

# JURNAL TEKNOLOGI DAN MANAGEMEN PENGELOLAAN LABORATORIUM



**Jurnal**  
**Teknologi Dan Manajemen Pengelolaan Laboratorium**  
**(Temapela)**

---

Abdurachman Effendi	Pembuatan Dan Pengujian Perangkat Beban Tiruan	Hal
M. Mas Ruri Yusuf	Sebagai Alat Kategori Dua Pada Praktikum Sistem Tenaga	1 - 10

# PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PERANGKAT BEBAN TIRUAN SEBAGAI ALAT KATEGORI DUA PADA PRAKTIKUM SISTEM TENAGA

Abdurachman Effendi<sup>1\*</sup>, M. Mas Ruri Yusuf<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung-Bandar Lampung 35154  
Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik

<sup>1</sup>abdurachmaneffendi@yahoo.com, <sup>2</sup>ruri.99@gmail.com

## Abstrak

Pada sistem *Smart Grid* yang memanfaatkan energi terbarukan dapat terjadi gangguan saat beban puncak, sehingga diperlukan analisa sistem pembebanan agar gangguan dapat diatasi. Pembebanan sistem *smart grid* pada sistem tenaga listrik dapat disimulasikan dan diemulasikan dengan menggunakan beban tiruan yang dibuat berdasarkan parameter sesuai kondisi riilnya, sehingga dapat diperkirakan besar kebutuhan daya dan kemampuan sistem tersebut. Desain perangkat beban tiruan terdiri atas beberapa komponen penting yaitu mikrokontroler, sensor, relay dan beban yang saling terintegrasi. Pengujian dilakukan dengan pengukuran pada masing-masing komponen, yaitu pengujian mikrokontroler (meliputi kontrol rele dan beban), pengujian sensor, dan pengujian hasil interface. Beban yang digunakan terdiri atas beban berupa lampu pijar, lampu led, lampu *emergency*, dan motor pompa. Data pengujian didapatkan dengan mengubah besar nilai pembebanan dari variasi relay. 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. Dengan pengujian perangkat beban tiruan mahasiswa mempelajari dan menganalisa pengaruh perubahan jenis beban terhadap profil daya dengan meniru profil beban yang dibuat berbeda. Perangkat beban tiruan dapat dibebani hingga 1385.89 watt dan dapat digunakan sebagai peralatan praktikum sistem tenaga bagi mahasiswa teknik elektro.

**Kata kunci :** *smart grid, load emulator, sistem tenaga.*

## Abstract

*Utilizing renewable energy in the Smart Grid system can occur an interference during peak load. However, it can be overcome by analyzing the loading system. The Loading of a smart grid system on electric power systems can be simulated and emulated using loads emulator based on parameters according to the real conditions to estimate the system's power requirements and capabilities. The design of load emulator devices consists of several important components, namely microcontrollers, sensors, relays and loads that are mutually integrated. Testings were done by measuring each component, namely microcontroller testing (including relay and load control), sensor testing, and testing of interface results. The load used consists of loads in the form of incandescent lights, led lights, emergency lights and pump motors. The test data were obtained by changing the amount of loading value from the variation of the relay. The variation of the relay were a combination of 12 existing relays but 1 relay had been used for the contactor controller therefore, that only 11 relays were used in the combination. By testing load emulator devices student learns and analyzes the effect of changing in the type of load on the power profile which is made differently by imitating the load profile. The testing showed that load emulator devices can load 1385.89 watt while operating. Therefore it is recommended as practical equipment for electrical engineering students.*

**Keyword:** *Smart Grid, Load emulator, Power system.*

## I. Pendahuluan

Perkembangan teknologi berimplikasi pada peningkatan kebutuhan beban daya listrik, sehingga perlu diimbangi dengan penyediaan daya listrik yang dibangkitkan. Upaya penyediaan daya listrik tersebut diarahkan pada penggunaan energi listrik terbarukan (cahaya matahari, dan angin) sebagai salah satu penyelesaian masalah kebutuhan beban listrik. Pada pengoperasiannya, pembangkit energi terbarukan dikoneksikan dengan pembangkit konvensional seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dalam suatu jaringan interkoneksi yang

disebut dengan sistem *SmartGrid*. Suatu keniscayaan pada sistem *SmartGrid* terjadi pelepasan pembangkit dari sistem sehingga mengakibatkan penurunan frekuensi dari nilai nominalnya.

Suatu sistem tenaga listrik dapat disimulasikan dan diemulasikan dengan menggunakan beban tiruan yang dibuat berdasarkan keadaan yang diinginkan dengan parameter sesungguhnya sehingga dapat diperkirakan besar kebutuhan daya dan kemampuan sistem tersebut. Membuat sistem *smartgrid* yang membutuhkan biaya yang besar. Pembuatan emulator dan sistem beban tiruan perlu dilakukan untuk digunakan

sebagai media guna menganalisa sistem *smartgrid* dengan biaya yang murah dan lebih efisien.

Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik adalah laboratorium di Jurusan Teknik Elektro yang memberikan layanan pendidikan berupa praktikum untuk konsentrasi sistem tenaga listrik. Salah satu pelaksanaan praktikum yang difasilitasi di laboratorium sistem tenaga elektrik adalah Praktikum Sistem Tenaga. Pada praktikum ini mahasiswa diberikan praktek tentang pembangkitan, transmisi dan distribusi tenaga listrik. Agar mahasiswa dapat lebih memahami proses pembangkitan dan pengkoneksian tenaga listrik pada suatu sistem smart grid maka pembuatan dan pengujian perangkat beban tiruan ini menjadi kebutuhan agar mahasiswa bisa mempelajari dan menganalisa pengaruh perubahan jenis beban terhadap profil daya pada sistem.

