

SKRIPSI

**MONITORING BESARAN LISTRIK DARI JARAK JAUH PADA
JARINGAN LISTRIK 3 FASE BERBASIS SINGLE BOARD
COMPUTER BCM 2835**



Oleh :

Muhammad Hasan
10582104112

Muhammad Ali Rusdin
1058294612

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2019



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **MONITORING BESARAN LISTRIK DARI JARAK JAUH PADA JARINGAN LISTRIK 3 FASE BERBASIS SINGLE BOARD COMPUTER BCM 2835**

Nama : 1. Muhammad Hasan
2. Muhammad Ali Rusdin

Stambuk : 1. 10582 1041 12
2. 10582 946 12

Makassar, 19 Juni 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing:

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng


Ir. Abdul Hafid, M.T

Mengetahui,
Ketua Jurusan Elektro


Adriani, S.T., M.T.
NBM : 1044 202



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: unismuh@gmail.com

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Muhammad Hasan** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1041 12 dan **Muhammad Ali Rusdin** dengan nomor induk Mahasiswa 10582 946 12, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/20201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Senin tanggal 17 Juni 2019.

Panitia Ujian : Makassar, 15 Syawal 1440 H
19 Juni 2019 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T

b. Sekertaris : Adriani, S.T., M.T

3. Anggota

1. Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

2. Dr. Ir. Hj. Hafsah Nirwana, M.T

3. Andi Faharuddin, S.T., M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. H. Zufajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Ir. Abdul Hafid, M.T

Dekan



Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T., IPM

NBM : 855 500

ABSTRAK

MONITORING BESARAN LISTRIK DARI JARAK JAUH PADA

JARINGAN LISTRIK 3 FASA BERBASIS *SINGLE BOARD COMPUTER* BCM2835

Pada jaringan listrik 3 fasa perlu dilakukan monitoring besaran listrik yang meliputi tegangan (V), arus (A), faktor daya ($\cos \theta$), daya (W) dan konsumsi energi (kWh). Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui perubahan besaran listrik terhadap waktu, sehingga dapat diketahui kualitas pasokan energi listrik pada sistem, dapat diketahui jika terjadi gangguan dan dapat diketahui besar konsumsi energi listrik secara berkala.

Untuk pengukuran tegangan digunakan trafo *step-down* sebagai sensor tegangan, pengukuran arus digunakan sensor arus ACS712-30A dan pengukuran konsumsi energi digunakan kWh meter merk Thera tipe TEM015-D4250. Sedangkan nilai daya didapat dari perhitungan, dimana daya merupakan hasil bagi antara nilai konsumsi energi terhadap waktu. Ketika nilai tegangan, arus dan daya diketahui maka nilai faktor daya juga dapat dihitung karena nilai daya merupakan hasil kali dari tegangan, arus dan faktor daya. Untuk pemrosesan data pengukuran dan perhitungan dibuat pemrograman python dengan menggunakan *Single Board Computer* BCM 2835 atau biasa dikenal dengan sebutan Raspberry Pi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa alat ukur tegangan, daya dan faktor daya yang digunakan memiliki tingkat presisi yang sesuai dengan standar IEC No.13B-23, namun untuk alat ukur arus belum memenuhi standar tetapi masih dapat digunakan karena memiliki selisih pengukuran yang kecil jika dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur yang ada di laboratorium. Dengan menggunakan Raspberry Pi, data hasil monitoring berhasil disimpan pada *database* dan dapat dilihat dari WEB dalam bentuk grafik.

Kata kunci : Jaringan listrik 3 fasa, sensor tegangan, sensor arus, kWh meter, Raspberry Pi.



ABSTRACT

ELECTRICITY MONITORING FROM FAR DISTANCE

3 PHASE ELECTRIC NETWORK BASED ON SINGLE BOARD COMPUTER BCM2835

In the 3 phase electricity network, it is necessary to monitor the electrical quantities including voltage (V), current (A), power factor ($\cos \theta$), power (W) and energy consumption (kWh). This is done to determine the change in the amount of electricity to time, so that it can be seen the quality of electrical energy supply in the system, can be known if there is a disturbance and can be known to consume large amounts of electrical energy regularly.

For voltage measurement step-down transformer is used as a voltage sensor, current measurement is used ACS712-30A current sensor and energy consumption measurement is used kWh meter Thera type TEM015-D4250 brand. While the power value is obtained from the calculation, where power is the result of the value of energy consumption to time. When the value of voltage, current and power is known, the value of the power factor can also be calculated because the value of power is the product of voltage, current and power factor. For processing measurement data and calculations python programming is made using the Single Board Computer BCM 2835 or commonly known as the Raspberry Pi.

The results of this study indicate that the voltage, power and power factor used have a level of precision that is in accordance with IEC No.13B-23 standard, but for current measuring devices it does not meet the standard but can still be used because it has a small measurement difference when compared to measurement results using a measuring instrument in the laboratory. By using the Raspberry Pi, the monitoring data is successfully stored in the database and can be viewed from the WEB in graphical form.

Keywords: *3 phase electricity network, voltage sensor, current sensor, kWh meter, Raspberry Pi.*

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan Program Studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah : “MONITORING BESARAN LISTRIK DARI JARAK JAUH PADA JARINGAN LISTRIK 3 FASE BERBASIS SINGLE BOARD COMPUTER BCM 2835”

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermamfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu degaa ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tinginya kepada :

1. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, S.T.,M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

2. Bapak Umar Katu, ST.MT. sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng. selaku pembimbing I dan Bapak Ir. Abd hafid, MT. selaku pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu dalam membimbing kami.
4. Bapak dan Ibu dosen serta Staf Pegawai Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutama dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2012 yang dengan keakraban dan persaudaraan yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut diatas mendapat pahala yang berlipat ganda disisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermamfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan negara. Amiin.

Makassar, 12 April 2018

penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Hipotesis.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Besaran Listrik.....	5
2.2 Pengukuran Tegangan Tinggi AC.....	9
2.3 Pengukuran Arus AC.....	12
2.4 kWh Meter Digital.....	14
2.5 Analog to Digital Converter (ADC).....	15
2.6 Single Board Computer BCM2835 (Raspberry Pi).....	16
2.7 Kesalahan Dalam Pengukuran (<i>Error</i>).....	18

2.8 Penelitian Terdahulu	19
III. METODE PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan	22
3.3 Langkah Kerja Penelitian	23
3.4 Blok Diagram Sistem	26
3.5 Perancangan Sistem	27
3.6 Kalibrasi	34
3.7 Pengujian	37
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Sensor Tegangan	39
4.2 Pengujian Sensor Arus dan kWh Meter	40
4.3 Pengujian Sistem	42
V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

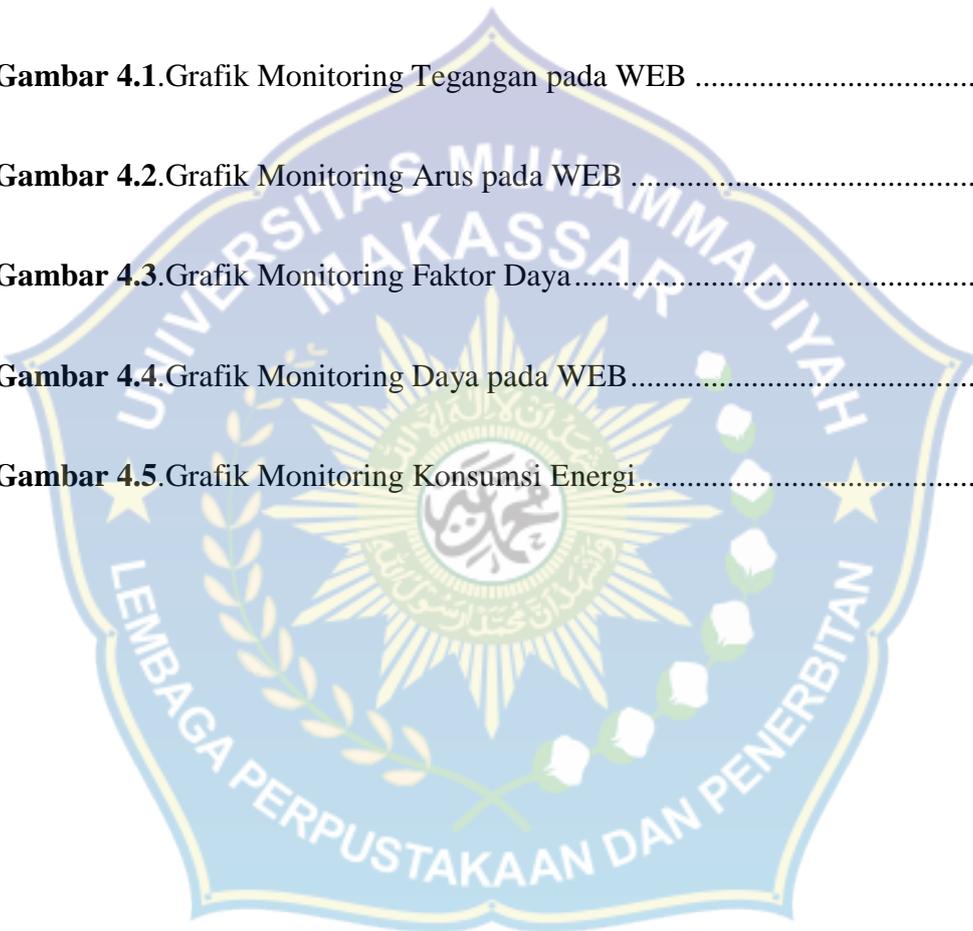
	Halaman
Tabel 2.1: Klasifikasi koefisien korelasi	12
Tabel 3.2 : Daftar Bahan	23
Tabel 4.2 : Data Hasil Pengukuran Arus	41
Tabel 4.3 : Data Hasil Pengukuran Daya	41
Tabel 4.4 : Data Hasil Pengukuran Faktor Daya	42



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Segitiga Gaya.....	8
Gambar 2.2. Skema Transformator	10
Gambar 2.3. Sensor Arus ASC 712	12
Gambar 2.4. Prinsip dari Hall Efect	14
Gambar 2.5. kWh Meter Digital TEM015-D4250	15
Gambar 2.6. ADC MPC 3008	16
Gambar 2.10 GPIO Raspberry Pi	17
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2. Blok Diagram Sistem.....	26
Gambar 3.3. Rangkaian Sensor tegangan.....	27
Gambar 3.4. Rangkaian Sensor Arus.....	28
Gambar 3.5. kWh Meter TEM015-D4250	29
Gambar 3.6. Rangkaian Pengkondisi sinyal kWh meter	30
Gambar 3.7. Koneksi Sensor dengan Raspberry Pi.....	31
Gambar 3.8. Diagram Alir Program	32

Gambar 3.9. Digital Power Clamp Meter.....	36
Gambar 3.10. Regulator Tegangan.....	38
Gambar 3.11. Alat ukur Analog	38
Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Data Hasil pengukuran Tegangan	40
Gambar 4.1. Grafik Monitoring Tegangan pada WEB	43
Gambar 4.2. Grafik Monitoring Arus pada WEB	44
Gambar 4.3. Grafik Monitoring Faktor Daya.....	44
Gambar 4.4. Grafik Monitoring Daya pada WEB.....	45
Gambar 4.5. Grafik Monitoring Konsumsi Energi.....	46



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik sangat berperan penting dalam memajukan perekonomian masyarakat, banyak peralatan-peralatan yang membutuhkan energi listrik untuk mengoperasikannya, baik dalam skala rumah tangga maupun skala industri. Dengan demikian, kualitas pasokan energi listrik sangat penting untuk diketahui karena kualitas energi listrik dapat mempengaruhi kinerja dan usia pakai dari beban atau peralatan yang digunakan. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi energi listrik tersebut diantaranya adalah tegangan, arus, dan faktor daya pada sistem.

