

UNJUK KERJA SIMULATOR PV ON GRID PADA KOMBINASI BEBAN

RLC



TUGAS AKHIR

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan

Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Oleh:

WAHYUDI

D41115011

DEPARTEMEN ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**UNJUK KERJA SIMULATOR PV ON GRID PADA KOMBINASI BEBAN
RLC**

Disusun dan diajukan oleh

WAHYUDI

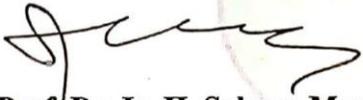
D41115011

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 03 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

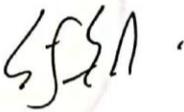
menyetujui

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T.

NIP. 19621231 199003 1 024


Dr. Ir. Ikhlas Kitta, S.T., M.T.

NIP. 19760914 200801 1 006

Ketua Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.

NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Wahyudi
NIM : D41115011
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1 / S2 / S3

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

UNJUK KERJA SIMULATOR *PV ON GRID* PADA KOMBINASI BEBAN RLC

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi/tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 11 Februari 2021

Yang Menyatakan



(WAHYUDI)

ABSTRACT

Wahyudi, PV Simulator Performance on RLC Load Combination (supervised by Salama Manjang, Ikhlas Kitta)

Electricity is one of the most important needs in human civilization today. Almost all daily human activities need electricity. The construction of massive power plants has the purpose to fulfill significant electricity needs. Every power plant has different characteristics, so it requires a proper configuration to combine each other in one system. This research aims to make *PV on Grid* design on the mini 5 bus distribution system, know the drop voltage and power losses ratio between before and after PV joining the system, and create a real-time monitoring simulation program for measuring electricity quantities on the PV on the Grid system. The method used in this research is to design mini 5 bus distribution system to simulate PV on Grid using a grid-tie inverter. The research uses PZEM 004T sensor and Arduino ATmega 2560 as power sensors and microcontrollers which function to read and process analog data in a simulator. After that, the result will be interpreted on the interface as information that is easy to understand of people. The interface is created in the Microsoft Visual Basic 2010 Express using the C# programming language. The interface can display the drop voltage and power losses ratio between before and after PV joining the system in real-time while the simulator is running. The average error value is 0.45% for voltage readings and 15% for current readings in the simulator.

Keywords: Simulator, Photovoltaic, Arduino ATmega 2560, Current, Voltage

ABSTRAK

Wahyudi, Unjuk Kerja Simulaltor *PV on Grid* pada Kombinasi Beban RLC (dibimbing oleh Salama Manjang dan Ikhlas Kitta)

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting dalam peradaban manusia di zaman modern ini. Hampir semua kegiatan sehari-hari manusia membutuhkan listrik. Untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik, dilakukan pembangunan pembangkit secara besar besaran. Setiap pembangkit listrik memiliki karakteristik yang berbeda beda, sehingga membutuhkan pengaturan yang tepat dalam mengkombinasikan pembangkit dalam suatu sistem. penelitian ini bertujuan untuk membuat desain *PV on Grid* pada mini sistem distribusi 5 bus kemudian Mengetahui perbandingan tegangan dan rugi daya sebelum dan sesudah penyambungan PV pada sistem dan membuat suatu program simulasi *monitoring* besaran listrik secara real time pada sistem *PV on Grid*. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan merancang suatu mini sistem 5 bus untuk mensimulasi *PV on Grid* mneggunakan grid tie inverter. Penelitian ini menggunakan sesor PZEM 004T dan Arduino ATmega 2560 sebagai sensor daya dan *microcontroller* untuk membaca dan mengola data analog pada simulator yang selanjutnya ditampilkan pada interface dalam bentuk informasi yang mudah dipahami manusia. *Interface* dibuat pada aplikasi Microsoft Visual Basic 2010 Express menggunakan Bahasa pemrograman C#. *interface* dapat menampilkan perbandingan jatuh tegangan dan rugi saluran antara sebelum dan sesudah PV bergabung ke sistem secara real time ketika simulator dijalankan. nilai error rata rata 0,45% untuk pembacaan tegangan dan 15% untuk pembacaan arus pada simulator.

