



## AC LOAD EMULATOR PADA SISTEM SMART GRID BERBASIS EMBEDDED SYSTEM

M. Mas Ruri Yusuf,<sup>1,\*</sup> Khairudin Khairudin,<sup>1</sup> Lukmanul Hakim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung

Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

\*m.masruri.yusuf@gmail.com

**Abstrak.** Pada Sistem Smart Grid, masuknya energi terbarukan menyumbangkan faktor ketidakpastian yang bermasalah terhadap beban puncak pada waktu tertentu, sehingga diperlukan analisa sistem pembebanan agar permasalahan tersebut dapat diatasi. Load Emulator merupakan suatu alat yang digunakan sebagai beban tiruan yang dirancang untuk meniru profil beban yang ada pada sistem smart grid. Salah satu teknik kontrol yang digunakan dalam load emulator berupa teknik switching, dengan prinsip switching dapat mendapatkan load emulator yang fleksibel, sederhana, dan murah. Pengontrolan switching diatur menggunakan embedded system. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan emulator beban aktif AC 1 fasa yang dapat diprogram. Pemrograman berdasarkan multitasking variasi relay dan waktu pada arduino dengan chip ATmega 2560. Emulator ini dapat digunakan untuk menguji kinerja sistem tenaga listrik dengan meniru profil beban yang dibuat berbeda. Berdasarkan hasil pengujian, load emulator dapat meniru pola daya aktif dari beban harian yang menjadi acuan. Pengukuran menggunakan sensor arus dengan error senilai 1,4% dan sensor tegangan dengan error senilai 0,14% dibandingkan dengan pengukuran multimeter, setiap data akan disimpan berdasarkan waktu pada SD card melalui datalogger. Sistem dapat menghasilkan beban terbesar senilai 1385.89 Watt. Pembebanan pada load emulator menggunakan beban berupa beberapa jenis lampu dan motor listrik.

**Kata kunci:** Emulator Beban, Smart Grid, Embedded System.

### PENDAHULUAN

Pada sistem tenaga listrik, kebutuhan beban semakin meningkat menjadi suatu permasalahan yang perlu diatasi. Penggunaan energi terbarukan menjadi salah satu solusi agar kebutuhan daya terpenuhi sehingga terbentuk sistem tenaga listrik cerdas (smart grid). Sistem smart grid merupakan sistem tenaga listrik cerdas yang menggunakan teknologi komunikasi dan informasi untuk pengoprasiannya serta memiliki karakteristik self healing, efisiensi, keandalan, dan ekonomis lebih baik (momoh, 2009). Pada sistem pembebanan terdapat permasalahan lain berupa beban puncak pada waktu tertentu akibat ketidakpastian energi terbarukan dalam penjadwalan pembangkitan, sehingga dibutuhkan analisa khusus pada sistem pembebanan. Dalam perealisasi sistem smart grid membutuhkan biaya yang mahal sehingga dirancang smart grid emulator dengan biaya yang relatif murah untuk kepentingan analisa. Analisa pembebanan dilakukan pada load emulator yang dapat digunakan untuk kontrol dan pemantauan beban.

Pengembangan emulator beban bertujuan untuk 1) menjadi bagian dari emulator sistem smart grid, 2) melihat pengaruh perubahan beban terhadap profil daya, 3) meniru karakteristik daya aktif real time dari pola beban harian yang dapat digunakan dalam pengujian algoritma manajemen daya.

Ada beberapa literatur yang memperkenalkan emulator daya beban, Perancangan emulator beban AC berdasarkan topologi konverter daya AC-DC-AC dan konverter sumber-z dengan simulasi Matlab (Fang, 2010), Perancangan dan implementasi emulator beban terprogram yang memiliki kemampuan untuk meniru beban aktif-reaktif dengan perbandingan antara daya dan waktu dengan data berdasarkan hasil pengukuran menggunakan smart meter secara real-time (Mohamed, 2012), Pengembangan emulator beban dengan tenaga regeneratif dua tahap dimana unit konverter daya terhubung dengan grid yang memproses konversi AC-DC sehingga dapat diketahui stabilitas interkoneksi sistem tersebut (Kanaan, 2014), Perancangan dan implementasi emulator beban AC/DC aktif yang dapat diprogram serta memiliki kemampuan untuk meniru daya aktif yang sangat beragam dengan kemampuan untuk mengubah daya untuk menghasilkan beban yang fleksibel menggunakan GUI Labview - NI PCI6025E (Elsayed, 2015).