Energi listrik dapat dibangkitkan dengan bantuan berbagai sumber, seperti air, minyak, batubara, angin, panas bumi, nuklir dan lainnya. Beberapa sumber tersebut, persediaannya di bumi ini terbatas, apabila digunakan terus-menerus maka lama-kelamaan akan habis. Untuk itu perlu dilakukan usaha agar persediaan energi listrik terus ada, usaha tersebut diantaranya dengan melakukan penghematan dalam mengkonsumsi energi listrik. Dengan demikian, selain tegangan, arus, faktor daya dan daya perlu juga diketahui besarnya konsumsi energi listrik setiap hari, setiap minggu atau setiap bulan guna untuk menentukan langkah-langkah untuk melakukan penghematan dalam mengkonsumsi energi listrik sehingga dapat menekan biaya tagihan listrik dan untuk menjaga ketersediaan energi listrik.

Untuk memenuhi kebutuhan di atas, perlu dibuat sebuah sistem monitoring besaran listrik yang meliputi tegangan, arus, faktor daya, dan daya listrik. Saat ini monitoring besaran listrik banyak dilakukan dengan cara memasang alat-alat ukur listrik pada panel listrik sebelum masuk ke beban, cara ini memiliki kekurangan diantaranya adalah yang pertama untuk mengetahui status kelistrikan harus langsung melihat di lokasi tempat alat ukur dipasang sehingga akan sangat merepotkan dan yang kedua adalah dengan cara ini hanya dapat dilihat besaran listrik pada saat itu saja, tidak ada rekaman monitoring yang dapat digunakan sebagai bahan analisa. Pada penelitian ini akan dibuat sistem monitoring besaran listrik yang dapat merekam data selama monitoring dilakukan dan dapat menampilkan hasil monitoring dari jarak jauh melalui WEB sehingga akan lebih efektif dan efisien. Dalam pembuatan sistem monitoring ini digunakan sebuah kWh meter digital yang telah banyak dijual dipasaran, hal ini dimaksudkan agar hasil pengukuran lebih akurat karena telah memiliki standarisasi pabrikan. Kemudian untuk mengetahui besar arus dan tegangan digunakan sensor arus dan sensor tegangan, selanjutnya daya dan faktor daya dapat diketahui melalui ketiga peralatan tersebut. Untuk pemrograman digunakan *Single Board Computer* BCM2835 atau biasa disebut dengan nama Raspberry pi, yaitu sebuah komputer mini yang harganya lebih murah dibandingkan dengan komputer PC. Dengan menggunakan Raspberry pi, sensor-sensor yang digunakan dapat langsung dihubungkan ke Raspberry pi untuk dilakukan pemrograman, hasil pengukuranpun dapat langsung ditampilkan dan direkam pada sebuah database. Raspberry pi juga

dapat langsung dihubungkan ke jaringan internet layaknya komputer PC, sehingga monitoring dapat dilakukan dari jarak jauh.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana merancang sensor arus dan tegangan dengan keluaran digital.
- b. Bagaimana menghubungkan kWh meter digital, sensor arus dan sensor tegangan ke Raspberry Pi.
- c. Bagaimana membuat program untuk membaca arus, tegangan, faktor daya, daya dan besarnya konsumsi energi listrik melalui sensor yang terpasang, kemudian mencatat hasil pengukuran ke database dan menampilkan pada WEB.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sebuah alat yang dapat memonitor besaran listrik pada jaringan listrik 3 fasa dan mampu merekam hasil monitoring tersebut ke dalam sebuah database untuk ditampilkan dalam bentuk grafik melalui WEB.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat sistem monitoring besaran listrik ini adalah :

- a. Untuk memonitor besaran listrik secara online.

- b. Dapat mengetahui besarnya konsumsi energi setiap hari, setiap minggu atau setiap bulan.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Besaran listrik yang dapat dimonitor adalah arus, tegangan, faktor daya, daya dan konsumsi energi listrik.
- b. Pengujian alat dilakukan pada panel listrik 3 fasa yang ada di gedung Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung lantai 2 untuk memonitor besaran listrik pada panel listrik tersebut.

1.6. Hipotesis

Pada Raspberry pi dilengkapi dengan GPIO (*General Purpose Input Output*) yang dapat dihubungkan dengan berbagai macam sensor, baik secara langsung maupun dengan bantuan ADC. Dengan demikian, jika digunakan kWh meter digital, sensor arus dan sensor tegangan yang dihubungkan dengan GPIO Raspberry Pi maka beberapa besaran listrik seperti tegangan, arus, faktor daya, daya dan besar konsumsi energi listrik pada sebuah jaringan listrik dapat dimonitor melalui Raspberry pi tersebut. Karena Raspberry pi merupakan sebuah komputer maka hasil monitoring dapat direkam pada sebuah database, dan ditampilkan melalui WEB dalam bentuk grafik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Besaran Listrik.

Pada dunia kelistrikan, dikenal beberapa besaran listrik yang penting untuk diketahui, diantaranya adalah arus, tegangan dan daya. Arus listrik adalah banyaknya muatan yang mengalir pada sebuah penghantar dalam waktu satu detik (*coulombs per second*) yang diukur dalam satuan ampere (A). Arus listrik dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$I = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

I = Arus listrik dalam satuan ampere (A)

Q = Muatan listrik dalam satuan columb (C)

T = Waktu dalam satuan detik (s)

Tegangan listrik adalah besarnya beda energi potensial antara dua buah titik yang diukur dalam satuan volt (V). Tegangan dapat juga diartikan sebagai *joule per coulomb*. Misalkan sebuah baterai memiliki tegangan sebesar 12,6 V, itu berarti setiap muatan 1 coulomb menyediakan energi 12,6 joule. Jika sebuah lampu dihubungkan ke baterai tersebut maka setiap muatan 1 coulomb yang mengalir melalui lampu akan mengkonversi energi sebesar 12,6 joule menjadi

energi panas dan energi cahaya. Dengan demikian rumus tegangan adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{E}{Q} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

V = Tegangan dalam satuan volt (V)

E = Energi dalam satuan joule (J)

Q = Muatan dalam satuan columb (C)

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang mengalir setiap detik atau *joule per second* yang diukur dalam satuan watt (W). Daya listrik dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$E = P.t \dots\dots\dots (2-3)$$

$$P = \frac{E}{t} \dots\dots\dots (2-4)$$

Dimana :

P = Daya dalam satuan watt (W)

E = Energi dalam satuan Joule (J)

t = Waktu dalam satuan detik (s)

Energi listrik dapat juga didefinisikan sebagai laju penggunaan daya listrik dikalikan dengan selama waktu tersebut. Satuan SI untuk energi listrik adalah Joule (J), namun dalam kehidupan sehari-hari lebih dikenal dengan

kiloWatt-hour (kWh). Pada sebuah rangkaian listrik, hubungan antara arus dan tegangan dijelaskan dengan hukum ohm dimana arus berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan. Hambatan yang dimaksud adalah hambatan pada rangkaian yang dapat menghalangi aliran arus. Hambatan dinotasikan dengan huruf R dan diukur dalam satuan ohm (Ω).

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$V = I.R \dots\dots\dots (2-7)$$

Dimana :

I = Arus dalam satuan ampere (A)

V = Tegangan dalam satuan volt (V)

R = Hambatan (*Resistance*) dalam satuan ohm (Ω)

Selanjutnya hubungan arus, tegangan dan daya dijelaskan dengan persamaan berikut :

$$P = I.V \dots\dots\dots (2-8)$$

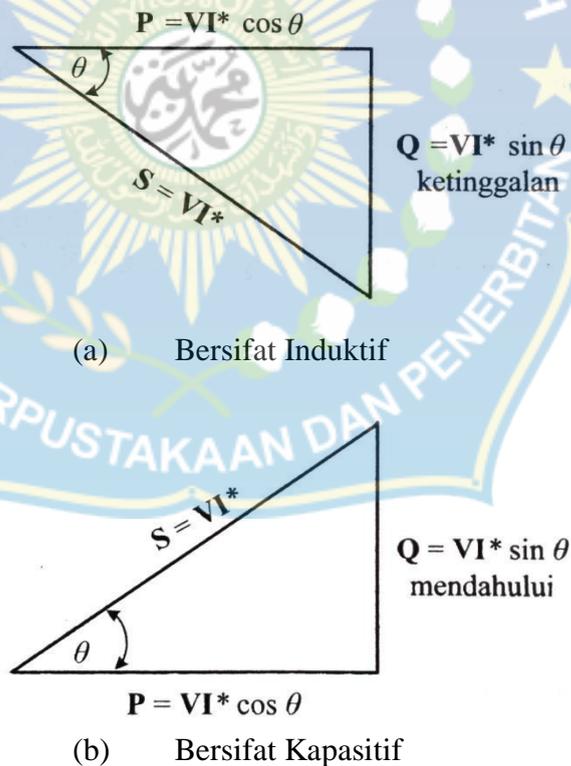
$$P = I^2.R \dots\dots\dots (2-9)$$

$$I = \frac{P}{V} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$V = \frac{P}{I} \dots\dots\dots (2-11)$$

Pada jaringan listrik AC dengan bentuk gelombang sinusoidal dikenal beberapa jenis bentuk daya, diantaranya adalah daya kompleks, daya aktif dan daya reaktif. Perkalian tegangan V dengan arus I^* dalam kedua besaran ini dalam bentuk kompleks adalah VI^* yang dinamakan daya kompleks dengan simbol S , dalam satuan Volt Ampere (VA). Daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan $S \cos \theta$ atau $VI^* \cos \theta$ dengan simbol P , dalam satuan Watt (W). Sedangkan daya reaktif atau daya khayal dirumuskan dengan $S \sin \theta$ atau $VI^* \sin \theta$ dengan simbol Q , dalam satuan Volt Ampere Reaktif (VAR).

Hubungan antara ketiga jenis daya diatas dapat dijelaskan dengan sketsa segitiga daya seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 : Segitiga Daya

Komponen-komponen segitiga daya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Daya Aktif} \quad : P = VI^* \cos \theta \quad (\text{W}) \dots\dots\dots (2-12)$$

$$\text{Daya Reaktif} \quad : Q = VI^* \sin \theta \quad (\text{VAR}) \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\text{Daya Kompleks} \quad : S = VI^* \quad (\text{VA}) \dots\dots\dots (2-14)$$

$$\text{Faktor Daya} \quad : p.f = \cos \theta \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

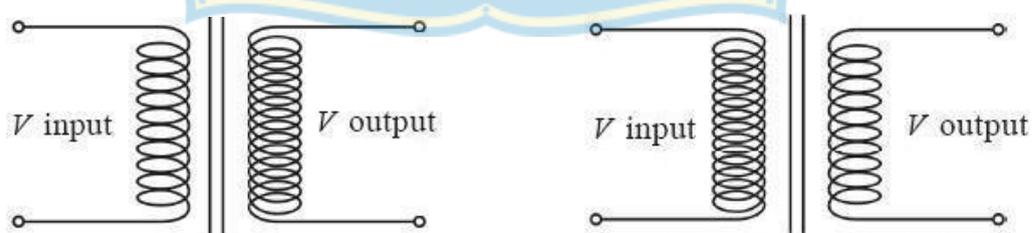
Sudut fasa θ muncul akibat adanya selisih fasa antara fasa tegangan dan fasa arus, jika rangkaian bersifat induktif maka fasa arus akan tertinggal dari fasa tegangan, jika rangkaian bersifat kapasitif maka fasa arus akan mendahului fasa tegangan, sedangkan jika rangkaian bersifat resistif maka arus akan sefasa dengan tegangan sehingga sudut fasa $\theta = 0$. Dengan adanya sudut fasa θ maka akan muncul sebuah besaran yang disebut Faktor daya atau *power factor* (p.f) yang merupakan nilai cosinus dari besar sudut fasa θ . Faktor daya pf sering digunakan sebagai indikator baik atau buruknya pasokan daya pada sebuah sistem. Nilai pf tidak akan lebih besar dari satu (1), jika nilai pf semakin mendekati 1 maka akan semakin baik bagi sistem.

2.2. Pengukuran Tegangan Tinggi AC.

Untuk melakukan pengukuran tegangan tinggi AC, metode yang digunakan adalah dengan cara menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah. Metode ini yang digunakan dalam pembuatan alat ukur tegangan atau Voltmeter. Untuk menurunkan tegangan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan atau yang kedua dengan menggunakan transformator step down. Transformator merupakan suatu peralatan

listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandingan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektris namun berhubungan secara magnetis. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani.