Kata kunci: **Simulator, Photovoltaic, Arduino ATmega 2560, Arus, Tegangan**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas limpahan rahmat dan hidayah dan taufik-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penyelesaian skripsi ini merupakan upaya penulis dalam memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Atas jasa dan pengorbanan tak terkira, penulis mempersembahkan skripsi ini kepada kedua orang tua tercinta yang dengan setulus hati, keikhlasan jiwa, butiran doa dan keringat jerih payahnya dalam membesarkan dan mendidik penulis. Didikan karakter dan moral yang ditanamkan kepada penulis dengan landasan Iman dan Takwa memberikan kobaran semangat untuk terus melangkah maju, berbenah diri dan tetap pada kebenaran melewati tantangan kehidupan demi meraih cita mulia. Semoga kalian berdua selalu diberi umur panjang dalam keberkahan dan senantiasa dikaruniai kesehatan, hingga menyaksikan penulis sesuai yang diharapkan.

Skripsi ini berjudul *Unjuk Kerja Simulator Pv On Grid Pada Kombinasi Beban RLC*. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini mengalami berbagai kesulitan. Namun, berkat ketekunan dan usaha yang disertai doa, penulisan skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan. Penyusunan skripsi ini juga tidak terlepas dari bantuan, dorongan, semangat, serta bimbingan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis sewajarnya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT., selaku pembimbing I, atas waktu luang, bimbingan, gagasan, serta ide-ide yang diberikan dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ikhas Kitta, ST., MT. selaku pembimbing II, atas waktu luang, bimbingan, dukungan dan motivasinya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, MT. Selaku penguji yang selalu memberikan masukan, saran dan kritikan yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Dr. Indar Chaera Gunadin, ST., MT. atas saran, masukan dan kritikan sehingga skripsi ini bisa terselesaikan dengan lebih baik.
5. Seluruh dosen dan staf pengajar, serta pegawai Departemen Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan, dan kemudahan yang diberikan selama kami menempuh proses perkuliahan.
6. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro dan Bapak Dr. Ir. Ikhas Kitta, ST., MT. selaku Sekretaris Departemen Teknik Elektro. Atas pelayanan yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan pendidikan strata satu di departemen teknik elektro, fakultas teknik Universitas Hasanuddin.
7. Kedua orang tua penulis, ayahanda Sala', Ibunda Nabong dan saudara-saudara, ipar dan keponakan saya tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa, bantuan, nasehat, dan motivasinya.

8. Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan, Yayasan Karya Salemba Empat, dan Ikatan Alumni Teknik Unhas atas bantuan beasiswa yang diberikan kepada penulis.
9. PT. Vale Indonesia Tbk. Yang telah memberi kesempatan kepada penulis melaksanakan Kerja Praktek.
10. Kepada kawan-kawan seperjuangan “**THYR15TOR 2015**” Departemen Teknik Elektro angkatan 2015 yang tidak dapat disebutkan satu persatu tanpa kecuali atas segala kerjasama dan motivasinya selama Penulis melaksanakan awal perkuliahan hingga pada penyelesaian studi ini.
11. Teman teman pengurus Al Muhandis dan MPM yang senantiasa mengingatkan dan memotivasi penulis dalam berusaha mendekatkan diri kepada Allah.
12. Kepada teman-teman Lab. *Research Group* Teknik Tegangan Tinggi, Aldi, Thaufiq, Wahyu, Abdi, Evan, Ican, Akbar, Hadi dan Anto.
13. Kepada Kak Budi Wahyudi atas tumpangan rumah selama penulis menuntut ilmu di fakultas teknik.
14. Kepada teman kost/rumah, Gusti, Anto, Aspar, Brili, Aslam, Irfan, Alam, Agus, dan Sahdan, yang senantiasa menemani, memotivasi, berbagi makanan, kesenangan dan lain lain selama di tempat tinggal.
15. Kepada saudara A. Adhy Kusuma Putra dan Fahri Nasir atas bantuan pinjaman laptop kepada penulis selama menyelesaikan laporan lab dan

Skripsi ini.