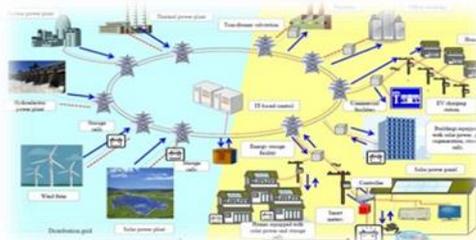
Masalah beban puncak pada waktu tertentu pada sistem *smartgrid* memerlukan analisa khusus, namun sistem *smartgrid* memiliki biaya yang mahal dalam merealisasikannya, sehingga diperlukan sistem beban tiruan yang dapat digunakan mahasiswa untuk menguji dan menganalisa perubahan profil daya pada sistem *smartgrid* sebenarnya.

*Smart Grid* (jaringan cerdas) merupakan jaringan listrik yang menggunakan teknologi komunikasi dan informasi untuk pengoperasiannya dan bertindak berdasarkan informasi, seperti sebuah informasi tentang reaksi atau tindakan dari penyedia dan konsumen, digunakan secara otomatis untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, ekonomi, dan keberlanjutan pembangkitan serta distribusi listrik. Implementasi *Smart Grid* memerlukan pemecahan masalah yang menjadi tantangan dalam penelitiannya, seperti respon permintaan, penetapan harga dinamis, integrasi sumber daya terbarukan, pengendalian keamanan, penginderaan dan otomasi. Di sisi lain, memvalidasi dan mengevaluasi gagasan baru dilingkungan laboratorium memerlukan *platform* eksperimental yang bagus, baik berupa simulator perangkat lunak dan emulator / testbed nyata.

*Smart Grid Emulator* merupakan suatu *prototipe* atau tiruan dari sistem *smart grid* yang berguna untuk analisa dari keadaan nyata berupa simulasi, emulasi, maupun testbed [1]. Berdasarkan standar internasional IEC 61850 dan 61968, mendefinisikan keseluruhan arsitektur *Smart Grid* dan karakteristiknya dapat diringkas sebagai berikut [2]:

- *Self-Healing* dengan cara mendeteksi dan respon langsung terhadap masalah sistem serta melakukan pemulihan.
- Penyediaan kualitas daya yang tinggi kepada seluruh konsumen dan pelanggan industri.

- Mengakomodasi berbagai pilihan pembangkitan dalam skala lokal dan regional.
- Pemberdayaan pelanggan dengan memperbolehkan melakukan manajemen energi.
- Toleransi serangan dengan kemampuan dapat tahan terhadap serangan fisik dan *cyber*.
- Mengoptimalkan aset dan efisiensi operasi.



Gambar 1.1. Sistem *smart grid*  
(www.smartgridindonesia.com)

Teknologi *Smart Grid* dapat digunakan menjadi solusi produktivitas penyediaan tenaga listrik dari energi terbarukan karena dapat menyediakan *power supply* dari *local energy resources*, pengembangan sistem dan integrasi pembangkit listrik, serta interkoneksi antara sistem terisolasi dan *hybrid* dapat dilakukan, sehingga pemanfaatan energi terbarukan menjadi optimal dan efisien [4].

*Load Emulator* atau perangkat beban tiruan yang dibuat untuk meniru profil beban yang ada pada sistem *smart grid*. beban tiruan *r* didasarkan pada konverter yang dikontrol PWM untuk meniru daya reaktif dan konverter DC-DC tambahan untuk meniru daya aktif. Perangkat beban tiruan terbagi menjadi 2 bagian berupa emulator beban AC, dan emulator beban DC. Pada emulator beban AC terdiri atas beban aktif serta beban reaktif 1 fasa dan 3 fasa yang dapat bekerja secara *steady-state* (tetap) maupun *continuous* (bervariasi). Pada beban AC 3 fasa dapat menggunakan motor induksi tiga fasa yang diatur suplai tegangan dan arusnya sehingga menghasilkan beban yang bervariasi.

Pada beban AC 1 fasa dapat menggunakan beban aktif dengan nilai resistansi tertentu yang bervariasi maupun beban pasif dengan menggunakan induktor dan kapasitor sebagai variasi lain, serta beban reaktif dengan menggunakan beban motor yang divariasikan kecepatan putar akibat pengaruh beban. Pada beban DC dapat menggunakan beban resistif, beban berputar, dan beban elektronik dengan memvariasikan besar tegangan masukan yang digunakan. Dari sekian banyak beban, tidak semua beban dapat digunakan bersamaan pada sumber AC/DC, dengan mempertimbangkan nilai harga setiap komponen yang digunakan untuk membuat sebuah *perangkat beban tiruan* yang memiliki konverter elektronika daya mahal yang memerlukan algoritma kontrol yang rumit, dengan prinsip *switching* dapat

memecahkan masalah tersebut untuk mendapatkan perangkat beban tiruan yang fleksibel, sederhana, kuat dan murah. Meskipun, teknik ini memberikan emulasi beban yang akurat, emulator beban ini bisa menjadi sumber harmonisa karena perpindahan daya elektronik yang cepat [5].