Transformator step-up ($N_s > N_p$)

Transformator Step-down ($N_s < N_p$)

Gambar : Skema Transformator

Secara umum, Transformator dibedakan menjadi dua jenis, yaitu Transformator step-up dan Transformator step-down. Transformator step-up adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh. Sedangkan Transformator step-down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan.

Rumus tegangan pada transformator adalah sebagai berikut :

$$V_o = \frac{V_i \cdot N_o}{N_i} \dots\dots\dots (2-16)$$

Dimana :

V_o = Tegangan Output (V)

V_i = Tegangan Input (V)

N_o = Jumlah lilitan output (lilitan sekunder)

N_i = Jumlah lilitan input (lilitan primer)

Transformator yang baik untuk digunakan sebagai sensor tegangan adalah transformator yang memiliki sifat linieritas yang baik, artinya tegangan output dari transformator akan naik ataupun turun sesuai dengan naik atau turunnya tegangan input dari transformator tersebut. Untuk menentukan tingkat linieritas trafo dapat dilakukan dengan mencari koefisien korelasi antara tegangan output dan tegangan input transformator. Koefisien korelasi merupakan angka

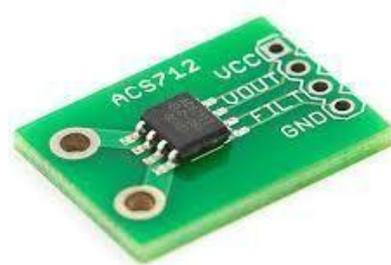
yang menunjukkan tinggi atau rendahnya hubungan antara dua buah variabel atau lebih. Menurut Goilford, klasifikasi koefisien korelasi tanpa memperhatikan tanda positif dan negatif ditunjukkan pada table 2.1 berikut:

Tabel 2.1: Klasifikasi koefisien korelasi

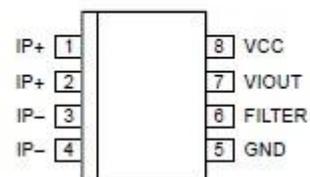
Koefisien Korelasi	Tingkat Hubungan
0,00 sd 0,20	Tidak ada korelasi
0,21 sd 0,40	Rendah atau kurang
0,41 sd 0,70	Cukup
0,71 sd 0,90	Tinggi
0,91 sd 1,00	Sangat tinggi (sempurna)

2.3. Pengukuran Arus AC.

Pengukuran arus biasanya membutuhkan resistor shunt yaitu resistor yang dihubungkan secara seri pada beban dan megubah arus menjadi tegangan. Tegangan tersebut biasanya di umpankan ke *current transformer* terlebih dahulu sebelum masuk kerangkaian pengkondisi sinyal. Teknologi *hall effect* yang diterapkan oleh perusahaan *Allegro* menggantikan *resistor shunt* dan *current transformer* menjadi sebuah sensor yang ukuran yang relatif jauh lebih kecil yaitu ACS712 yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Pin-out Diagram



Gambar 2.3 : Sensor Arus ACS712

Istilah *Hall Effect* dikenal setelah Edwin H. Hall (1855-1938) menemukan bahwa jika arus listrik mengalir melalui penghantar yang ditempatkan pada *tranverse* medan magnet yang kuat, akan menghasilkan beda potensial yang melewati penghantar pada kedua sudut penghantar itu. *Hall Effect Sensor* adalah suatu transduser yang dapat mengubah besaran medan magnet menjadi besaran listrik yaitu berupa tegangan. Sensor *Hall effect* digunakan untuk mendeteksi kedekatan, keberadaan atau ketiadaan medan magnet dari suatu objek dengan kritis. Sensor *Hall effect* digunakan untuk sensor perpindahan, sensor letak atau jarak, sensor kecepatan dan sensor arus.

Konduktor atau *Hall Effect* elemen berbentuk lempengan pipih. Pembawa arus di dalamnya didorong ke tepi atas oleh gaya magnet yang bekerja padanya. Gaya ini merupakan gaya nonelektrostatik, besar medan nonelektrostatik sama dengan gaya satuan muatan. Jika pembawa muatan itu elektron, akan ada muatan lebih menumpuk di pinggir atas lempengan dan meninggalkan muatan lebih menumpuk di pinggir bawah, sampai medan elektrostatik *tranverse* dalam konduktor sama dan berlawanan dengan nonelektrostatik.

Arus transversal akhir sama dengan nol, maka konduktor itu berada pada “rangkaiian terbuka” dalam arah transversal, dan beda potensial antara tepi-tepi lempeng, yang dapat diukur dengan meter, sama dengan GGL Hall dalam lempeng. Ketika konduktor yang dialiri arus diletakkan di dalam suatu medan magnet, akan dihasilkan tegangan yang tegak lurus dengan arus dan medan magnet.

Material semikonduktor (Hall Element) dilewati arus. Tegangan keluaran tegak lurus dengan arah arus. Ketika tidak ada medan magnet, penyaluran arus sama besar dan tidak ada tegangan seperti pada gambar 2.4(a) Pada saat terdapat medan magnet tegak lurus terhadap bidang seperti gambar 2.4(b) gaya Lorentz mendesak arus. Gaya ini mengganggu penyebaran arus, menghasilkan tegangan pada output. Tegangan ini adalah tegangan Hall(V_H).



Gambar 2.4 : Prinsip dari *Hall Effect*

2.4. kWh meter digital

Saat ini kWh meter digital telah banyak dijual di pasaran, salah satunya adalah jenis *Din Rail Power Meter* tipe TEM015-D4250 buatan Thera yang ditunjukkan pada gambar 2.5. kWh meter jenis ini dilengkapi dengan output

berupa sinyal impuls yang dapat digunakan untuk monitoring melalui komputer yang nilainya adalah 2000 impuls/kWh.



Gambar 2.5 : kWh meter digital TEM015-D4250

2.5. Analog to Digital Converter (ADC)

Analog to Digital Converter (ADC) merupakan piranti elektronik yang dapat mengubah besaran dari bentuk analog menjadi bentuk digital. ADC sangat dibutuhkan dalam proses pembacaan sensor, misalkan sensor cahaya, sensor suhu dan lain-lain. Kebanyakan sensor, hasil pengukuran masih berupa besaran analog, sehingga agar dapat dibaca komputer besaran tersebut harus diubah menjadi bentuk digital dengan bantuan sebuah ADC. Banyak jenis ADC yang ada di pasaran, salah satunya adalah ADC MCP3008 yang ditunjukkan pada gambar 2.6. ADC jenis ini memiliki resolusi 10bit, resolusi ini mempengaruhi hasil pengukuran, semakin besar nilai resolusi sebuah ADC maka tingkat akurasinya

semakin tinggi. Untuk sistem komunikasi data, MCP3008 menggunakan SPI serial interface yang dapat dihubungkan langsung dengan GPIO Raspberry Pi



Gambar 2.6 : ADC MCP3008

Untuk menentukan nilai tegangan input digunakan persamaan berikut :

$$V_{in} = (\text{Data digital} \times 3,3) / 1023 \dots\dots\dots (2-17)$$

Dimana : V_{in} = Nilai tegangan yang diukur (Volt)

Data digital = Nilai digital hasil konversi ADC

3,3 = Tegangan referensi MCP3008 (3,3 V)

1023 = resolusi 10 bit MCP3008

2.6. Single Board Computer BCM2835 (Raspberry Pi)

Single Board Computer BCM2835 (gambar 2.10) atau biasa disebut dengan Raspberry Pi adalah komputer berukuran kartu kredit yang dikembangkan oleh Raspberry Pi Foundation, yang memiliki fungsi yang hampir sama dengan PC kebanyakan. Model PC ini dibagi menjadi dua tipe, yaitu tipe A dan tipe B. Perbedaan keduanya hanya terletak pada *memory*, jumlah *port USB*,

2.7. Kesalahan Dalam Pengukuran (*Error*)

Dalam melakukan pengukuran hal yang cukup sulit adalah mengetahui apakah nilai hasil pengukuran merupakan nilai yang benar, karena setiap pengukuran yang menggunakan alat ukur hanya dapat menghasilkan nilai perkiraan. Dengan demikian dalam merancang sebuah alat ukur harus ada nilai pembanding yang bisa didapat dari hasil perhitungan atau dari hasil pengukuran menggunakan alat ukur yang telah diakui kemampuannya. Nilai pembanding tersebut digunakan untuk mengetahui besar kesalahan dalam pengukuran (*Error*), sehingga dapat diketahui tingkat ketelitian alat ukur yang dibuat yang selanjutnya akan menentukan kualitas dari alat ukur tersebut. Klasifikasi alat ukur listrik menurut Standar IEC No. 13B-23 menspesifikasikan bahwa ketelitian alat ukur dibagi menjadi 8 kelas yaitu : 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; dan 5. Kelas-kelas tersebut artinya bahwa besarnya kesalahan alat ukur masing-masing adalah $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 0,2\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 1,0\%$, $\pm 1,5\%$, $\pm 2,5\%$, dan $\pm 5\%$. Dari 8 kelas alat ukur tersebut digolongkan menjadi 4 golongan sesuai dengan daerah pemakaiannya, yaitu :

- 1) Golongan dari kelas 0,05, 0,1 dan 0,2 termasuk alat ukur presisi yang tertinggi, biasa digunakan pada laboratorium yang standar
- 2) Golongan dari kelas 0,5 memiliki ketelitian dan tingkat presisi berikutnya dari 0,2. Alat ukur ini biasa digunakan pada pengukuran-pengukuran presisi. Alat ukur ini biasanya portabel.

- 3) Golongan dari kelas 1,0 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.
- 4) Golongan dari kelas 1,5, 2,5 dan 5. Alat ukur ini biasa digunakan pada panel-panel yang tidak begitu memperhatikan presisi dan ketelitian.

Ada beberapa cara dalam menentukan kesalahan, namun yang umum digunakan adalah dengan menentukan persentasi kesalahan (*percent of error*) menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Persen error} = \frac{\text{Nilai Pengukuran} - \text{Nilai Pembanding}}{\text{Nilai Pembanding}} \times 100\%$$

2.8. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu yang menjadi rujukan dalam penelitian ini diantaranya adalah:

- a. Rancang Bangun Pencatat Data kWh Meter Jarak Jauh Berbasis Mikrocontroller (Vector Anggit Pratomo,2012).Penelitian ini menghasilkan sebuah alat untuk menghitung konsumsi energi pada rumah tangga. Alat yang dibuat terdiri dari dua bagian yaitu *transmitter* dan *receiver*.*Transmitter* dipasang pada kWh meter, sedangkan *receiver* digunakan untuk melihat hasil perhitungan dari jarakjauh menggunakan wireless.Untuk

mendapatkan nilai konsumsi energi hanya digunakan sensor arus, dan untuk mengolah data digunakan mikrokontroler.

- b. Rancang Bangun Sistem Monitoring Tegangan, Arus dan Temperatur pada Sistem Pencatu Daya Listrik di Teknik Elektro Berbasis Mikrokontroler Atmega128 (Suryawan Dwi Wahyu, 2012). Penelitian ini menghasilkan alat untuk memonitor tegangan, arus dan suhu pada sistem pencatu daya 3 fasa. Sensor tegangan menggunakan trafo step down dan sensor arus menggunakan *current transformer*. Data pengukuran diolah pada mikrokontroler untuk ditampilkan pada LCD.
- c. Perancangan kWh Meter Digital Menggunakan Sensor Arus ACS712E LC-30A (Ihsan Thamrin, 2010). Penelitian ini menghasilkan sebuah kWh meter digital dengan menggunakan sensor arus ACS712-30A, rangkaian pembaca tegangan dan mikrokontroler. Data hasil pengukuran dapat dilihat dari sebuah LCD.
- d. Monitoring Pemakaian Energi Listrik Berbasis Mikrokontroler Secara Wireless (Dayita Andyan Rusti, 2011). Penelitian ini menggunakan sensor arus ACS712 dan rangkaian pembagi tegangan untuk sensor tegangan. Dari sensor arus dan sensor tegangan digunakan teknik *zerocrossing* untuk mendapatkan nilai faktor daya. Dengan demikian nilai konsumsi energi listrik dapat dihitung. Monitoring dapat dilakukan dari sebuah komputer PC dengan jaringan wireless.
- e. Rancang Bangun Alat Ukur Arus Menggunakan Transformator Arus Berbasis Mikrokontroler ATmega32 (Dimas Adityawarman, 2014). Pene-

litan ini menghasilkan alat ukur arus dengan menggunakan *curren transformer* sebagai sensor arus dan mikrokontroler sebagai pengolah data.