16. Seluruh pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung kami dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini, oleh karena itu saran dan kritik dari semua pihak diharapkan untuk kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat diterima sebagai sumbangan pikiran Penulis yang mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Makassar, Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK..	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Simulator...	7
2.2 Penelitian Terkait	7
2.3 PLTS.....	8
2.4 Tegangan dan Arus	16
2.5 Saluran Distribusi.....	18
2.6 Sistem Distribusi Radial.....	18
2.7 Usaha Peningkatan Kualitas Sistem Distribusi dengan Distributed Generation (DG)	19
2.8 Beban Listrik.....	20
2.9 Resistansi, Induktansi dan Kapasitansi	21
2.10 Jatuh Tegangan	23
2.11 Arduino Mega 2560	24
2.12 Sensor Daya PZEM-004T	25
2.13 Kontaktor.....	26

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	28
3.1 Judul Penelitian.....	28
3.2 Lokasi Penelitian.....	28
3.3 Waktu Penelitian.....	28
3.4 Metode penelitian.....	28
3.5 Prosedur Penelitian.....	29
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	33
3.7 Blok Diagram Simulator.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Desain Simulator.....	35
4.2 Data Sumber Daya Sistem.....	36
4.3 Analisis Kondidi Awal.....	38
4.4 Pengaruh Pv On Grid Terhadap Parameter Jaringan Sistem Tenaga Listrik.....	54
4.5 Simulator Monitoring Real Time.....	62
BAB IV SIMPULAN DAN SARAN.....	70
5.1 Simpulan.....	70
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	72
LAMPIRAN.....	74
Lampiran 1. Dokumentasi.....	74
Lampiran 2. List Program Software Interface Simulator.....	77
Lampiran 3. List Program sensor pada Arduino IDE.....	79
Lampiran 4. Perhitungan akurasi pembacaan sensor.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sel Surya	10
Gambar 2. 2 Modul Surya <i>Monocrystalline</i>	11
Gambar 2. 3 Modul Surya <i>Polycrystalline</i>	12
Gambar 2. 4 Modul Surya <i>Thin Layer (FILM) Cells</i>	13
Gambar 2. 5 Inverter Mikro	14
Gambar 2. 6 <i>Central Inverter</i>	15
Gambar 2. 7 <i>Single Line Diagram</i> Sistem Tenaga Listrik	18
Gambar 2. 8 konfigurasi Jaringan Radial	19
Gambar 2. 9 Sistem Distribusi dengan DG	20
Gambar 2. 10 Resistor	22
Gambar 2. 11 Arduino Mega	25
Gambar 2. 12 Sensor Tegangan PZEM-004T	26
Gambar 2. 13 Kontaktor	26
Gambar 3. 1 Mendesain simulator dengan AutoCad	30
Gambar 3. 2 Diagram Satu Garis Simulator	30
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3. 4 Blok Diagram Simulator	34
Gambar 4. 1 (a) Desain pengkabelan Simulator. (b) rangkaian ekivalen simuator	36
Gambar 4. 2 Perbandingan Tegangan Tiap Bus dan Arus <i>Line</i> Variasi Beban A Ketika Disuplai oleh PLN	42

Gambar 4. 3 Variasi Beban A Ketika Disuplai PV	44
Gambar 4. 4 Variasi beban B Ketika Disuplai PLN	47
Gambar 4. 5 Vriasi Beban B Ketika Disuplai PV	49
Gambar 4. 6 Variasi Beban C Ketika Disuplai PLN.....	51
Gambar 4. 7 Variasi Beban C Ketika DISuplai PV	53
Gambar 4. 8 Pengaruh <i>Pv on grid</i> terhadap Tegangan Bus saat Vriasi Beban A ..	55
Gambar 4. 9 Pengaruh <i>Pv on grid</i> terhadap Tegangan Bus saat Vriasi Beban B ..	57
Gambar 4. 10 Pengaruh <i>Pv on grid</i> terhadap Tegangan Bus saat Vriasi Beban C	59
Gambar 4. 11 Pengaruh <i>Pv on grid</i> terhadap Arus <i>Line</i> Pada Vriasi Beban A.....	60
Gambar 4. 12 Pengaruh <i>Pv on grid</i> terhadap Arus <i>Line</i> Pada Vriasi Beban B.....	61
Gambar 4. 13 Pengaruh <i>Pv on grid</i> terhadap Arus <i>Line</i> Pada Vriasi Beban C.....	62
Gambar 4. 14 User Interface sistem Monitoring data PV on grid	63
Gambar 4. 15 Kotak Dialog Peringatan	64
Gambar 4. 16 Koding Program Sensor pada Arduino IDE	64
Gambar 4. 17 Hasil Pembacaan Ketika Sistem Disuplai PLN Saja.....	65
Gambar 4. 18 Hasil Pembacaan Ketika Sistem Disuplai PV saja.....	66
Gambar 4. 19 Hasil Pembacaan Ketika Sistem PV on Grid	67
Gambar 4. 20 Rangkaian ekivalen variasi beban B ketika disuplai oleh PLN saja	68