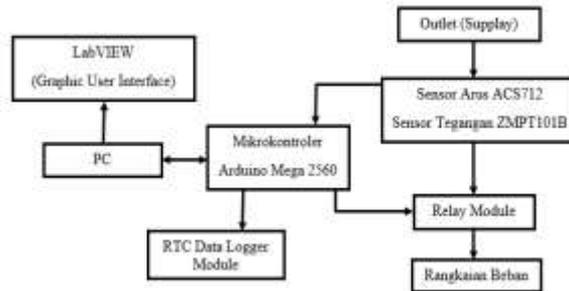
Sebagian besar emulator beban yang disajikan dalam literatur didasarkan pada konverter elektronik daya mahal yang memerlukan algoritma kontrol yang rumit. Meskipun, teknik ini memberikan emulasi beban yang akurat, emulator beban ini bisa menjadi sumber harmonisa karena perpindahan daya elektronik yang cepat.

Penelitian ini menyajikan emulator beban fleksibel, sederhana, murah, serta memiliki harmonisa yang lebih sedikit. Emulator beban ini dapat digunakan untuk emulasi aliran daya aktif pada sistem listrik AC. Langkah rinci untuk perancangan dan implementasi perangkat keras di lingkungan laboratorium. Konfigurasi emulator beban yang disajikan didasarkan pada susunan beban lampu dengan karakteristik beban ZIP (konstan impedansi, konstan arus, dan konstan daya) dan motor listrik.

## METODE PENELITIAN

### Spesifikasi Teknis Perancangan Sistem

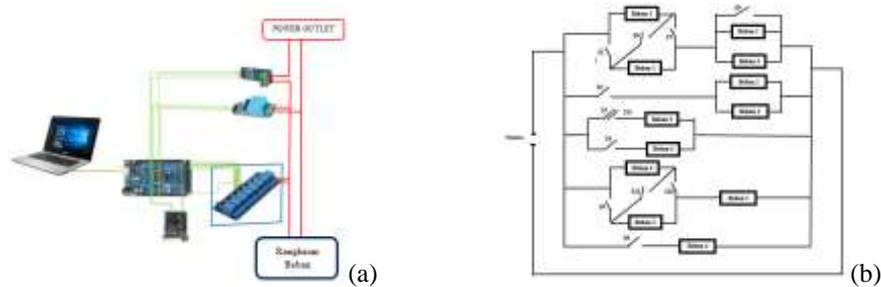
Perancangan model sistem dilakukan dengan pembuatan perangkat sistem. Perangkat sistem terdiri dari mikrokontroler arduino mega 2560, relay, sensor arus, sensor tegangan, datalogger dan rangkaian beban. Perancangan yang dibuat dipresentasikan sesuai dengan blok diagram.



GAMBAR 1. Blok diagram perancangan alat Load Emulator

### Perancangan Kerja Sistem

Perancangan kerja sistem load emulator dalam penelitian ini secara garis besar adalah pengontrolan beban dengan relay module, pembacaan sensor, penyimpanan data pada datalogger, penampilan data melalui GUI labview.



GAMBAR 2. (a) Skematik diagram Load Emulator, (b) Rangkaian pembebanan

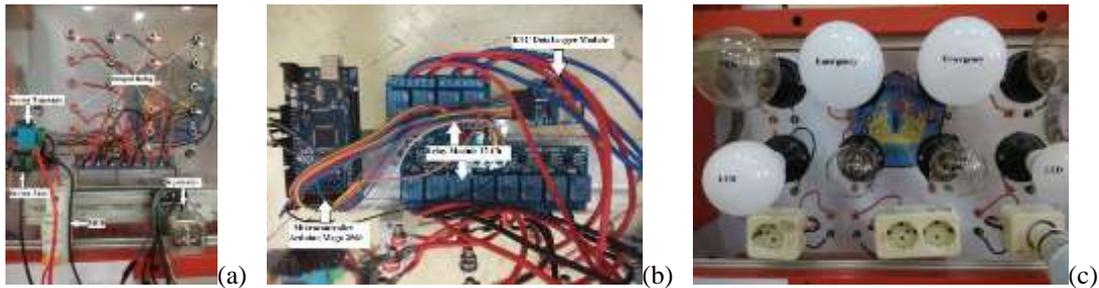
Berdasarkan gambar 2a, perubahan variasi beban dikontrol menggunakan relay module dan hasil dari perubahan beban mengakibatkan perubahan profil tegangan dan arus pada sistem yang dideteksi dengan sensor, dimana data hasil pembacaan sensor akan diolah oleh mikrokontroler dan disimpan pada datalogger. Labview digunakan untuk mendapat variasi relay yang dapat digunakan karena lebih mudah dalam pengoprasian, namun pada penggunaan load emulator berdasarkan waktu dan besar nilai yang ditentukan tidak lagi menggunakan labview akibat dari komunikasi yang bertabrakan disebabkan multitasking pada kedua program tersebut, sehingga hanya menggunakan program pada arduino. Penelitian dilakukan dengan menginputkan data pada arduino untuk mendapatkan plot dari kurva pola beban harian, membandingkan emulator dan simulasi, serta penentuan karakteristik beban berdasarkan pengujian emulator.