Hasil pengukuran ditampilkan pada LCD.

- f. Energy Monitoring System Berbasis WEB(NovanZulkarnain,2013)P
enelitian ini menghasilkan alat untuk memonitor pemakaian energi listrik pada sebuah gedung. Data monitoring disimpan pada database dengan aplikasi MySQL,kemudian dibuat grafik dengan pemograman PHP sehingga monitroing dapat dilakukan melalui WEB.
- g. Rancang Bangun Sistem Monitoring Bandwidth, Koneksi Listrik dan Temperatur Ruang Berbasis Raspberrry Pi pada Gedung Pusat Data Universitas Lampung (Hanang Priambodo, 2014).Penelitian ini menghasilkan alat untuk memonitor bandwidth pada koneksi internet, untuk memonitor koneksi listrik dan suhu ruang. Data hasil monitoring disimpan pada database MySQL dan dapat dilihat dari WEB dalam bentuk grafik.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan April 2018 sampai bulan Desember 2018, bertempat di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar.

3.2. Alat dan Bahan

Untuk pembuatan dan pengujian dalam penelitian ini dibutuhkan alat bantu yang disebutkan pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 : Daftar Alat Bantu

NO.	NAMA ALAT	JUMLAH
1	Komputer (PC)	1
2	Voltmeter	1
3	Tang Ampere	1
4	Cos phi meter	1
5	Watt meter	1
6	Tang potong	1
7	Tang lancip	1
8	Obeng +	1
9	Obeng -	1
10	Solder	1

Sedangkan bahan-bahan yang dibutuhkan disebutkan pada tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.2 : Daftar Bahan.

NO.	NAMA BAHAN	JUMLAH
1	Raspberry pi	1
2	Adaptor	1
3	SD Card 8GB	1
4	kWh meter 30 A	3
5	Trafo 1 A	3
6	ACS712-30A	3
7	ADC MCP3008	1
8	Rangkaian Elektronika	1
9	Jumper	1
10	Box MCB	1
11	TRAN 2P5S	3

3.3. Langkah Kerja Penelitian

Dalam penelitian ini, langkah-langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut :

a. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori yang berkaitan dengan monitoring besaran listrik menggunakan Raspberry Pi.

b. Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini meliputi pembuatan sensor tegangan, sensor arus dan pembuatan program

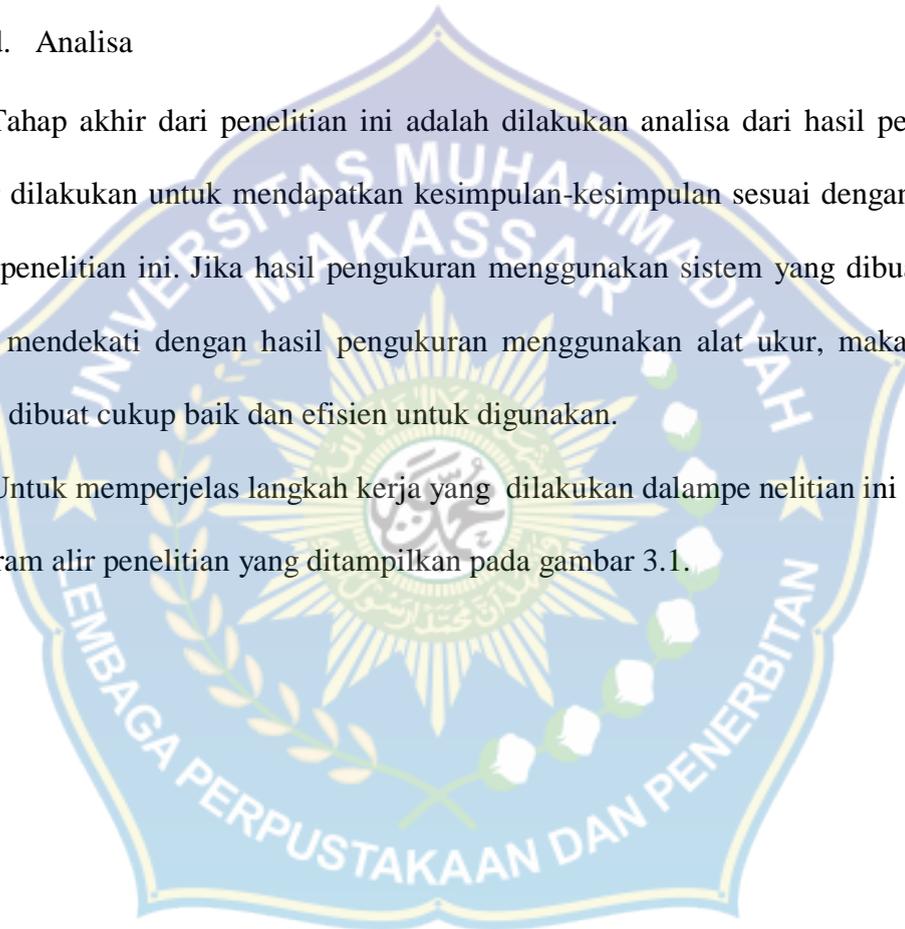
c. Pengujian Sistem

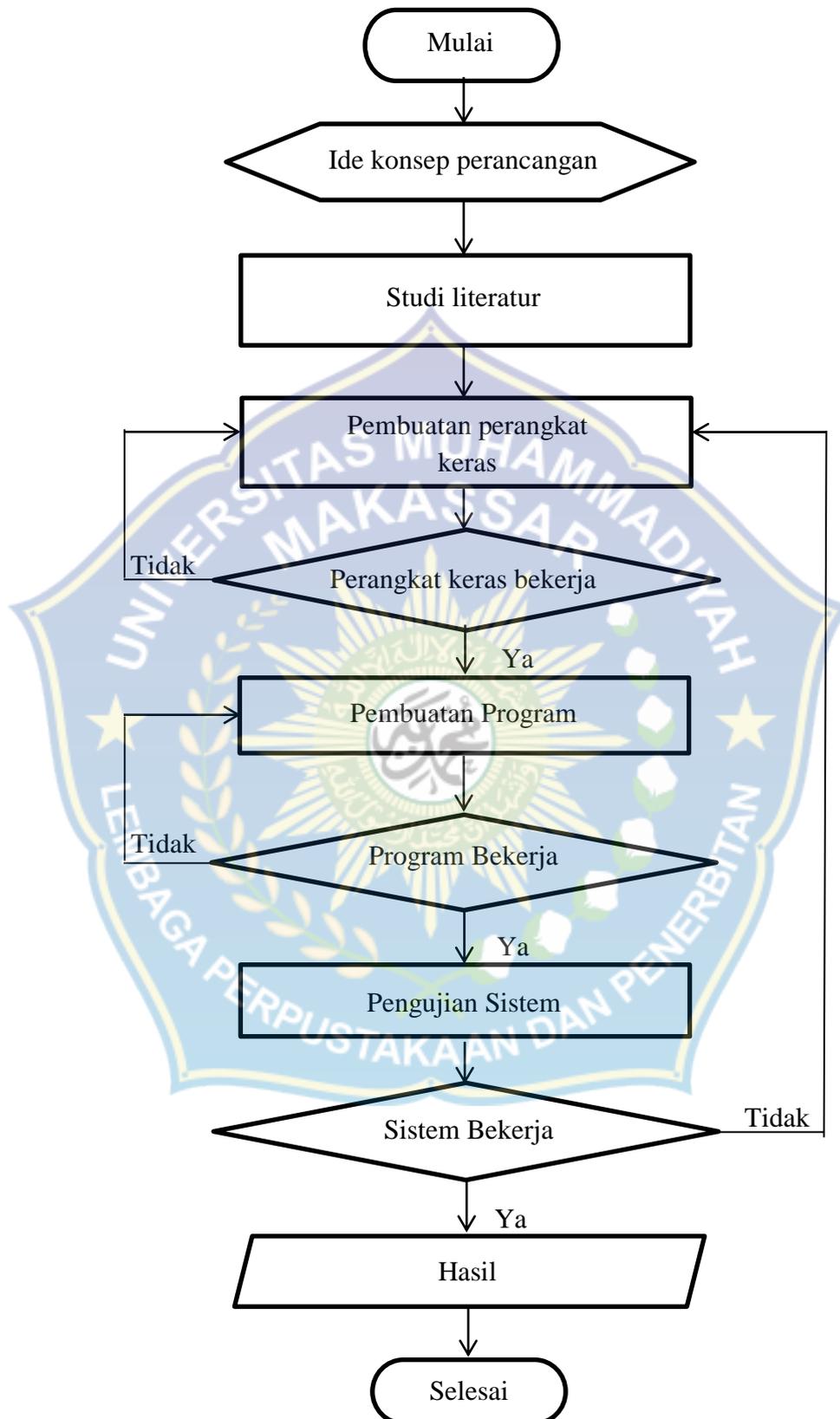
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat dapat bekerja sesuai yang diinginkan atau tidak. Dalam pengujian ini dilakukan bertahap, yaitu menguji setiap sensor yang digunakan menggunakan alat ukur yang sudah ada, kemudian dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan.

d. Analisa

Tahap akhir dari penelitian ini adalah dilakukan analisa dari hasil pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan-kesimpulan sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Jika hasil pengukuran menggunakan sistem yang dibuat sama atau mendekati dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur, maka sistem yang dibuat cukup baik dan efisien untuk digunakan.

Untuk memperjelas langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian ini dibuat diagram alir penelitian yang ditampilkan pada gambar 3.1.



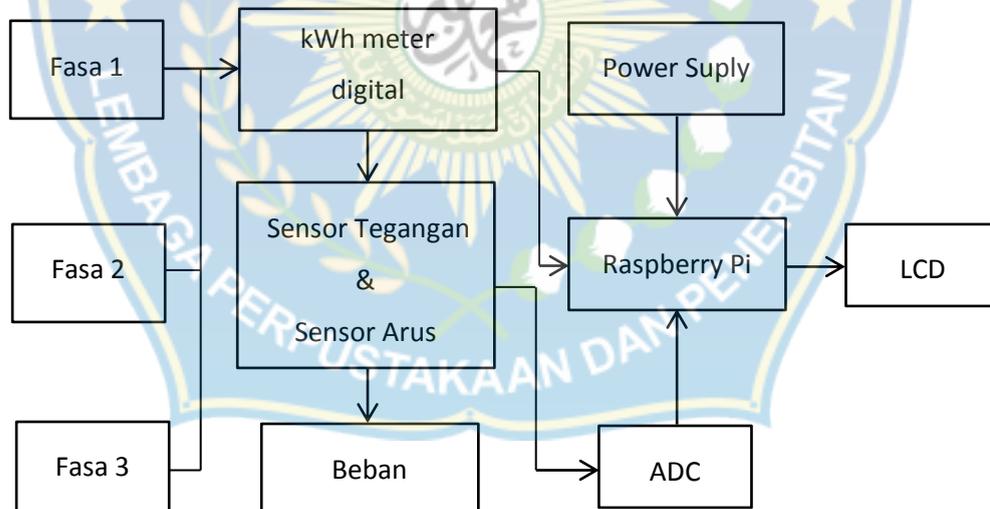


Gambar 3.1 : Diagram alir penelitian

3.4. Blok Diagram Sistem

Untuk membuat sistem monitoring besaran listrik ini, alurnya adalah yang pertama dari sumber listrik 3 fasa masuk ke kWh meter digital, kemudian ke sensor arus dan sensor tegangan, selanjutnya dihubungkan ke beban listrik yang digunakan. Hasil pembacaan kWh meter dapat langsung dikirim ke Raspberry Pi, sedangkan hasil pembacaan sensor arus dan sensor tegangan harus melalui ADC terlebih dahulu sebelum dikirim ke Raspberry Pi. Selanjutnya Raspberry Pi merupakan tempat membuat program untuk menyimpan hasil monitoring ke dalam database dan menampilkannya ke WEB.