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Spesifikasi Modul 1, 2 dan 3	37
Tabel 4. 2 Data Spesifikasi Modul 4	37
Tabel 4. 3 Data Spesifikasi Modul 5	38
Tabel 4. 4 Variasi Beban A	39
Tabel 4. 5 Variasi Beban B	40
Tabel 4. 6 Variasi Beban C	40
Tabel 4. 7 Data Kondisi Awal Sistem dengan Variasi Beban A Ketika Disuplai oleh PLN	41
Tabel 4. 8 Data Kondisi Awal Sistem dengan Variasi Beban A Ketika Disuplai oleh PV	43
Tabel 4. 9 Data Kondisi Awal Sistem dengan Variasi Beban B Ketika Disuplai oleh PLN	45
Tabel 4. 10 Data Kondisi Awal Sistem dengan Variasi Beban B Ketika Disuplai oleh PV	48
Tabel 4. 11 Data Kondisi Awal Sistem dengan Variasi Beban C Ketika Disuplai oleh PLN	50
Tabel 4. 12 Data Kondisi Sistem dengan Variasi Beban C Ketika Disuplai oleh PV	52
Tabel 4. 13 Data Kondisi Sistem dengan Variasi Beban A Ketika Disuplai <i>On</i>	

<i>Grid</i>	54
Tabel 4. 14 Data Kondisi Sistem dengan Variasi Beban B Ketika On Grid.....	56
Tabel 4. 15 Data Kondisi Sistem dengan Variasi Beban C Ketika On Grid.....	58
Tabel 4. 16 akurasi pembacaan arus saluran sensor pada simulator	68
Tabel 4. 17 akurasi pembacaan tegangan bus sensor pada simulator	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting dalam peradaban manusia di zaman modern ini. Hampir semua kegiatan sehari-hari manusia membutuhkan listrik. Teknologi listrik berkembang pesat seiring dengan zaman yang semakin maju. Berkembangnya teknologi listrik tidak lepas dari proses belajar manusia terhadap listrik itu sendiri.

Secara garis besar sistem tenaga listrik terdiri atas sumber, transmisi, distribusi dan beban. Sistem tenaga listrik adalah rangkaian instalasi tenaga listrik dari pembangkitan, transmisi, dan distribusi yang dioperasikan secara serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik (Pasal 1 Angka 6 UU Nomor 20 Tahun 2002 Tentang Ketenagalistrikan).

Sumber maupun beban pada sistem tenaga listrik masing-masing memiliki karakteristik tersendiri. Daya yang dihasilkan pada sisi sumber terdiri dari daya aktif, daya reaktif dan daya semu, sedangkan di sisi beban terdiri dari jenis beban resistif (R), beban induktif (L) dan Beban kapasitif (C). Dalam pengoperasiannya semua aspek sistem tenaga listrik didesain seefektif mungkin, dengan tujuan untuk mendapatkan rugi daya dan biaya serendah mungkin tanpa mengurangi kualitas sistem. Namun pada kenyataannya di lapangan hingga saat ini rugi daya pada saluran masih menjadi salah satu faktor penentu dalam penetapan biaya

pokok listrik karena nilainya uang cukup besar. Oleh karena itu untuk mengurangi rugi daya pada saluran, maka dilakukan menempatkan pembangkit secara tersebar, cara ini dikenal dengan istilah *distributed generation* (DG). DG didefinisikan sebagai unit pembangkit skala kecil dengan kapasitas maksimum dari 50 MW sampai 100 MW yang umumnya terhubung ke jaringan distribusi walaupun tidak menutup kemungkinan terhubung dengan jaringan transmisi. Integrasi DG pada jaringan distribusi membawa dampak positif pada sistem berupa perbaikan tegangan, penurunan rugi daya, peningkatan kapasitas distribusi, perbaikan keandalan dan kualitas sistem.