Perangkat beban tiruan dapat digunakan untuk menganalisa manajemen energi *real time* atau dinamis yang biasa terjadi dalam mikrogrid atau pengaplikasian pada kendaraan listrik yang mengakibatkan beban berdenyut. Pada permasalahan sistem *smart grid* yang menggunakan pembangkit dengan energi baru terbarukan perlu dilakukan analisa dengan perangkat beban tiruan untuk mengelola sisi permintaan dan meningkatkan kinerja dari mikrogrid dan/atau mencapai operasi ekonomi yang optimal pada sistem serta untuk penanganan masalah unit komitmen [7]. Jenis beban pada sistem tenaga listrik terdiri dari [7]:

#### 1. Beban Resistif

Beban Resistif dihasilkan oleh alat-alat listrik yang bersifat murni tahanan (resistor) seperti pada elemen pemanas dan lampu pijar. Beban resistif ini memiliki sifat yang “pasif” yang artinya tidak mampu memproduksi energi listrik akan tetapi menjadi konsumen energi listrik. Resistor bersifat menghalangi aliran elektron yang melewatinya (dengan cara menurunkan tegangan listrik yang mengalir) sehingga mengakibatkan terkonversinya energi listrik menjadi panas. Dengan sifat ini, resistor tidak akan merubah sifat-sifat listrik AC yang mengalirinya. Gelombang arus dan tegangan yang melewati resistor akan selalu bersamaan membentuk bukit dan lembah. Sehingga beban resistif tidak akan menggeser posisi gelombang arus maupun tegangan listrik AC.

#### 2. Beban Reaktif

Beban Reaktif terdiri dari 2 macam yaitu :

##### a. Beban Induktif

Beban Induktif diciptakan oleh lilitan kawat (kumparan) yang terdapat di berbagai alat-alat listrik seperti motor, trafo, dan relay. Kumparan dibutuhkan untuk menciptakan medan magnet sebagai komponen kerjanya. Pembangkitan medan magnet pada kumparan inilah yang menjadi beban induktif pada rangkaian arus listrik AC. Kumparan memiliki sifat untuk menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik. Terhalangnya perubahan arus listrik AC yang naik turun oleh komponen induksi mengakibatkan arus listrik menjadi tertinggal beberapa derajat oleh tegangan pada grafik sinusoidal. Oleh karena itu, beban induktif dikenal dengan istilah beban *lagging* (arus tertinggal tegangan).

##### b. Beban Kapasitif

Beban kapasitif merupakan kebalikan dari beban induktif. Jika beban induktif

menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik AC, maka beban kapasitif bersifat menghalangi terjadinya perubahan nilai tegangan listrik.

#### 3. *Static Load*

Beban *static* adalah beban tetap, baik besarnya (intensitasnya), titik bekerjanya dan arah garis kerjanya tetap/tidak berubah. *Static load* merupakan beban yang tidak banyak mengandung motor listrik, sehingga tidak banyak mempengaruhi tegangan sistem ketika *start*.

#### 4. Beban dinamis

Beban dinamis adalah beban yang besarnya (intensitasnya) berubah-ubah menurut waktu. Beban bekerja hanya untuk rentang waktu tertentu saja.

#### 5. *Lump Load*

*Lump load* adalah jenis beban sistem tenaga yang banyak mengandung motor listrik, sehingga dapat mempengaruhi tegangan sistem ketika *start*. Spesifikasi yang pokok pada sebuah *Lumped Load* adalah level tegangan dan kapasitas daya lengkap dengan faktor dayanya. *Lump load* digunakan untuk sebuah *feeder* yang diasumsikan mempunyai motor dan beban *static* yang kemudian digabungkan.

#### 6. Constant Power

Beban *Constant Power* akan menjaga daya yang disuplai ke beban tetap konstan..

#### 7. *Constant Current*

*Constant current* adalah pemodelan beban yang dimodelkan bahwa beban menjaga besarnya arus yang mengalir pada beban tersebut.

#### 8. Constant Impedance

*Constant impedance* adalah pemodelan beban yang dimodelkan bahwa beban menjaga besarnya impedansi pada beban tersebut. Pada beban *constant impedance*, besarnya daya aktif dan daya reaktif berubah sesuai dengan kuadrat besarnya tegangan.

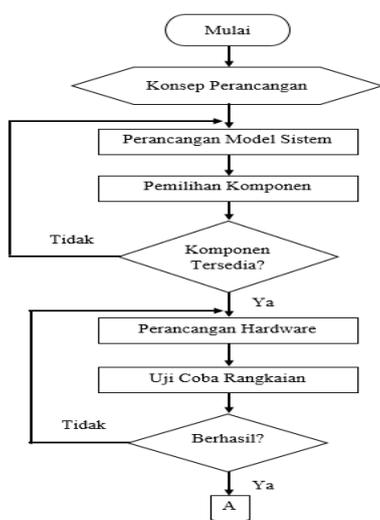
## II. Metodologi Penelitian

#### a. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan beban tiruan ini adalah sebagai berikut:

1. Satu unit laptop dengan spesifikasi Intel Core I3, processor 1.7 Ghz, RAM 6 GB, dan sistem operasi Windows 10 Pro 64 bit sebagai media perancangan program dan antarmuka.
2. Perangkat lunak NI LabVIEW 2016 sebagai program kontrol dan antarmuka.
3. Perangkat lunak Arduino 1.8.5 sebagai program untuk source code.