Untuk mempermudah dalam memahami sistem maka dibuat blok diagram sistem yang ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut :



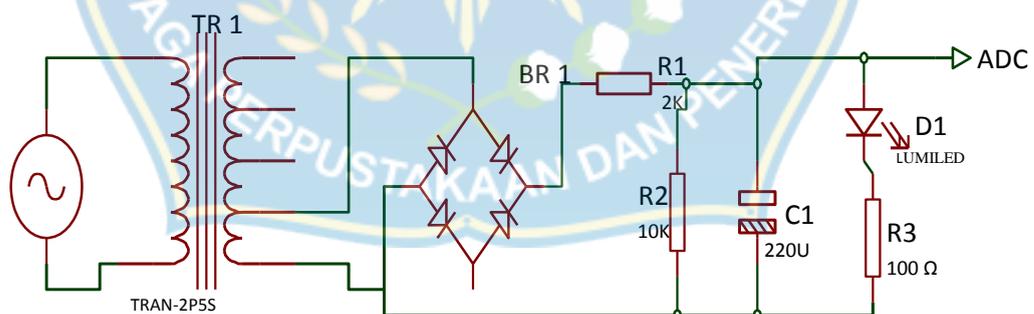
Gambar 3.2 : Blok Digram Sistem

3.5. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dari penelitian ini meliputi :

a. Perancangan sensor tegangan.

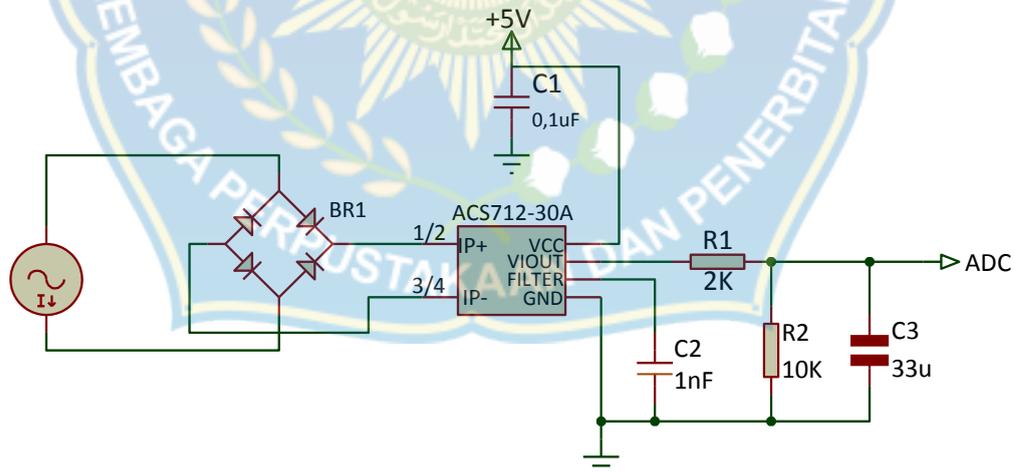
Dalam perancangan sensor tegangan digunakan transformator step-down untuk menurunkan tegangan dari level tegangan tinggi ke level tegangan rendah. Keluaran trafo masih berupa tegangan AC sehingga dibutuhkan rangkaian pengkondisian sinyal agar didapat tegangan yang aman bagi Raspberry Pi. Rangkaian pengkondisian sinyal ini merupakan rangkaian penyearah dan pembagi tegangan yang berfungsi untuk mendapatkan tegangan DC yang tidak lebih dari 3,3 V agar tegangan dapat dibaca oleh ADC, kemudian dikonversikan ke dalam bentuk sinyal digital untuk diteruskan ke Raspberry Pi. Rangkaian sensor tegangan yang akan dibuat ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 : Rangkaian Sensor Tegangan.

b. Perancangan sensor arus

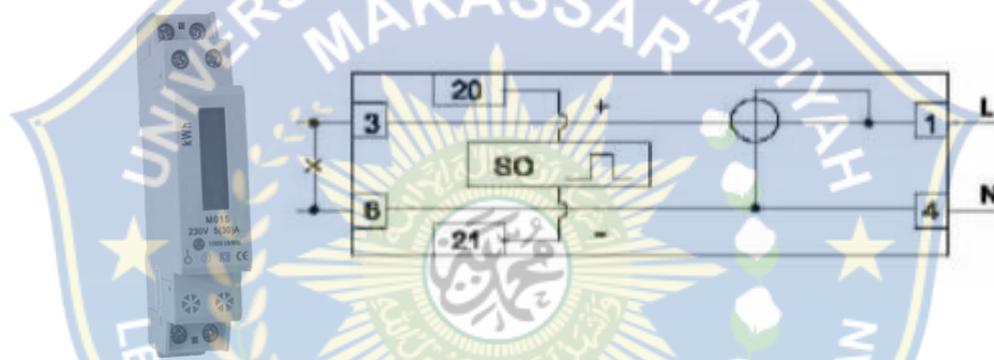
Sensor arus menggunakan ACS712 30A, sensor ini akan memberikan tegangan output yang linier dengan perubahan arus yang diukur. Sinyal keluaran ACS712 tergantung sinyal masukan, jika arus yang diukur adalah arus AC maka sinyal keluaran merupakan sinyal AC dan jika arus yang diukur adalah arus DC maka sinyal keluaran merupakan sinyal DC. Pada penelitian ini arus yang akan diukur adalah arus AC sehingga perlu ditambahkan dioda penyearah agar didapat sinyal DC pada keluaran sensor sehingga dapat dibaca oleh ADC. Tegangan keluaran sensor maksimal sebesar 5V sehingga perlu diturunkan ke level tegangan 3,3V menggunakan rangkaian pembagi tegangan agar tegangan aman bagi Raspberry Pi. Kapasitor digunakan sebagai filter untuk mendapatkan sinyal keluaran yang baik. Rangkaian sensor yang akan dibuat ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.4 : Rangkaian Sensor Arus.

c. kWh meter digital.

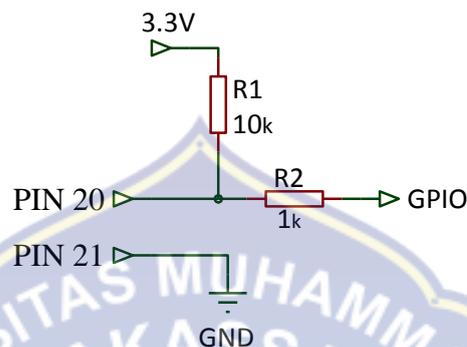
Daya merupakan hasil kali dari tegangan, arus dan faktor daya ($\cos \theta$). Sehingga untuk melakukan pengukuran daya dibutuhkan sensor tegangan, sensor arus dan sensor faktor daya. Setelah nilai daya diketahui maka besar konsumsi energi (kWh) dapat dihitung. Sensor tegangan dan sensor arus telah dijelaskan di atas, namun saat ini belum tersedia sensor faktor daya yang dapat dihubungkan ke Raspberry Pi, Sehingga untuk mengukur daya digunakan kWh meter digital tipe TEM015-D4250 yang ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 : kWh meter TEM015-D4250

Dari gambar 3.5, pin 1 dan pin 4 merupakan pin masukan yang dihubungkan dengan sumber listrik dari PLN, pin 3 dan pin 6 merupakan pin keluaran yang dihubungkan ke beban, sedangkan pin 20 dan pin 21 merupakan pin keluaran sinyal impuls yang mengeluarkan 1 buah impuls setiap kali kWh meter mengukur konsumsi energi sebesar 0,5 Wh. Dari pin 20 dan pin 21 ini kemudian sinyal impuls dikirim ke GPIO Raspbery Pi untuk dilakukan monitoring. Sebelum masuk ke GPIO dibutuhkan rangkaian pengkondisian sinyal untuk mempermudah GPIO dalam melakukan penghitungan sinyal impuls yang masuk. GPIO akan bernilai 1 jika ada tegangan dan bernilai 0 jika tidak ada tegangan, namun GPIO

ini sangat sensitif, terkadang tegangan yang sangat kecil akan tetap terbaca, tentu hal ini akan mengganggu pengukuran. Rangkaian pengkondisian sinyal kWh meter ditunjukkan pada gambar 3.6.

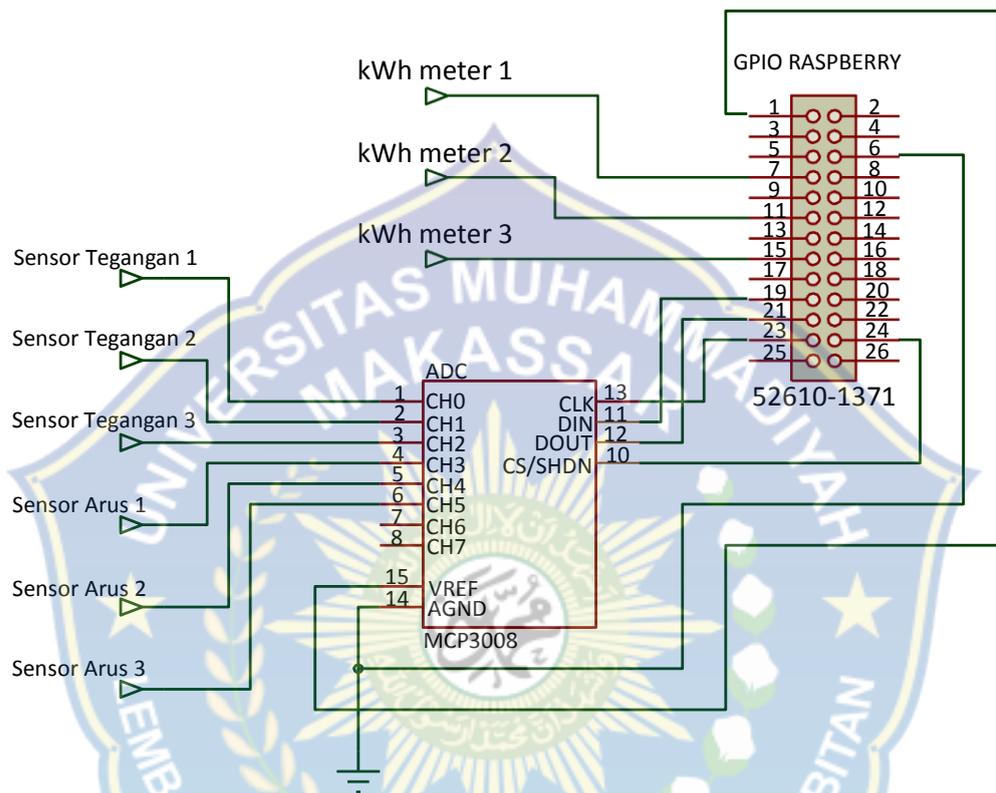


Gambar 3.6 : Rangkaian pengkondisian sinyal kWh meter

d. Menghubungkan sensor dengan Raspberry pi.

Monitoring besaran listrik ini dilakukan pada jaringan listrik 3 fasa, maka dari semua sensor yang digunakan yaitu sensor tegangan, sensor arus dan kWh meter masing-masing dibutuhkan 3 buah. Dari semua sensor tersebut akan didapat nilai tegangan V (Volt), arus I (Ampere), faktor daya pf ($\cos \theta$), daya beban P (Watt), dan konsumsi energi E (kWh) pada masing-masing fasanya. Untuk sensor tegangan dan sensor arus, setelah melewati rangkaian pengkondisian sinyal selanjutnya dihubungkan dengan ADC, dari ADC tersebut dapat dibaca hasil pengukuran sensor melalui GPIO Raspberry Pi. Sedangkan untuk kWh meter setelah melewati rangkaian pengkondisian signal langsung di hubungkan ke GPIO Raspberry Pi. Kemudian dilakukan penghitungan impuls yang masuk untuk

mendapatkan besar konsumsi energi. Hubungan antara semua sensor dengan Raspberry Pi ditunjukkan pada gambar 3.7.