Pembangunan pembangkit listrik di Indonesia hingga saat ini masih berfokus pada penggunaan sumber energi tidak terbarukan berbahan bakar fosil seperti batu bara untuk PLTU dan solar untuk PLTD. Pada penggunaan sumber energi tidak terbarukan berbahan bakar fosil yang berlebihan akan meningkatkan emisi gas karbon sehingga menyebabkan terjadinya *global warming*. Berdasarkan Kebijakan Energi Nasional Indonesia ditargetkan pada tahun 2025 peran energi baru dan terbarukan paling sedikit 23% dari total penggunaan energi nasional.[1] Oleh karena itu, membuat banyak orang melirik ke pada sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan. sampai pada tahun 2025 Indonesia direncanakan akan membangun sebesar 12.800 MW pembangkit EBT.

Salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi baru terbarukan berasal dari energi surya adalah *photovoltaic* (PV). Energi yang berasal dari energi surya ini tidak menimbulkan emisi karbon karena dalam proses

menghasilkan listrik PV langsung mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik, sehingga termasuk energi yang ramah lingkungan yang bebas dari polusi dan dapat diperoleh secara gratis. PV dapat menghasilkan energi listrik cukup dengan menempatkannya pada tempat yang mendapat sinar matahari.

Integrasi PV dengan grid bertujuan untuk memperbaiki kondisi sistem. Hal ini menjadi alasan dilakukannya penelitian ini. Untuk melihat sejauh mana pengaruh integrasi PV dalam memperbaiki sistem khususnya parameter rugi daya dan jatuh tegangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka dapat dirumuskan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana membuat desain *PV on Grid* pada mini sistem distribusi 5 bus?
2. Bagaimana perbandingan tegangan dan rugi daya sebelum dan sesudah penyambungan *PV* pada sistem?
3. Bagaimana membuat suatu program simulasi *monitoring* besaran listrik secara *real time* pada sistem *PV on Grid*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat desain *PV on Grid* pada mini sistem distribusi 5 bus.

2. Mengetahui perbandingan tegangan dan rugi daya sebelum dan sesudah penyambungan PV pada sistem.
3. Membuat suatu program simulasi *monitoring* besaran listrik secara real time pada sistem *PV on Grid*.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi masalah guna mengoptimalkan hasil penelitian.

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem satu fasa.
2. Sistem yang akan dibuat terdiri dari lima bus: dua bus pembangkit dan tiga bus beban yang mewakili beban industri, beban komersil dan beban rumah tangga.
3. Daya yang digunakan pada sistem adalah daya dari PLN dengan tegangan 220 Volt dan lima PV dengan kapasitas 5 x 50 Wp yang terpasang di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi FT-UH.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menjadi alat pembelajaran analisis sistem tenaga listrik dan mata kuliah lain yang terkait.
2. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan integrasi pembangkit *renewable energy*.

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Pembahasan tugas akhir ini memiliki susunan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, dan batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan tentang teori penunjang yang relevan untuk bahan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk menyusun kerangka teori dan konseptual.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, metode pengambilan data, analisa data, dan langkah-langkah penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan berisi tentang hasil dan pembahasan yang telah didapatkan dari hasil penelitian.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan berisi tentang kesimpulan dan saran dari keseluruhan proses penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi-referensi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir.

LAMPIRAN

Berisi tentang lampiran-lampiran yang berhubungan dengan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Simulator

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (2019), Simulator adalah alat untuk melakukan simulasi; alat yang dapat menyimulasikan. Sedangkan menurut pengertian lain, simulator adalah program yang berfungsi untuk menyimulasikan suatu peralatan, tetapi kerjanya agak lambat dari pada keadaan yg sebenarnya. Atau alat untuk melakukan simulasi. [2]

Selain harus mencerminkan situasi yang sebenarnya, simulasi harus bersifat operasional, artinya simulasi menggambarkan proses yang sedang berlangsung.[3] Simulator dapat dipergunakan oleh pendidik dalam menjelaskan bagaimana penerapan suatu teori kepada peserta didik agar lebih tergambar dengan jelas.