Rangkaian pembebanan disusun seperti rangkaian pada gambar 2b bertujuan untuk mendapatkan variasi susunan rangkaian beban yang bervariasi berdasarkan kondisi penyaklaran oleh relay yang dikontrol. Kondisi perubahan mencapai 11 digit biner, namun tidak semua variasi dapat digunakan karena mempertimbangkan prinsip aliran arus yang akan lebih memilih mengalir melalui beban yang lebih kecil hingga arus balik ataupun tanpa beban sehingga dapat menyebabkan *shortcircuit*. Beban 1 berupa lampu pijar, beban 2 berupa lampu led, beban 3 berupa lampu emergency led, beban 4 berupa resistor variabel, beban 5 berupa motor ac 1 fasa.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Realisasi Load Emulator

Realisasi load emulator yang dibuat seperti pada gambar 8 dan gambar 9 yang terdiri atas beberapa komponen yang saling terintegrasi menjadi satu sistem pembebanan.



**GAMBAR 3.** (a) Tampilan realisasi emulator, (b) komponen utama emulator, (c) beban emulator

Pada gambar 3 (a) dan 3 (b) merupakan bentuk rancang bangun load emulator dimana terdapat beberapa komponen penting yaitu mikrokontroler, sensor, dan relay. Mikrokontroler yang digunakan adalah arduino mega 2560 yang digunakan untuk mengkoordinasikan komponen yang lain berupa sensor, relay, rtc (*real time clock*), dan data logger. Mikrokontroler dilengkapi dengan rtc dan data logger yang berguna untuk menyimpan data arus dan tegangan yang disesuaikan dengan waktu yang ada, memori card yang digunakan sebagai media penyimpanan sebesar 8 Gb. Sensor yang digunakan pada realisasi load emulator terdapat dua jenis yaitu sensor arus dan sensor tegangan. Sensor arus berfungsi untuk mendeteksi arus yang mengalir pada load emulator, dimana maksimal arus yang mampu mengalir pada sensor ini sebesar 30 ampere. Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi tegangan yang digunakan load emulator, dimana maksimal tegangan yang mampu diukur sensor ini sebesar 250 volt. Sensor arus dan sensor tegangan diletakkan pada bagian awal rangkaian load emulator, yang berfungsi untuk mendeteksi arus dan tegangan yang digunakan pada rangkaian load emulator, kemudian menjadi referensi bagi mikrokontroler. Pada gambar 3 (c) beban tersebut dirangkai sedemikian hingga menjadi rangkaian yang akan diatur menggunakan relay dengan program yang telah diupload pada mikrokontroler. Beban lampu pijar memiliki karakteristik beban konstan impedansi dengan error senilai 2,7%, lampu led memiliki karakteristik beban konstan arus dengan error senilai 0%, dan lampu emergency led memiliki karakteristik beban konstan daya dengan error senilai 0,8%.

### Pengujian Load Emulator

#### Pengujian Sensor Arus dan Tegangan

Pada pengujian sensor arus ini, sensor arus akan digunakan untuk mengukur beban, dimana sumber yang masuk sesuai dengan beban. Beban menggunakan variasi dari beban ZIP dengan besar nilai tersebut. Perhitungan error dari pengujian dihitung dengan rata-rata hasil kesalahan relatif atau error dengan hasil sebesar 1.4%.

**TABEL 1.** Pengujian sensor arus

No.	Beban	Multimeter (Ampere)	Sensor (Ampere)	Error
1	-	0	0	-
2	40W	0.14	0.15	0.0714
3	60W	0.25	0.25	0.0000
4	100W	0.46	0.46	0.0000
5	125W	0.99	1.02	0.0303
6	200W	0.92	0.92	0.0000
7	240W	1.1	1.09	0.0091
8	260W	1.18	1.19	0.0085
9	300W	1.36	1.37	0.0074
10	400W	1.82	1.82	0.0000
Rata-rata error				0.0141

**TABEL 2.** Pengujian sensor tegangan

No.	Multimeter	Sensor	Error
1	0	6.72	-
2	192	192.84	0.004356
3	194	194.49	0.002519
4	196	196.13	0.000663
5	220	220.02	0.000091
6	225	225.01	0.000044
7	231	230.72	0.001214
8	233	232.37	0.002711
9	234	234.02	0.000085
Rata-rata error			0.001460

Tabel 2 merupakan hasil dari pengujian sensor tegangan yang diambil sebelum menyuplai beban. Sumber tegangan menggunakan suplay dari outlet PLN sehingga besar nilai tegangan berubah-ubah berdasarkan kondisi pada sistem tenaga listrik. Berdasarkan hasil dari perhitungan error, sensor bekerja dengan sangat baik karena nilai rata-rata error 0.14%.