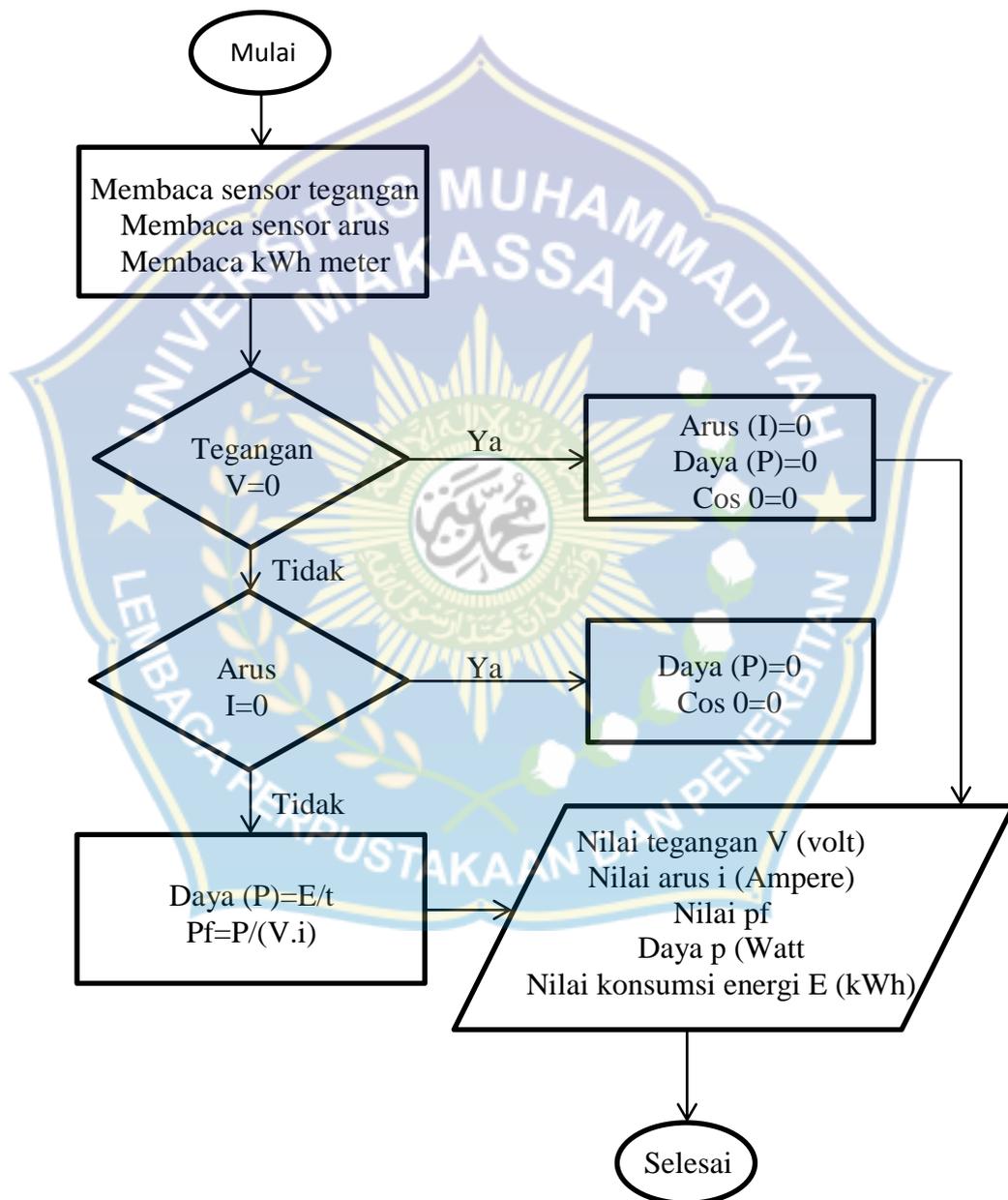
Gambar 3.7 : Koneksi Sensor dengan Raspberry pi

Pada GPIO Raspberry Pi terdapat 26 pin yang terdiri dari 2 pin power 5V, 2 pin power 3,3V, 5 pin Ground dan 17 pin yang dapat di program sebagai masukan atau keluaran. Dalam penelitian ini digunakan 1 pin power 3,3V, 1 pin Ground dan 7 pin yang dapat diprogram.

e. Pembuatan program

Program yang digunakan adalah Pemrograman Python dengan menggunakan Raspberry Pi. Program ini meliputi:

1. Pembacaan hasil pengukuran sensor,
2. Perhitungan untuk mendapatkan besaran yang diinginkan,
3. Mencatat hasil pengukuran dalam database dan menampilkan pada WEB



Gambar 3.8 : Diagram alir Program

Dari gambar 3.8, terlihat keluaran dari sistem yang dibuat adalah nilai Tegangan, Arus, Cos θ , Daya, dan besar konsumsi energi, masing-masing dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Nilai Tegangan didapat dari pembacaan sensor tegangan.
- Nilai Arus didapat dari pembacaan sensor arus ACS712-30A.
- Nilai konsumsi energi didapat dari pembacaan kWh meter digital.
- Nilai kWh merupakan hasil kali dari daya dengan waktu, sehingga jika nilai kWh telah diketahui maka nilai daya dapat dihitung menggunakan persamaan (2-3) dan (2-4):

$$E = P.t \quad (\text{Wh}) \longrightarrow E = (P.t)/1000(\text{kWh})$$

$$P = E / t$$

Dimana :
 P = Daya (Watt)
 E = konsumsi energi (kWh)
 t = waktu (Jam)

- Kemudian setelah nilai Tegangan, Arus dan Daya diketahui maka faktor daya pf (Cos θ) dapat dihitung menggunakan rumus persamaan (2-12) dan (2-15):

$$P = V . I \text{ Cos } \theta$$

$$\text{Pf} = P / (V . I)$$

Dimana :
 P = Daya (Watt)
 V = Tegangan (Volt)
 I = Arus (Ampere)
 pf = Faktor Daya (cos θ)

3.6. Kalibrasi.

Dalam membuat sebuah alat ukur digital, sensor-sensor yang digunakan keluarannya masih berupa nilai tegangan yang relatif kecil, sehingga nilai tersebut belum dapat menunjukkan nilai besaran yang diukur. Suatu contoh dalam penelitian ini menggunakan Trafo step-down sebagai sensor tegangan, saat tegangan input trafo sebesar 220V tegangan outputnya hanya sebesar 3V, maka diperlukan proses kalibrasi agar nilai 3V tersebut dapat menunjukkan angka 220V pada hasil pengukuran alat ukur yang dibuat. Dalam penelitian ini, yang perlu dikalibrasi adalah sensor tegangan dan sensor arus. Untuk kWh meter tidak perlu kalibrasi karena alat tersebut buatan pabrikan yang memang dirancang untuk dapat mengukur konsumsi energi, sehingga outputnya sudah menunjukkan nilai yang diukur. Untuk sensor arus ACS712-30A sebenarnya pada datasheet telah disebutkan nilai kalibrasinya, yaitu saat tegangan output sensor bernilai 0V sampai 2,5V maka arus yang diukur adalah -30A sampai 0A, dan saat tegangan output sensor sebesar 2,5V sampai 5V maka arus yang diukur adalah 0A sampai 30A. Dari nilai kalibrasi sensor arus tersebut terlihat bahwa nilai output maksimal sensor adalah 5V, sedangkan pada GPIO Raspberry Pi tegangan yang diizinkan maksimal hanya sebesar 3,3V, dengan demikian sebelum masuk ke GPIO perlu dilakukan pengkondisian sinyal agar tegangan output sensor tidak melebihi 3,3V, sehingga nilai kalibrasi pada datasheet sensor arus tersebut tidak relevan lagi untuk digunakan. Untuk melakukan kalibrasi, menggunakan alat ukur digital yang sudah ada. Pada penelitian ini menggunakan Digital Power Clamp Meter (gambar 3.9) yang tersedia di Laboratorium Teknik elektro

Unismuh.Digital Power Clamp Meter adalah sebuah alat ukur digital yang dapat mengukur arus (A), tegangan (V), faktor daya (Cos θ), daya (W), dan konsumsi energi (kWh). Suatu contoh dalam melakukan kalibrasi misalkan output sensor tegangan sebesar 3V, kemudian dilakukan pengukuran pada sisi input sensor menggunakan alat ukur yang sudah ada dan hasil pengukurannya adalah 220V. Agar alat ukur yang dibuat juga menunjukkan angka 220V maka dibutuhkan nilai pengali, nilai pengali tersebut didapat dengan persamaan berikut :

$$3V \cdot x = 220V$$

$$x = 220V / 3V$$

$$x = 73,33$$

Dimana 3V : Nilai tegangan output sensor.

220V : Nilai tegangan hasil pengukuran.

x : Nilai pengali.

Nilai pengali yang didapat dari metode diatas selanjutnya digunakan pada pemrograman yang dibuat pada Raspberry Pi untuk membaca sensor dan menampilkan hasil pengukurannya.



Gambar 3.9 : Digital Power Clamp Meter

3.7. Pengujian.

Untuk mengetahui apakah sistem bekerja sesuai yang diinginkan atau tidak maka perlu dilakukan pengujian yang meliputi:

a. Pengujian linieritas Trafo *step-down*.

Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan masukan tegangan yang berubah-ubah pada Trafo kemudian mengukur tegangan keluaran trafo. Setelah data pengujian didapat selanjutnya membandingkan antara tegangan masukan dan keluaran trafo, jika hubungannya linier berarti Trafo tersebut baik digunakan untuk sensor tegangan.

b. Pengujian sensor tegangan.

Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur tegangan yang berubah-ubah menggunakan tiga buah alat ukur yang berbeda, yaitu

sensor tegangan yang dibuat, Voltmeter analog dan Voltmeter digital. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor tegangan yang dibuat dapat melakukan pengukuran yang baik dengan cara membandingkan hasil pengukuran sensor dengan hasil pengukuran Voltmeter analog dan Voltmeter digital.

c. Pengujian sensor arus dan kWh meter.

Pengujian sensor arus dan pengujian kWh meter dilakukan bersamaan karena menggunakan prosedur yang sama, yaitu dengan cara memberikan beban listrik dengan daya yang berubah-ubah, selanjutnya dilakukan pengukuran arus yang mengalir ke beban dan pengukuran daya. Pengukuran arus menggunakan sensor arus yang digunakan, Ampere meter analog dan Ampere meter digital.

Sedangkan pengukuran daya menggunakan kWh meter yang digunakan pada penelitian ini, kWh meter analog dan kWh meter digital. Sama halnya dengan pengujian sensor tegangan, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor arus dan kWh meter dapat bekerja dengan baik dengan cara membandingkan hasil pengukuran sensor dengan hasil pengukuran alat ukur analog dan alat ukur digital.

d. Pengujian sistem.

Setelah masing-masing sensor telah diuji, selanjutnya dilakukan pengujian sistem monitoring yang dibuat dengan cara memasang

hardware yang dibuat pada tempat yang akan dilakukan monitoring. Setelah *hardware* terpasang, selanjutnya membuat pemrograman Python untuk merakam hasil monitoring pada sebuah database dan menampilkannya ke WEB. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat dapat bekerja sesuai tujuan atau tidak.



Gambar 3.10 : Regulator Tegangan



Gambar 3.11 : Alat Ukur Analog.

Pada pengujian sensor tegangan, untuk mendapatkan tegangan yang berubah-ubah digunakan regulator tegangan yang tersedia di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassa (Gambar 3.10).