4. Perangkat lunak Matlab 2014a sebagai program simulasi.
  5. Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler.
  6. Relay Module sebagai *switch* / pengontrol beban.
  7. Sensor arus ACS712 sebagai pembaca nilai arus pada beban.
  8. Sensor tegangan ZMPT101B sebagai pembaca nilai tegangan pada beban.
  9. RTC, Datalogger Module sebagai penyimpanan data.
- b. Tahapan Pembuatan  
Langkah kerja yang dilakukan digambarkan dalam diagram alir pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram alir pembuatan sistem

c. Studi Literatur

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan dan pencarian literatur dari berbagai sumber baik skripsi, buku, jurnal dan makalah ilmiah serta, dilakukan kajian yang berkaitan tentang desain dan implementasi perangkat beban tiruan dan hal-hal yang berkaitan dengan perancangan alat secara umum. Kajian yang dikhususkan merupakan perangkat beban tiruan berbasis arduino dengan GUI Labview.

d. Konsep Perancangan Sistem

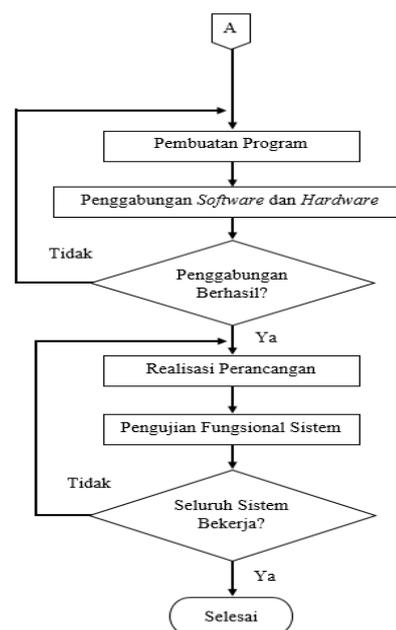
Pada tahapan ini dilakukan perencanaan atau konsep mengenai perancangan sistem yang akan dibuat dengan melakukan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pemilihan komponen untuk perancangan *perangkat beban tiruan* berupa mikrokontroler arduino, relay, dan sensor yang sesuai dengan kebutuhan sistem.
2. Penentuan sistem pembebanan yang akan digunakan dalam *perangkat beban tiruan*.

3. Referensi untuk pembuatan GUI pada Labview serta pengendalian relay dan pembacaan sensor pada sistem.

e. Pembuatan Sistem

Pada tahapan ini dilakukan perancangan sistem yang akan digunakan dalam pembuatan alat. Tahapan-tahapan yang dilakukan untuk membuat sistem perangkat beban tiruan berbasis arduino dengan GUI labview ditunjukkan dengan diagram alir perancangan sistem pada gambar 3.2. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam perancangan sistem sehingga dapat diselesaikan secara sistematis.



Gambar 2.2. Diagram alir pembuatan sistem

f. Pengujian Perangkat Sistem

Pengujian perangkat sistem dilakukan berdasarkan perancangan yang telah dibuat. Pengujian bertujuan untuk menguji rancangan sistem yang telah dibuat, apakah telah sesuai dengan yang diharapkan atau belum, sehingga dapat mengetahui kemampuan dari kerja sistem yang dibuat. Pengujian dilakukan pada masing-masing tahapan, yaitu pengujian mikrokontroler (meliputi kontrol rele dan beban), pengujian sensor, dan pengujian hasil interface.

g. Analisis Data dan Kesimpulan

Setelah pembuatan alat selesai, langkah selanjutnya merupakan pengambilan data dan melakukan analisis data yang didapatkan baik dari pengujian perangkat sistem dan hasil dari pengaruh perubahan beban. Proses analisa yang dilakukan agar mengetahui kemampuan kerja sistem akibat pengaruh perubahan beban sehingga didapatkan kesimpulan.

h. Pembuatan Model Sistem

Perancangan model sistem dilakukan dengan pembuatan perangkat sistem. perangkat sistem terdiri dari mikrokontroler arduino mega 2560, rele, sensor arus, sensor tegangan, power supply, dan rangkaian beban.

i. Perancangan Kerja Sistem

Perancangan kerja sistem perangkat beban tiruan dalam penelitian ini secara garis besar adalah pengontrolan beban dengan relay module, pembacaan sensor, pemrosesan dan penampilan data melalui GUI labview.

j. Pengujian Sistem

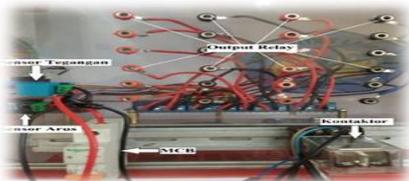
Terhadap system pada perangkat beban tiruan yang telah selesai di buat dilakukan percobaan untuk menguji dan mendapatkan data hasil yang menyatakan perubahan beban mempengaruhi profil daya. Perubahan variasi beban dikontrol menggunakan relay module dan hasil dari perubahan beban mengakibatkan perubahan profil tegangan dan arus pada sistem yang dideteksi dengan sensor. Hal tersebut dapat dilihat melalui grafik pada GUI Labview.

Labview digunakan untuk mendapat variasi relay yang dapat digunakan karena lebih mudah dalam pengoprasian, namun pada penggunaan perangkat beban tiruan 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.

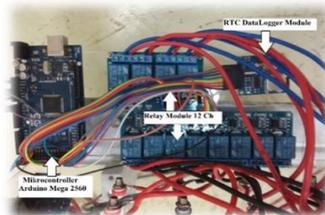
### III. Pembahasan

a. Pembuatan Perangkat Beban Tiruan

Perangkat beban tiruan yang dibuat seperti pada gambar 3.1 dan gambar 3.2 yang terdiri atas beberapa komponen yang saling terintegrasi menjadi satu sistem pembebanan.



Gambar 3.1. Tampilan perangkat beban tiruan



Gambar 3.2. Komponen utama perangkat beban tiruan

Gambar 3.1 dan gambar 3.2 merupakan bentuk rancang bangun perangkat beban tiruan terdiri dari beberapa komponen penting yaitu mikrokontroler, sensor, dan relay. Mikrokontroler yang digunakan adalah arduino mega yang digunakan untuk mengkoordinasikan komponen yang lain berupa sensor, relay, rtc, 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 perangkat beban tiruan terdapat dua jenis yaitu sensor arus dan sensor tegangan.

