11	0.17	0.6174	Leading	Non-Linear	24.02	39.63	5.33	30.2	0.98	0.63	2.76
27	230.8	0.17	0.6174	Leading	Non-Linear	23.78	39.24	5.37	29.9	0.98	0.63	3.46

(a) Detail konsumsi energi bagian pertama

Record Penggunaan Energy

d/Lag	Beban	Daya Aktif	Daya Semu	Daya Reaktif	Distorsi	Displacem	Distorsior	THDv	THDi	Waktu Perekama	Biaya Perekamar
gging	Non-Linear	20.34	34.65	-5.06	27.71	0.97	0.6	3.3	131.88	25.94	0.416764312215
ading	Non-Linear	22.94	39.55	4.85	31.97	0.98	0.62	2.86	127.26	29.42	0.456643311729
ading	Non-Linear	23.39	39.55	4.57	31.97	0.98	0.61	2.82	129.47	32.45	0.492131076851
ading	Non-Linear	24.67	42.32	8.34	33.48	0.95	0.65	3.49	118.37	36.47	0.541660593889
ading	Non-Linear	23.2	39.58	4.26	31.99	0.98	0.62	2.79	128.1	39.65	0.578578997514
ading	Non-Linear	22.95	39.71	6.0	32.1	0.97	0.6	3.31	133.47	42.84	0.615206786129
ading	Non-Linear	22.56	39.59	4.86	32.0	0.98	0.61	2.89	130.68	46.03	0.651231440594
ading	Non-Linear	23.55	39.59	5.0	30.18	0.98	0.62	2.84	125.72	49.21	0.688655194851
ading	Non-Linear	23.97	39.76	5.4	30.3	0.98	0.63	2.95	124.3	52.4	0.726864634551
ading	Non-Linear	23.86	39.62	4.81	30.2	0.98	0.63	2.97	123.1	55.7	0.76624181713
ading	Non-Linear	23.63	39.4	3.93	31.83	0.99	0.62	4.75	126.61	59.87	0.815534920267
ading	Non-Linear	25.78	39.76	4.82	30.3	0.98	0.66	2.87	114.66	63.28	0.859433698312
ading	Non-Linear	23.69	39.63	5.01	30.2	0.98	0.62	2.8	125.99	66.46	0.897133171395
ading	Non-Linear	24.35	41.93	5.12	33.18	0.98	0.62	2.67	126.03	69.61	0.935520558844
ading	Non-Linear	25.45	41.92	4.7	33.17	0.98	0.62	2.69	125.25	72.81	0.976181310878
ading	Non-Linear	24.57	39.58	4.91	30.16	0.98	0.63	2.96	123.6	76.02	1.0156296727
ading	Non-Linear	23.99	39.65	5.29	30.22	0.98	0.62	2.7	124.95	79.21	1.05388651375
ading	Non-Linear	24.59	39.49	5.77	30.08	0.97	0.65	4.47	117.25	82.38	1.09286298966
ading	Non-Linear	24.02	39.63	5.33	30.2	0.98	0.63	2.76	123.1	85.67	1.13232512386
ading	Non-Linear	23.78	39.24	5.37	29.9	0.98	0.63	3.46	123.93	88.93	1.17106573901

(b) Detail konsumsi energi bagian kedua

Gambar 18. Detail konsumsi energi beban *charger* laptop

Gambar 17a (bagian atas) menunjukkan sumber tegangan adalah sinus. Di sisi lain, arus beban tidak berbentuk sinus sinus murni (Gambar 17a bagian bawah). Arus beban terdistorsi harmonisa akibat beban *charger* laptop adalah beban nonlinear.

Gambar 17b (masing-masing bagian atas dan bawah) menunjukkan spektrum tegangan dan arus beban *charger* laptop. Arus beban *charger* laptop mengandung harmonisa yang mana, frekuensi harmonisa yang dominan adalah pada frekuensi kelipatan ganjil dari frekuensi dasar 50 Hz. *Magnitude* harmonisa dari tegangan dan arus menurun pada frekuensi tinggi.

Beban *charger* laptop mempunyai faktor daya rendah yaitu 0,6336 dan bersifat kapasitif. *Charger* laptop mempunyai THD_i sangat tinggi yaitu 119,33%. Harga per-kWh untuk beban *charger* laptop lebih tinggi sesuai dengan seting harga yaitu 1,800,- Rupiah.

Gambar 18a dan 18b menggambarkan konsumsi energi detail dari beban *charger* laptop. Waktu rekam sama seperti beban heater yaitu setiap lebih kurang tiga detik. Data rekam tersimpan dalam *database mysql* dengan nama file ID_Pengguna.