Sedangkan alat ukur yang digunakan pada pengujian ini adalah Digital Power Clamp Meter atau Alat ukur digital (Gambar 3.9) dan Alat ukur Analog (Gambar 3.11) yang tersedia di Laboratorium Teknik Elektro Unismuh Makassar.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sensor Tegangan

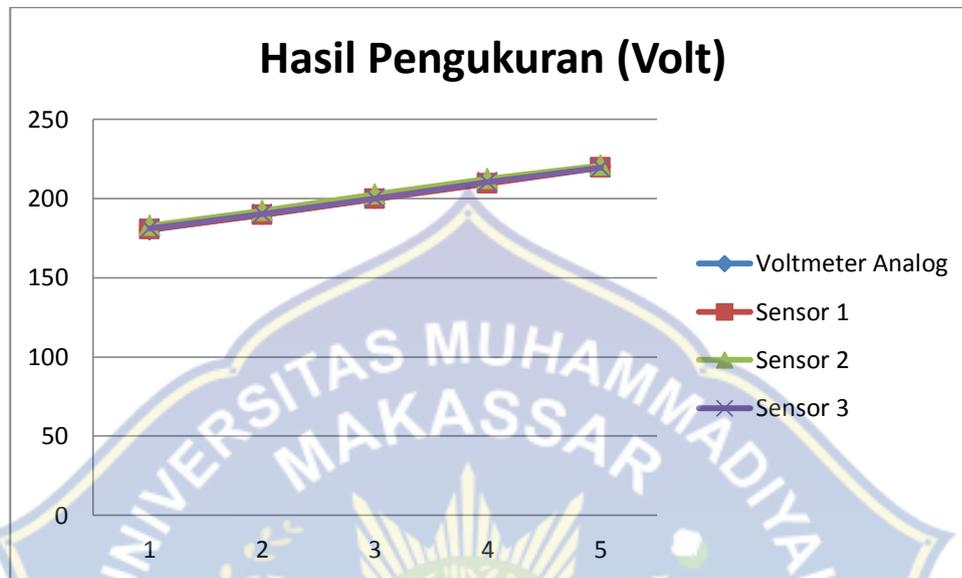
Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan cara mengukur tegangan yang berubah-ubah setiap 30 detik selama 150 detik dengan menggunakan Voltmeter analog, dan sensor yang dibuat, kemudian membandingkan hasil pengukuran antar ketiga alat tersebut. Nilai tegangan yang berubah-ubah didapat dengan menggunakan Regulator Tegangan. Setelah dilakukan pengujian sensor tegangan didapat data hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 : Data Hasil Pengukuran Tegangan.

No.	Hasil Pengukuran (Volt)			
	Voltmeter Analog	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
1	180	180,53	182,84	180,96
2	190	189,43	192,35	190,08
3	200	199,75	202,77	199,77
4	210	209,37	212,28	210,32
5	220	219,33	220,89	219,44

Dari data hasil pengukuran setiap 30 detik menggunakan voltmeter analog di peroleh nilai tegangan awal 180 volt, kemudian dilakukan lagi pengukuran 30 detik berikutnya diperoleh nilai 190 volt. Sedangkan hasil pengukuran awal menggunakan sensor 1 diperoleh nilai 180,53 volt, kemudian sensor 2 diperoleh 182,84 volt dan sensor 3 di peroleh 180,96 volt. Pengukuran 30 detik berikutnya pada sensor 1 diperoleh 189,43 volt, kemudian sensor 2 diperoleh 192,35 volt

dan sensor 3 diperoleh 190,08 volt. Grafik perbandingan dari hasil pengukuran tegangan dapat di lihat sebagai berikut .:



Gambar 4.1 Grafik perbandingan data hasil pengukuran tegangan

4.2 Pengujian Sensor Arus dan KWh Meter

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban listrik yang nilai dayanya berubah-ubah. Kali ini yang akan diuji adalah sensor arus dan KWh meter, namun sensor tegangan juga digunakan agar nilai faktor daya dapat dihitung melalui program yang dibuat. Hasil dari pengujian ini merupakan data arus, faktor daya, dan daya yang masing-masing ditampilkan pada tabel 4.2, tabel 4.3, dan tabel 4.4

Tabel 4.2 : Data Hasil Pengukuran Arus

No	Beban	Data Hasil Pengukuran Arus (Ampere)	
		Sensor	Voltmeter Analog
1	Lampu Pijar	0,44	0,4
2	+ setrika	0,88	0,9
3	+ Hair Drayer	1,32	1,35

Berdasarkan tabel hasil pengukuran arus, beban pertama menggunakan lampu pijar hasil pembacaan sensor sebesar 0,44 Ampere, sedangkan voltmeter sebesar 0,4 Ampere. Kemudian ditambahkan beban setrika hasil pembacaan sensor bertambah menjadi 0,88 Ampere dan voltmeter 0.9 Ampere. Selanjutnya ditambahkan lagi beban hair drayer hasil pembacaan sensor berubah menjadi 1,32 Ampere dan voltmeter 1,35Ampere.

Tabel 4.3 : Data Hasil Pengukuran Daya

No.	Beban	Data Hasil Pengukuran Daya (Watt)	
		Sensor	Watt meter
1	Lampu Pijar	100	100
2	+ setrika	195,65	195
3	+ Hair Drayer	292,68	290

Berdasarkan tabel hasil pengukuran arus, beban pertama menggunakan lampu pijar hasil pembacaan sensor sebesar 100 Watt, sedangkan voltmeter sebesar 100 Watt. Kemudian ditambahkan beban setrika hasil pembacaan sensor bertambah menjadi 195,65 Watt dan voltmeter 195 Watt. Selanjutnya ditambahkan lagi beban hair drayer hasil pembacaan sensor berubah menjadi 292,68 Watt dan voltmeter 290 Watt.

Untuk mengukur faktor daya (Pf) dapat dihitung menggunakan persamaan

$$Pf = P / (V.I)$$

Dimana : P = Daya (Watt)
 V = Tegangan (Volt)
 I = Arus (Ampere)
 pf = Faktor Daya (cos θ)

maka diperoleh hasil data sebagai berikut :

Tabel 4.4 : Data Hasil Pengukuran Faktor Daya

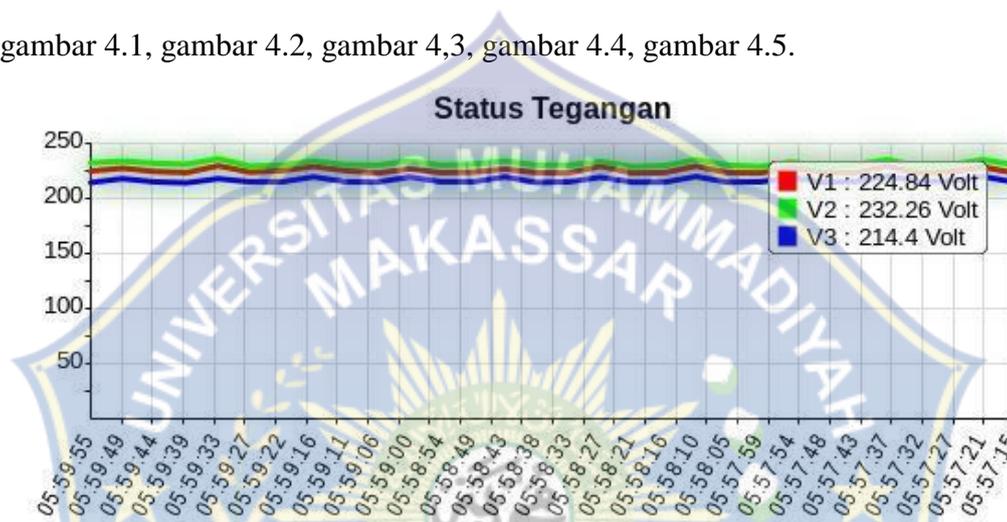
No.	Beban	Data Hasil Pengukuran Faktor Daya (Cos θ)	
		Sensor	Cos Phi Meter
1	Lampu Pijar	0,999	0,995
2	+ setrika	0,993	0,995
3	+ Hair Drayer	0,999	0,995

Dari data hasil pengukuran tegangan, arus, daya dan faktor daya diatas terlihat perbandingan sangatlah kecil yakni beban lampu pijar mencapai 0,99% dan untuk beban setrika mencapai 1,5% dan pada beban hair drayer mencapai 1% dengan beban yang berbeda ini dapat disimpulkan alat ini telah lulus uji sehingga cukup layak digunakan untuk sistem monitoring besaran listrik pada panel.

4.3 Pengujian Sistem

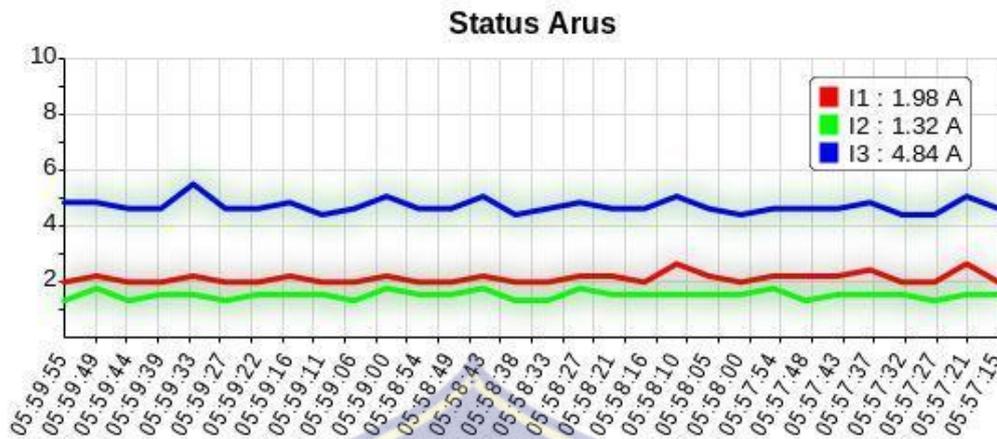
Pengujian dilakukan pada panel listrik 3 fasa yang ada di Laboratorium Teknik Elektro Unismuh. Langkah pertama memasang Hardware yang dibuat pada panel listrik 3 fasa sebelum masuk ke beban,selanjutnya membuat database sebagai tempat penyimpanan hasil monitoring menggunakan pemrograman mysql, dan langkah terakhir adalah menampilkan data yang ada dalam database ke WEB

dalam bentuk grafik. Dalam pengujian ini database dibuat menjadi 5 tabel untuk masing-masing pengukuran, yaitu pengukuran Tegangan, Arus, Daya, Faktor Daya, dan Konsumsi Energi. Program dibuat agar dapat mengirimkan hasil monitoring setiap 30 detik sekali kedalam database yang dibuat. Tampilan grafik hasil monitoring pada WEB untuk masing-masing pengukuran ditampilkan pada gambar 4.1, gambar 4.2, gambar 4.3, gambar 4.4, gambar 4.5.



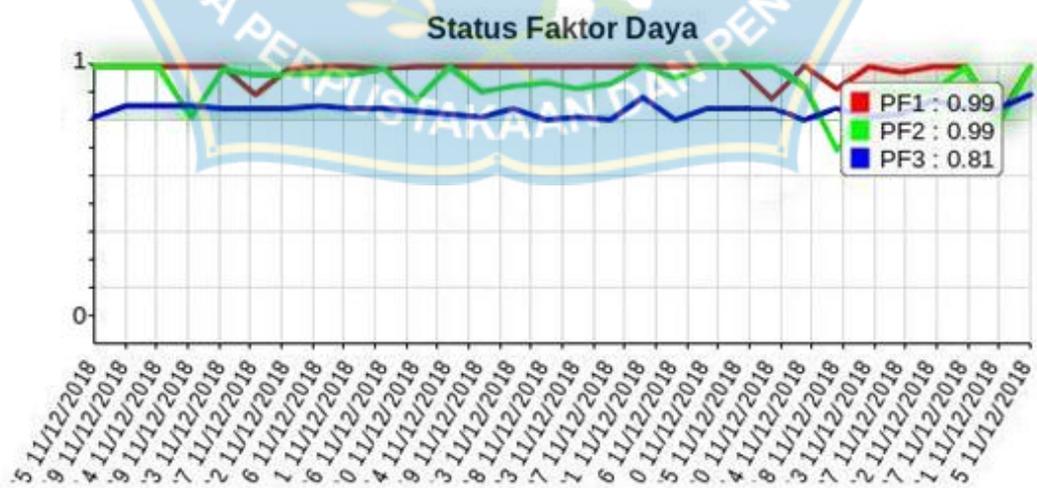
Gambar 4.1 : Grafik Monitoring Tegangan pada WEB.

Dari gambar terlihat pada ketiga fasa cenderung stabil, tegangan terukur sebesar 220Volt sampai dengan 225 Volt namun terlihat pada sekitar jam 07.00 sampai dengan jam 16.00 tegangan cenderung turun hingga mencapai 220 Volt hal ini disebabkan oleh adanya beban2 induktif yang terpakai pada hari kerja, tetapi tegangan tidak sampai turun masih dalam range listrik sehingga cukup aman bagi kelistrikan pada Laboratorium Teknik Elektro.