Sensor arus berfungsi untuk mendeteksi arus yang mengalir pada perangkat beban tiruan, dimana maksimal arus yang mampu mengalir pada sensor ini sebesar 30 ampere. Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi tegangan yang digunakan perangkat beban tiruan, dimana maksimal tegangan yang mampu diukur sensor ini sebesar 250 volt. Sensor arus dan sensor tegangan diletakkan pada bagian awal rangkaian perangkat beban tiruan, yang berfungsi untuk mendeteksi arus dan tegangan yang digunakan pada rangkaian perangkat beban tiruan, kemudian menjadi referensi bagi mikrokontroler.



Gambar 3.3. Beban pada perangkat beban tiruan

Pada gambar 3.3 merupakan beban yang digunakan pada perangkat beban tiruan yang terdiri atas beban berupa lampu pijar, lampu led, lampu emergency, dan motor pompa. Beban tersebut dirangkai sedemikian hingga menjadi rangkaian yang akan diatur menggunakan relay dengan program yang telah diupload pada mikrokontroler.

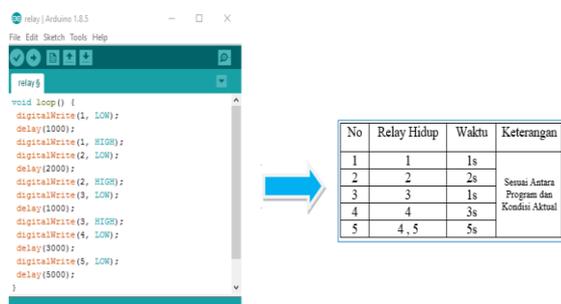
b. Pengujian Perangkat Beban Tiruan

Pengujian perangkat beban tiruan dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari setiap sistem ataupun komponen yang menjadi pendukung pada perangkat beban tiruan. Pengujian tersebut berupa pengujian relay, pengujian sensor arus, pengujian sensor tegangan, dan pengujian rtc dan data logger.

Pada pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil dari nilai terukur pada sensor dan multimeter, sehingga akan didapatkan besar nilai galat atau selisih pengukuran yang akan menjadi standar dari alat ukur tersebut. Besar kecilnya ketelitian alat ukur dibagi menjadi tiga yaitu alat cermat atau presisi (<0.5%), alat kerja ( $\pm 1-2\%$ ), alat ukur kasa (>3.0%).

c. Pengujian Relay

Pada penelitian ini relay yang digunakan berupa relay modul 8ch dan 4ch dengan kapasitas arus kerja sebesar 10 ampere. Relay bekerja berdasarkan prinsip induksi magnetik dengan masukan dari mikrokontroler. Pengujian ini dilakukan dengan cara menguploadkan variasi relay dan delay waktu pada mikrokontroler, kemudian membandingkan kondisi aktual saat relay bekerja apakah sesuai dengan perintah yang ada.



Gambar 3.4. Pengujian relay

Berdasarkan gambar 3.4 pengujian relay bekerja secara baik dengan output kondisi yang sesuai dengan input program yang ada, sehingga relay dapat digunakan dalam realisasi perangkat beban tiruan dengan variasi relay dan delay waktu yang ditentukan.

d. Pengujian Sensor Arus

Perangkat beban tiruan ini menggunakan sensor arus acs712 dengan kapasitas 30 A. Sistem kerja sensor ini dengan *hall effect* yang memanfaatkan medan listrik yang mengalir pada konduktor kemudian merubahnya dalam bentuk tegangan DC. Dari tegangan DC tersebut merupakan data analog dari sensor yang akan diubah ke bentuk digital pada mikrokontroler yang disebut ADC (Analog to Digital Converter).

Tabel 3.1. Hasil pengujian sensor arus beban ZIP

No	Beban	Multimeter (Ampere)	Sensor (Ampere)	Galat
1	-	0	0	-
2	Z-40W	0.14	0.15	0.0714
3	Z-60W	0.25	0.25	0.0000
4	Z-100W	0.46	0.46	0.0000
5	Z-200W	0.92	0.92	0.0000
6	Z-240W	1.1	1.09	0.0091
7	Z-260W	1.18	1.19	0.0085
8	Z-300W	1.36	1.37	0.0074
9	Z-400W	1.82	1.82	0.0000
10	M-125W	0.99	1.02	0.0303
11	C-13W	0.02	0.2	0.9000
12	C-17W	0.03	0.3	0.9000
13	P-12W	0	0.1	-

Tabel 3.1 merupakan hasil dari pengukuran arus berdasarkan perubahan jenis beban. Pada pengujian sensor arus ini, sensor arus akan digunakan untuk mengukur beban, dimana sumber yang masuk sesuai dengan beban. Beban menggunakan masing-masing dari beban ZIP dengan besar nilai tersebut.

Perhitungan galat dari pengujian dihitung dengan rata-rata hasil kesalahan relatif atau galat, namun perbedaan ukur sangat signifikan pada pengukuran beban I dan P dengan galat >3% atau sebagai kategori alat ukur kasa. Sehingga apabila jenis beban hanya terkategori pada beban statis dan dinamis maka dihasilkan nilai hasil kesalahan relatif atau galat sebesar 1.4% sebagai kategori alat ukur kerja.

Tabel 3.2. Hasil pengujian sensor arus beban statis dinamis

No	Beban	Multimeter (Ampere)	Sensor (Ampere)	Galat
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	200W	0.92	0.92	0.0000
6	240W	1.1	1.09	0.0091
7	260W	1.18	1.19	0.0085
8	300W	1.36	1.37	0.0074
9	400W	1.82	1.82	0.0000
10	125W	0.99	1.02	0.0303

Rata-rata galat	0.0141
-----------------	--------

e. Pengujian Sensor Tegangan

Perangkat beban tiruan ini menggunakan sensor tegangan AC zmp101b dengan kemampuan ukur hingga 250 Vac. Sistem kerja sensor ini dengan mengubah besar nilai tegangan AC melalui proses penurunan tegangan AC layaknya transformator penurun tegangan. Besar nilai tegangan yang berupa sinyal analog akan dikonversikan dalam bentuk digital melalui mikrokontroler yang disebut ADC.