2.2 Penelitian Terkait

Dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian referensi yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang akan diselesaikan dari buku, artikel dan jurnal yang berkaitan. Penelitian terkait pembangkit listrik tenaga surya telah dilakukan beberapa Universitas yang ada di Indonesia maupun di luar Indonesia.

HS (2016), dengan judul perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *rooftop grid-connected* pada gedung pemerintah. Penelitian ini menghasilkan perancangan dan analisa teknis serta ekonomi PLTS atap (*rooftop*)

yang terhubung *on-grid*, dengan kapasitas pembangkit 288,420 Wp, listrik yang dapat dikirim pada jaringan PLN sebesar 405,4 MWh pertahunnya. Dengan spesifikasi pembangkit yakni *losses* sebesar 20% *performa ratio* 80% *capacity factor* sebesar 16,4% , sistem pembangkit ini memiliki luas atap sebesar 2840 m².

2.3 PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada modul surya yang terdiri dari sel-sel *photovoltaik*. Sel-sel ini merupakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni dan bahan semi konduktor lainnya. Apabila bahan tersebut mendapat energi foton, akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. Dengan hubungan seri-paralel, sel *photovoltaic* dapat digabungkan menjadi modul dengan jumlah sekitar 40 sel, selanjutnya gabungan beberapa modul akan membentuk suatu PV *array* PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*direct current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating current*). PLTS pada dasarnya adalah pecatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri maupun secara hibrid. [4]

2.3.1 Komponen PLTS

Pada suatu sistem PLTS tentu terdapat komponen-komponen penyusun yang mendukung terjadinya pembangkitan energi listrik, diantaranya adalah PV

array yaitu kumpulan dari modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor yaitu silicon, panel surya dapat mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Selain itu PLTS juga terdiri dari beberapa komponen utama yaitu modul surya sebagai pembangkit listrik, inverter untuk mengkonversi sistem tegangan DC menjadi sistem tegangan AC, charger controller yang menjaga kondisi baterai agar terhindar dari overcharge dan baterai sebagai media penyimpanan energy. Berdasarkan konfigurasi PLTS dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu PLTS terhubung dengan jaringan (on-grid) dan PLTS tidak terhubung dengan (off-grid). [5]

2.3.1.1 Sel Surya

Sel surya atau sel *photovoltaic*, adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah-besar dioda pertemuan p-n, di mana dengan adanya cahaya matahari dapat menciptakan energi listrik yang berguna. Perubahan bentuk energi ini disebut efek *photovoltaic*. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai *photovoltaic*.

Untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik dapat dilakukan dengan sel surya atau *solar cell*. Apabila permukaan sel surya dikenai cahaya maka dihasilkan pasangan elektron dan *hole*. *Elektron* akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat dimanfaatkan langsung atau disimpan dulu dalam baterai untuk digunakan kemudian.



Gambar 2. 1 Sel Surya

2.3.1.2 Modul Surya

Modul surya merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya yang dirangkai sedemikian rupa, baik dirangkai seri maupun paralel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan disusun pada satu bingkai (*frame*) dan dilaminasi atau diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut *array*.

2.3.1.3 Modul Surya *Monocrystalline*

Jenis ini terbuat dari batangan kristal yang diiris tipis – tipis. Karena sel surya berasal dari satu induk batangan kristal, maka setiap potongan memiliki karakteristik yang identik dengan yang lainnya. Sehingga efisiensi *monocrystalline* mampu mencapai 15 – 20 %, oleh karena itu harga *monocrystalline* lebih mahal daripada *Polycrystalline*.

Monocrystalline menyerap panas lebih banyak dari *polycrystalline*, itu artinya suhu permukaan *monocrystalline* akan lebih tinggi dibandingkan dengan

polycrystalline pada lingkungan yang sama. Semakin tinggi suhu *crystal silicon*, semakin menurun kemampuannya. Pada suhu tinggi performa *monocrystalline* tidak sebaik *polycrystalline*, artinya akan terjadi penurunan performa yang lebih banyak pada modul *monocrystalline*.