Gambar 4.2 : Grafik Monitoring Arus pada WEB.

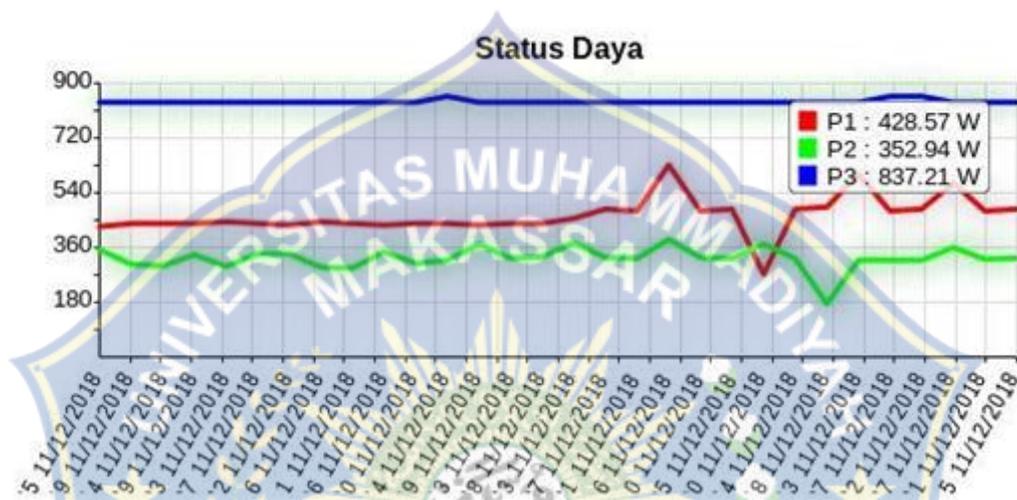
Pada fasa1, fasa 2, dan fasa 3 terlihat pada grafik menunjukkan besar nilai arus sangatlah kecil sebesar 5 Ampere sampai dengan 10 Ampere. Hal ini di sebabkan oleh pada jam 00.00 sampai dengan jam 08.00 beban yang terpakai hanya lampu saja sebagai penerangan, dan arus terbesar dengan nilai arus hingga mencapai 35 Ampere ditunjukkan pada ketiga fasa, hal ini menunjukkan bahwa banyaknya kegiatan mahasiswa di Universitas Muhammadiyah Makassar.dari jam 09.00 sampai dengan jam 22.00 siang.



Gambar 4.3 Grafik Monitoring Faktor Daya.

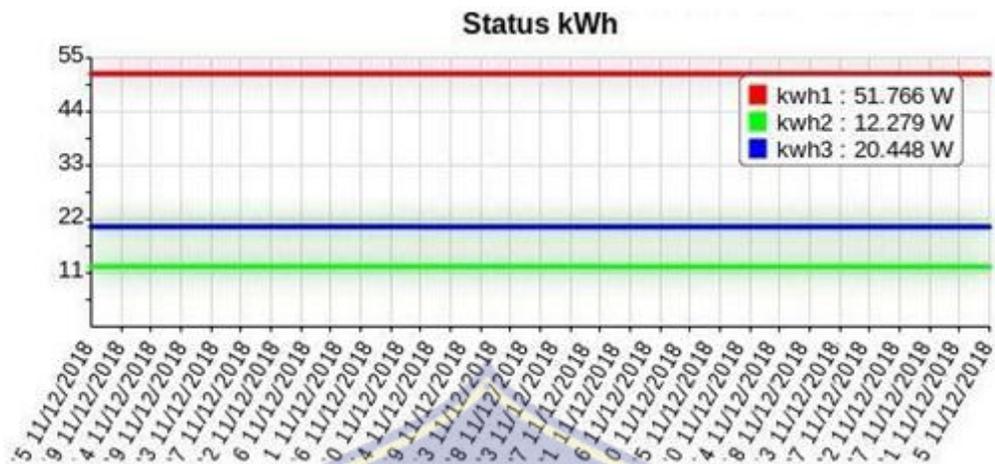
Pada grafik diatas terlihat pada fasa 1 terlihat tidak stabil antara range 0.81 sampai dengan 0.99 hal ini dikarenakan arus yang mengalir pada fasa ini tidak stabil.

Pada fasa ke 2 terlihat cukup stabil dibandingkan dengan fasa ke 1. Pada fasa ke 3 cosh phi nya mendekati 1 baik untuk beban.



Gambar 4.4 Grafik Monitoring Daya pada WEB.

Pada fasa 1 terlihat daya yang terukur tidak stabil, hal ini di sebabkan oleh adanya beban induktif yang terpakai seperti beban pada AC. Daya yang terukur paling tinggi sebesar 837.21 Watt pada jam 14.00 dan daya terendah sebesar 352.94 Watt terjadi pada jam 00.00 sampai dengan jam 07.30 ini disebabkan oleh sedikitnya beban yang terpakai pada fasa ini. Pada fasa 2 daya yang terukur sebesar 352.94 Watt. Hal ini disebabkan sedikitnya beban yang terpakai tetapi tidak berlangsung lama, daya mulai naik kembali sekitar jam 10.00 sampai dengan jam 14.00 siang, disini terlihat mulai banyaknya aktifitas mahasiswa yang menggunakan alat-alat listrik. Pada fasa 3 terlihat penggunaan dayanya stabil sebesar 837.21 Watt karena sedikitnya beban yang terpakai dimalam hari.



Gambar 4.5 Grafik Monitoring Konsumsi Energi

Jumlah total besar konsumsi energi adalah jumlah keseluruhan beban yang terukur dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Besar kunsumsi energi} = \text{data akhir} - \text{data awal}$$

$$\text{Fasa 1} = 51 \text{ kWh} - 0 \text{ kWh} = 51 \text{ kWh}$$

$$\text{Fasa 2} = 12 \text{ kWh} - 0 \text{ kWh} = 12 \text{ kWh}$$

$$\text{Fasa 3} = 20 \text{ kWh} - 0 \text{ kWh} = 20 \text{ kWh}$$

Dari persamaan besar konsumsi energi listrik di atas menunjukkan pada fasa 1 terlihat lebih besar pemakaian bebannya sebesar 51 kWh jika dibandingkan dengan kedua fasa lainnya. Grafik monitor yang tampil pada web akan terus berubah setiap waktu sesuai hasil pengukuran sensor yang terpasang pada panel, sehingga perubahan tegangan, arus, faktor daya, daya dan konsumsi energi dapat diketahui dengan mudah dari tempat yang jauh melalui jaringan internet.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.

Setelah dilakukan analisa data hasil pengujian dari alat yang dibuat, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- a. Dari data hasil pengujian sensor diketahui rata-rata *error* untuk pengukuran tegangan mencapai 0,78%, pengukuran arus 12,03%, pengukuran daya 4,84% dan pengukuran faktor daya 1,87%.
- b. Dari *error* pengukuran menunjukkan bahwa alat ukur tegangan, daya dan faktor daya yang dibuat termasuk alat ukur presisi berdasarkan Standar IEC No. 13B-23, namun untuk alat ukur arus belum memenuhi standar, tetapi masih dapat digunakan pada penelitian ini karena memiliki selisih pengukuran yang kecil jika dibandingkan dengan pengukuran yang menggunakan amperemeter analog dan amperemeter digital.
- c. Dari hasil monitoring konsumsi energi listrik selama 24 jam di Laboratorium Teknik Elektro lantai 3 pada tanggal 10 Juli 2018 diperoleh data bahwa pada fasa 1 mengkonsumsi energi sebesar 34,4565 kWh, fasa 2 sebesar 7,2115 kWh dan fasa 3 sebesar 12,631 kWh. Data tersebut menunjukkan bahwa penggunaan beban pada tiap fasa tidak setimbang.

- d. Pada saat pengujian sensor arus tipe ACS712 diketahui bahwa sensor tersebut tidak tahan terhadap arus *short circuit*, dan ketika mengalami kerusakan akan memutuskan hubungan antara sumber listrik dan beban.

5.2. Saran.

Agar sistem monitoring besaran listrik ini dapat dikembangkan lagi, terdapat beberapa saran sebagai berikut :

- Perlu dirancang sebuah sensor Faktor Daya yang dapat dihubungkan dengan Raspberry pi sehingga tidak perlu menggunakan kWh meter.
- Sebaiknya digunakan sensor arus *current transformer* jenis cincin, sehingga dalam pemasangan tidak perlu memutuskan sumber listrik ke beban.
- Untuk pemrograman database dan WEB sebaiknya digunakan komputer bantu yang memiliki spesifikasi yang lebih baik di banding Raspberry Pi, sehingga Raspberry Pi hanya digunakan untuk pemrograman pembacaan sensor.
- Alat yang telah dibuat hanya dapat digunakan untuk monitoring, agar lebih bermanfaat alat dapat dikembangkan dengan menambah rangkaian kontrol jarak jauh.
- Sebaiknya digunakan mikrokontroler atau sejenisnya untuk mengolah data dari sensor, kemudian data dikirim ke Raspberry Pi melalui jalur serial, sehingga alat dapat digunakan untuk memonitor lebih dari satu panel listrik dengan menambah sensor tanpa menambah Raspberry Pi.

DAFTAR PUSTAKA

Adityawarman, Dimas. 2014. *Rancang Bangun Alat Ukur Arus Menggunakan Transformator Arus Berbasis Mikrokontroler ATmega32*. Universitas Lampung, Lampung.

Cekdin, Cekmas & Taufik Barlian. 2013. *Rangkaian Listrik*, Penerbit ANDI, Jakarta.

Fowler, Richard J. 2008. *Electricity Principles & Applications*, Penerbit McGraw-Hill, New York.

Hayt, William H. and Jack E. Kemeryly. 1999. *Rangkaian Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Malvino, Albert Paul. 2003. *Prinsip-prinsip Elektronika*, Penerbit Salemba Teknika, Jakarta.

Matt. 2018. <http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2013/10/analogue-sensors-on-the-raspberry-pi-using-an-mcp3008/>. diakses: 07 mei 2018 jam 10.09.

Peron, Christian S. 2018. <http://pyevolve.sourceforge.net/wordpress/?p=238>. diakses: 07 mei 2018 jam 10.32.

Pratomo, Vektor A. 2012. *Rancang Bangun Pencatan Data kWh meter Jarak Jauh Berbasis Mikrokontroller*. Universitas Budi Luhur : Jakarta.

Raspberry Pi. 2018. http://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi. diakses : 20 mei 2018 jam 20.15.

Roberts, Donna. 2012. <http://www.regentsprep.org/regents/math/algebra/am3/leror.htm>. diakses : 19 mei 2018 jam 09:02.

Rusti, Dayita A. 2011. *Monitoring Pemakaian Energi Listrik Berbasis Mikrokontroler Secara Wireless*. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya: Surabaya.

Suryawan, Dwi Wahyu. 2012. *Rancang Bangun Sistem Monitoring Tegangan, Arus dan Temperatur Pada Sistem Pencatu Daya Listrik Di Teknik Elektro Berbasis Mikrokontroler Atmega 128*. Universitas Diponegoro: Semarang.

Susetyo, Budi. 2012. *Statistika Untuk Analisis Data Penelitian*, Penerbit PT Refika Aditama, Bandung.

Thamrin, Ihsan. 2010. *Perancangan kWh Meter Digital Menggunakan Sensor Arus ACS712ELC-30A*. Universitas Komputer Indonesia: Bandung.

Thera. 2009. <http://id.scribd.com/doc/88340753/Catalog-Thera>. diakses: 18 mei 2018 jam 11.08.

Tumanski, S. 2006. *Principles of Electrical Measurement*, Penerbit Taylor & Francis Group. New York.

Waluyanti, Sri. 2008. *Alat Ukur dan Teknik Pengukuran*. Penerbit Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.

Zuhal. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Zulkarnain, Novan. 2013. *Energy Monitoring System Berbasis Web*. Universitas Bina Nusantara, Jakarta.



LAMPIRAN