Tabel 3.3. Hasil pengujian sensor tegangan

No.	Multimeter	Sensor	Galat
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 galat			0.001460

Tabel 3.3 merupakan hasil dari pengujian sensor tegangan yang diambil sebelum menyuplai beban. Berdasarkan hasil dari perhitungan galat, sensor bekerja dengan sangat baik karena nilai rata-rata galat 0.14% sehingga termasuk dalam kategori alat ukur cermat atau presisi. Perbedaan selisih ukur tersebut dapat lebih jelas dilihat dalam grafik pada gambar 4.6.

e. Pengujian rtc dan data logger

Pengujian rtc dan datalogger dilakukan untuk mengetahui kinerja dari modul tersebut bekerja dalam hal penyimpanan data secara *real-time* saat dilakukan pengukuran. Sehingga dapat mengetahui besar nilai tegangan dan arus akibat perubahan beban pada waktu tertentu.

Tabel 3.4. Hasil rtc dan data logger dari mikrokontroler

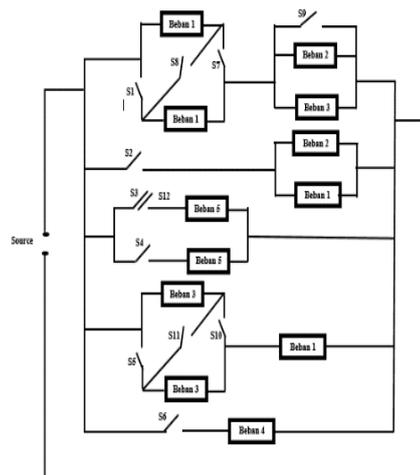
No.	Tanggal	Waktu	Arus (Ampere)	Tegangan (Voltage)
1	01/10/2018	13.21.57	0.19	201.08
2	01/10/2018	13.22.27	0.42	232.37
3	01/10/2018	13.22.57	0.92	57.78
4	01/10/2018	13.23.28	1.05	227.43
5	01/10/2018	13.23.58	0.11	97.31

6	01/10/2018	13.24.28	3.14	182.96
7	01/10/2018	13.24.59	0.32	182.96
8	01/10/2018	13.25.29	0.37	204.37
9	01/10/2018	13.25.59	0.27	230.72
10	01/10/2018	13.26.29	1.13	166.49
11	01/10/2018	13.27.00	0.48	166.49

Tabel 3.4 merupakan data yang dihasilkan dari penyimpanan data logger yang terpasang pada mikrokontroler, data yang tersimpan pada SD card yaitu tanggal, waktu, arus, dan tegangan.

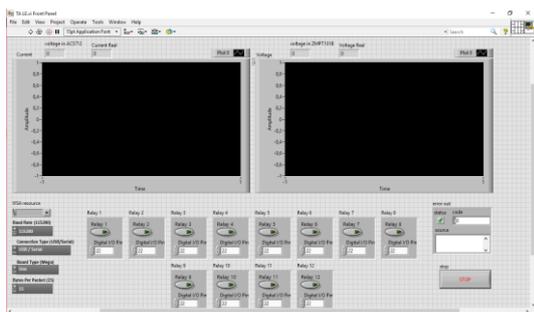
f. Hasil Data

Hasil data perangkat beban tiruan 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. Berikut ini merupakan rangkaian pembebanan pada gambar 3.5.



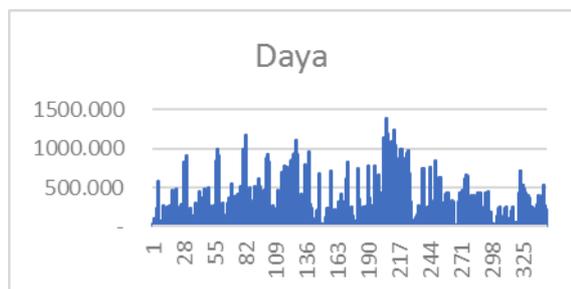
Gambar 3.5. Rangkaian pembebanan

Rangkaian pembebanan tersebut terdiri dari beberapa jenis beban yaitu beban 1 (lampu pijar / Z), beban 2 (lampu led / I), beban 3 (lampu *emergency* / P), beban 4 (resistor / statis), dan beban 5 (motor ac 1 fasa / dinamis). Dalam pembuatan variasi relay dilakukan dengan cara melakukan pengujian masing-masing kombinasi yang ada dari 11 relay yang digunakan dengan GUI yang telah dibuat sebelumnya pada *software* LabView.



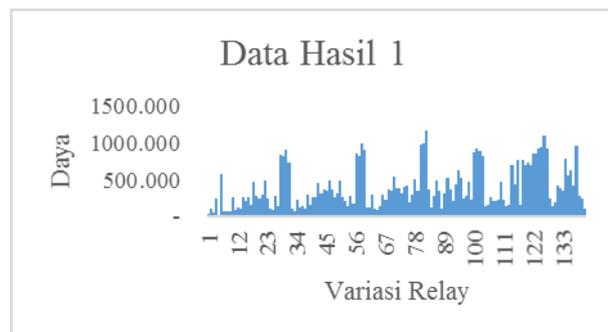
Gambar 3.6. GUI LabView sebagai pengujian kombinasi relay

Dengan menggunakan GUI pada gambar 3.6 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. Kombinasi yang ada dibagi menjadi dua pengambilan data sehingga didapatkan dua jenis data yang ada yaitu data 1 dan data 2. Tabel hasil data ditampilkan pada bagian lampiran, dimana data 1 terdiri dari 141 kombinasi, dan data 2 terdiri dari 204 kombinasi. Total kombinasi relay yang dapat digunakan sejumlah 345.