V. Kesimpulan

Pada penelitian ini dirancang sebuah *smart energy meter* (SEM) menggunakan UNO dan raspberrypi. Yang mana, alat SEM ini berfungsi untuk memonitor pemakaian energi oleh konsumen. Tujuan utama dari penggunaan alat SEM adalah dalam rangka transparansi dan memberikan informasi harga beban per-kWh kepada konsumen. Beban dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi beban linear dan nonlinear dengan menerapkan perhitungan tarif berbeda untuk masing-masing klasifikasi beban tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat SEM mampu bekerja dengan baik dengan kesalahan pengukuran tegangan, arus, dan faktor daya beban berturut-turut sebesar 0,8%, 1,5%, dan 1,0%. SEM memberikan informasi kondisi siap untuk merekam beban, kondisi sedang merekam beban, kondisi guncangan, kondisi pemeliharaan, dan tindakan kriminal. Khusus untuk tindak kriminal, SEM akan mengeluarkan bunyi alarm dan memutus catu daya ke beban. Juga, SEM menampilkan harga dalam Rupiah yang mesti dibayar oleh konsumen untuk beban linear atau beban nonlinear.

Ucapan Terima Kasih.

Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada KEMENRISTEK-DIKTI atas dukungan pendanaan melalui Skema Penelitian Desentralisasi Produk Terapan 2017 Universitas Mataram dengan No. Kontrak 271.CH/UN.18/LPPM/2017.

Referensi

[1] A. B. Muljono, I. M. A. Nrartha, I. M. Ginarsa dan I. M. B. Suksmadana, "Identifikasi dan pengolahan kandungan harmonisa sinyal arus pada beban listrik mobile berbasis Arduino UNO, in *Seminar Nasional Sistem, Instrumentasi, dan Kontrol*, Agustus 2017, pp. 15-23.

[2] M. Basu, K. Gaughan, and E. Coyle, "Harmonic distortion caused by EV battery chargers in the distribution systems network and its remedy", in *Universities Power Engineering Conference,* Sept. 2004, pp. 869 – 873.

[3] S. H. Berisha, G. G. Karady, R. Ahmad, R. Hobbs, and D. Karner, "Current harmonics generated by electric vehicle battery chargers", in *Power Electronics*, *Drives and Energy Systems for Industrial Growth,* Jan. 1996, pp. 584 – 589.

[4] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, and H. W. Beaty, *Electrical Power System Quality*, USA, MCGraw-Hill, 1996.

[5] A. A. Hossam-Eldin, and R. M. Hasan, "Study of the effect of harmonics on measurments of the energy meters", in *Power Systems Conference,* Dec. 2006, pp. 547 – 550.

[6] A. Arif, M. Al-Hussain, N. Al-Mutairi, E. Al-Ammar, Y. Khan, and N. Malik, "Experimental study and design of smart energy meter for the smart grid", in *Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, March 2013, pp. 515 – 520.

[7] M. M. Rahman, N. E. Jannat, and M. O. Islam, "Arduino and GSM based smart energy meter for advanced metering and billing system", in *Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*, May 2015, pp. 1-6.

[8] C. D. Capua, G. Lipari, and M. Lugara, "A smart energy meter for power grids", in *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, May 2014, pp. 878-883.

[9] P. Prudhvi, D. Bhalodi, M. Manohar, V. Padidela, and S. Adapa, "A Smart energy Meter Architecture in Indian context", in *Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, May 2012, pp. 217-222.

[10] A. Bhimte, R. K. Mathew and Kumaravel S, "Development of smart energy meter in LabVIEW for power distribution systems", in *India Conference (INDICON)*, Dec. 2015, pp. 1-6.

[11] V. Preethi and G. Harish, "Design and implementation of smart energy meter", in *Inventive Computation Technologies (ICICT)*, Aug. 2016, pp. 1-5.

[12] ZMPT101B datasheet. (view Juni 2017). Available: http://www.zeming-e.com/file/0_2013_10_18_093344.pdf

[13] ZMCT103C datasheet – 5A, 5mA, Current Transformer Sensor. (view Juni 2017). Available:http://www.datasheetcafe.com/zmct103c-datasheet-transformer/

[14] SW420 datasheet. (view Juni 2017). Available: https://www.elecrow.com/vibration-sensor-module-sw420-p-525.html.

[15] Satu channel relay module datasheet. (view Juni 2017). Available: http://www.elecfreaks.com/store/1-channel-5v-relay-module-arduino-compatible-bk008-p-259.html.

Penerbit:
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111
website: http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE
email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net
Telp/Fax: (0651) 7554336