### Hasil Data Load Emulator

Hasil data load emulator didapatkan dengan mengubah besar nilai pembebanan dari variasi relay yang dibuat. Variasi relay tersebut merupakan kombinasi dari 12 relay yang ada namun 1 relay telah digunakan untuk pengontrol kontaktor sehingga hanya 11 relay yang digunakan dalam kombinasi tersebut, dimana kombinasi tersebut dapat dilakukan dalam rangkaian pembebanan yang telah dibuat sebelumnya.

Dengan menggunakan GUI didapatkan kombinasi relay sebanyak 2047 kombinasi berdasarkan total bilangan biner 11 digit, namun pada saat pengujian hanya didapatkan sebanyak 345 kombinasi yang dapat digunakan dalam rangkaian beban tersebut. Data tersebut menjadi acuan dalam penelitian ini guna membuat kombinasi relay untuk pola beban harian yang akan diuji kembali dan menjadi bahasan dalam penelitian ini.



GAMBAR 4. Grafik daya terhadap variasi relay

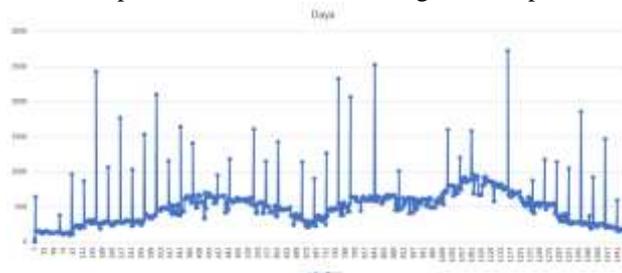
Grafik tersebut menampilkan hubungan antara daya dan variasi relay dari data hasil dimana beban tertinggi sebesar 1385.89 Watt dan beban terendah sebesar 10.70 Watt.

### Pola Beban Harian Load Emulator

Kasus pola beban harian digunakan dalam load emulator yang bertujuan untuk membuat tiruan dari pola beban harian yang ada sehingga load emulator memiliki karakteristik beban harian sebenarnya. Pola beban harian pada emulator dapat dirubah berdasarkan kasus pola beban harian yang ada atau yang diinginkan, dengan cara mengubah input variasi relay pada program yang digunakan. Pada hasil dengan kasus pola beban harian karena prinsip switching sehingga menyebabkan beberapa data mendapat pengaruh harmonisa.



GAMBAR 5. Grafik plot hasil load emulator dengan kasus pola beban harian



GAMBAR 6. Grafik daya hasil load emulator dengan kasus pola beban harian

### KESIMPULAN

Pembebanan pada load emulator diatur secara otomatis dengan menggunakan embedded system sehingga merepresentasikan pembebanan pada sistem smart grid, dimana pembebanan mempengaruhi profil daya. Load



emulator yang dirancang dapat digunakan untuk meniru sistem pembebanan berdasarkan pola beban harian yang menjadi acuan dengan skala yang diperkecil.

Berdasarkan pengukuran sensor dibandingkan dengan multimeter, didapatkan error sensor tegangan senilai 0,14% dan error sensor arus senilai 1.4%, sehingga ketelitian pengukuran termasuk dalam alat ukur kerja.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih untuk dosen pembimbing utama, pembimbing pendamping, dan penguji yang telah membantu dalam hal bimbingan demi penyelesaian penelitian ini, serta keluarga yang selalu memberikan support segala hal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Elsayed, A. (2015) Design and Implementation of AC / DC Active Power Load Emulator, *IEEE*, pp. 1-5.  
Fang, X. (2010) Z-Source Converter-Based Feedback Type Electronic, *IEEE*, no. 20090461254, pp. 189-192.  
Kanaan, H. Y. (2014) Design and Implementation of a Two-Stage Load Emulator, *IEEE*, vol. 29, no. 8, pp. 3997-4006.  
Mohamed, A.A. (2012) Real – Time Load Emulator for Implementation of Smart Meter Data for Operational Planning, *IEEE*, no. 2, pp. 1-6.  
Momoh, J.A. (2009) Smart grid design for efficient and flexible power networks operation and control, *IEEE Power Systems Conference and Exposition*, pp 1-8.