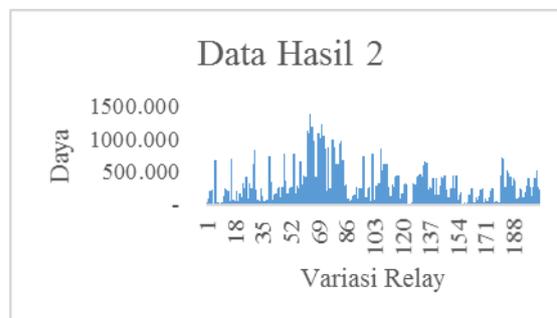
Gambar 3.7. Grafik hasil data 345 kombinasi relay

Data 1 diambil pada tanggal 1 juni 2018 sedangkan data 2 diambil pada tanggal 5 juni 2018. Kedua data tersebut menjadi acuan dalam pengujian ini guna membuat kombinasi relay untuk pola beban harian yang akan diuji kembali dan menjadi bahasan dalam penelitian ini.



Gambar 3.8. Grafik hasil data 1

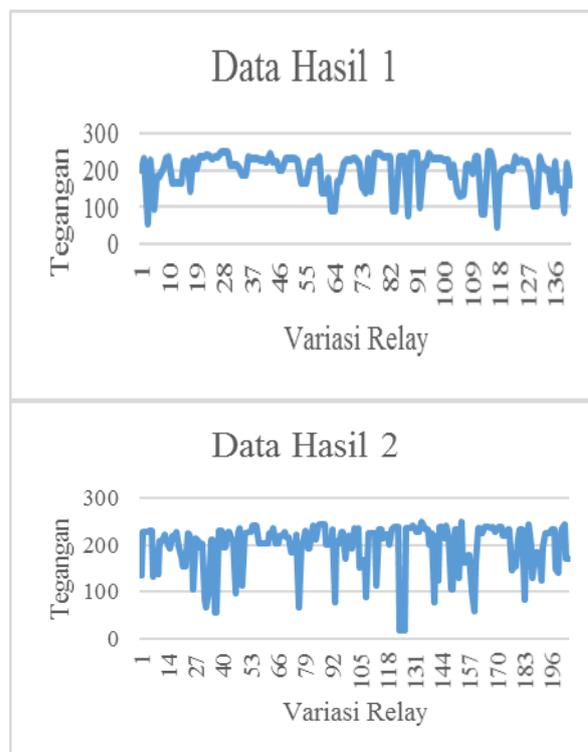
Gambar 3.8. merupakan grafik dari variasi relay data 1 dengan 141 kombinasi. Grafik tersebut menampilkan hubungan antara daya dan variasi relay dari data hasil 1, dimana beban tertinggi sebesar 1179.43 Watt dan beban terendah sebesar 10.70 Watt.



Gambar 3.9. Grafik hasil data 2

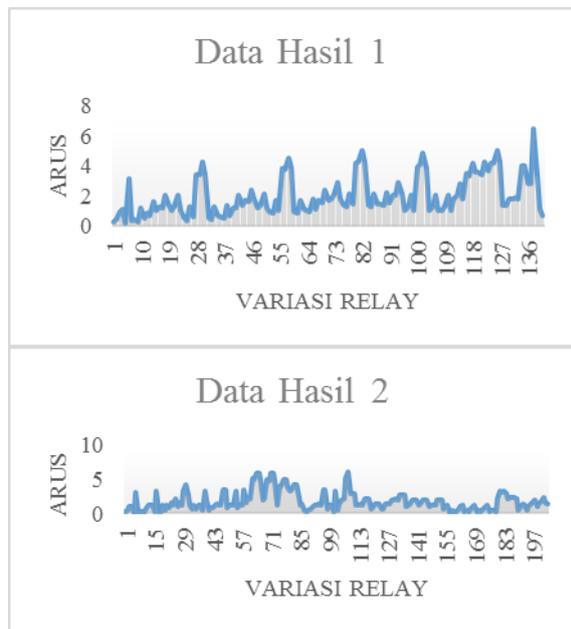
Gambar 3.9 merupakan grafik dari variasi relay data 2 dengan 204 kombinasi. Grafik tersebut menampilkan hubungan antara daya dan variasi relay dari data hasil 2, dimana beban tertinggi sebesar 1385.89 Watt dan beban terendah sebesar 11.50 Watt.

Besar nilai daya yang digunakan beban yang tersebut dipengaruhi oleh besarnya nilai tegangan sistem yang mengalami perubahan akibat perubahan besar beban yang fluktuatif sehingga besar arus pun terkadang mengalami perubahan. Adapun perubahan tegangan dan arus pada hasil data 1 dan data 2 terdapat pada gambar 3.10 dan 3.11 sebagai berikut:



Gambar 3.10. Grafik hubungan tegangan dan variasi relay

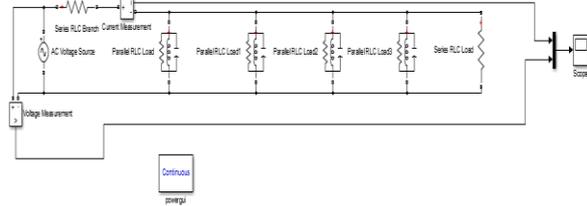
Berdasarkan gambar 3.10 grafik hubungan tegangan dan variasi relay dimana besar nilai tegangan berubah terhadap kombinasi relay yang ada maupun terhadap fluktuasi dari tegangan sistem itu sendiri dikarenakan sumber tegangan melalui outlet jaringan PLN. Dari hasil data 1 didapatkan nilai tegangan tertinggi sebesar 248.84 Volt dan terendah sebesar 47.9 Volt, sedangkan hasil data 2 didapatkan nilai tegangan tertinggi sebesar 250.49 Volt dan terendah sebesar 18.25 Volt.



Gambar 3.11. Grafik hubungan arus dan variasi relay

Berdasarkan gambar 3.11 grafik hubungan arus dan variasi relay dimana besar nilai arus berubah terhadap kombinasi relay yang ada dikarenakan perubahan besar nilai beban. Dari hasil data 1 didapatkan nilai arus tertinggi sebesar 6.44 Ampere dan terendah sebesar 0.11 Ampere, sedangkan hasil data 2 didapatkan nilai arus tertinggi sebesar 5.92 Ampere dan terendah sebesar 0.08 Ampere. Setelah pengujian pada seluruh komponen pada perangkat beban tiruan dilakukan, maka hasil pengujian dikomparasi terhadap hasil simulasi. Membandingkan perangkat beban tiruan dengan simulasi bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari perangkat beban tiruan yang dibuat, dengan harapan hasil nilai daya pembebanan yang bernilai sama atau mendekati dengan simulasi. Simulasi pembebanan perangkat beban tiruan dilakukan pada software Matlab Simulink berupa rangkaian listrik pembebanan, dengan 5 beban

utama yang terpasang pada jaringan listrik yang dibuat. Pada gambar 3.12 rangkaian simulasi perangkat beban tiruan pada matlab menggunakan tegangan nominal sebesar 220v dan beban yang divariasikan berdasarkan variasi yang juga dilakukan pada perangkat beban tiruan.



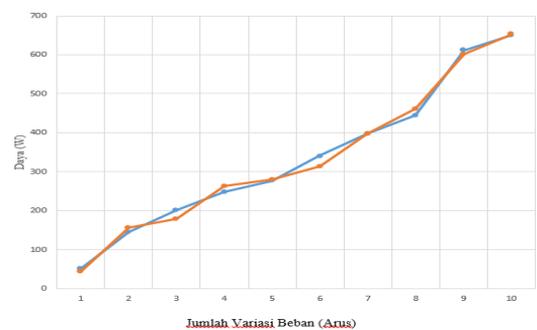
Gambar 3.12. Rangkaian simulasi perangkat beban tiruan pada Matlab

Besar nilai parameter diinputkan secara manual pada setiap komponen pembebanan yang ada pada simulasi tersebut. Berikut ini merupakan perbandingan data perangkat beban tiruan dan simulasi yang dilakukan.

Tabel 3.5. Perbandingan data emulator dan simulasi

Tegangan	Emulator		Simulasi		Galat
	Arus	Daya	Arus	Daya	
220	0.24	52.8	0.2	44	0.166667
220	0.66	145.2	0.71	156.2	0.075758
220	0.92	202.4	0.81	178.2	0.119565
220	1.13	248.6	1.2	264	0.061947
220	1.26	277.2	1.27	279.4	0.007937
220	1.55	341	1.43	314.6	0.077419
220	1.81	398.2	1.81	398.2	0
220	2.02	444.4	2.1	462	0.039604
220	2.78	611.6	2.74	602.8	0.014388
220	2.96	651.2	2.97	653.4	0.003378
galat rata-rata					0.056666

Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa besar nilai galat rata-rata atau selisih dari perangkat beban tiruan dan simulasi bernilai sebesar 5,6%, hal tersebut terjadi karna adanya beberapa parameter yang tidak dimasukkan dalam simulasi tersebut. Perbandingan data tersebut lebih jelas dilihat dalam grafik pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. Grafik Perbandingan data emulator dan jumlah simulasi

#### IV. Kesimpulan

Perangkat beban tiruan yang dibuat dapat digunakan untuk meniru sistem pembebanan berdasarkan pola beban harian yang menjadi acuan dengan skala yang diperkecil. Perangkat beban tiruan yang dibuat dapat digunakan sebagai peralatan untuk kegiatan praktikum sistem tenaga bagi mahasiswa teknik elektro.

#### Daftar Pustaka

S. Tan, "SCORE : Smart-Grid Common Open Research Emulator," *IEEE SmartGridComm 2012 Symposium - Performance Analysis and Simulation*, pp. 282-287, 2012.

Momoh, J.A.; "Smart grid design for efficient and flexible power networks operation and control", In Proc. IEEE Power Systems Conference and Exposition, pp 1-8, 2009.

V. Salehi, "Design and Implementation of Laboratory-Based Smart Power System," *American Society for Engineering Education*, 2011.

T. S. G. d. D. E. PT PLN, "PLN ' s Smart Grid Planning & Implementation : Challenges & Opportunities," in *2nd PJCI National Conference*, Jakarta, 2017.

A. Elsayed, "Design and Implementation of AC / DC Active Power Load Emulator," *IEEE*, pp. 1-5, 2015.

Y. S. Rao, "Real-Time Electrical Load Emulator Using Optimal Feedback Control Technique," *IEEE*, vol. 57, no. 4, pp. 1217-1225, 2010.

A. Mohamed, "Real-Time Energy Management Algorithm for Mitigation of Pulse Loads in Hybrid Microgrids," *IEEE*, vol. 3, no. 4, pp. 1911-1922, 2012.

ISSN 2621-0878