Kelemahan dari sel surya tipe *monocrystalline* adalah potongan dari setiap sel suryanya berupa segi empat atau bulat. Sehingga apabila disusun bersama sel surya yang lainnya akan membentuk ruang kosong. Tentu saja hal ini akan mengurangi kerapatan sel surya yang apabila disusun pada skala besar menimbulkan ruang sisa tidak berguna yang cukup banyak.



Gambar 2. 2 Modul Surya *Monocrystalline*

2.3.1.4 Modul Surya *Polycrystalline*

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur kemudian dituang dalam cetakan yang umumnya berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikon *polycrystalline* tidak setinggi *monocrystalline* sehingga efisiensinya sekitar 13 – 16 %. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Akan

tetapi dengan potongan yang berbentuk persegi, *polycrystalline* dapat disusun lebih rapat dari pada *monocrystalline*, sehingga mengurangi ruang – ruang kosong antar sel surya. Selain itu, *Polycrystalline* mempunyai toleransi terhadap suhu yang rendah. Sehingga, dalam performanya, *polycrystalline* tidak menyerap panas dan suhu permukaan *polycrystalline* tidak panas dan dapat tetap bekerja secara maksimal.



Gambar 2. 3 Modul Surya *Polycrystalline*

2.3.1.5 Modul Surya *Thin Layer (FILM) Cells*

Merupakan modul surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis *microcrystal-silicon* dan *amorphous* dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan daya yang dihasilkan lebih besar daripada *monocrystalline & polycrystalline*.

Jenis sel surya ini mempunyai kerapatan atom yang rendah, sehingga mudah dibentuk dan dikembangkan ke berbagai macam ukuran dan potongan dan secara umum dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah. Sel surya ini dibuat dengan menambahkan satu atau beberapa lapisan tipis ke dalam lapisan dasar. Sel

surya jenis ini sangat tipis sehingga ringan dan fleksibel. Oleh sebab itu sering disebut juga sebagai TFPV (*thin film photovoltaic*).

Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction PV* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari modul jenis lain dengan daya yang setara.



Gambar 2. 4 Modul Surya *Thin Layer (FILM) Cells*

2.3.1.6 Inverter

Terdapat banyak jenis inverter yang beredar dipasaran. Jenis-jenis ini mempunyai beberapa perbedaan mulai dari yang digunakan untuk *single module* hingga *arrays* dan yang digunakan untuk distribusi dalam KW atau MW. Ada tiga jenis inverter yang sering digunakan yaitu *string*, *central* dan *micro inverter*. Jenis ini dibedakan pada penggunaan jenis kabel yang digunakan:

2.3.1.7 Inverter Mikro (*Micro Inverter*)

Inverter mikro atau juga yang biasa disebut inverter modul dipasang dibagian belakang setiap modul surya. Inverter ini diproduksi di kisaran 100-300 W. Keuntungan inverter mikro adalah menggunakan kabel DC yang sedikit

karena keluaran dari modular merupakan daya AC yang langsung diparalelkan pada setiap modul dan kemudian disambungkan ke jaringan. Keuntungan lainnya ialah, apabila untuk penambahan daya, hanya dengan menambahkan modul surya dan inverternya saja dan tidak perlu membongkar. [6]



Gambar 2. 5 Inverter Mikro

2.3.1.8 Inverter String (*String Inverter*)

String inverter biasanya digunakan untuk pemasangan jaringan tersambung skala kecil (10kW atau kurang). Biasanya kapasitas *string inverter* ialah 1 kW sampai kira-kira 12 kW, ketika PLTS berkapasitas di atas 5 kW maka inverter *multi string* atau inverter terpusat dapat digunakan sebagai inverter alternatif. Setiap inverter *on-grid* memiliki fungsi sebagai MPPT dan tegangan DC inputnya bisa mencapai 1000V DC.

2.3.1.9 Inverter Terpusat (*Central Inverter*)

Inverter terpusat ini biasanya digunakan untuk daya PLTS yang besar, sebagai contoh inverter ini digunakan pada daya dari 30 kWp (fronius) dan dari 100kWp (SMA). Inverter terpusat ini sama halnya dengan inverter string dan multi-string namun yang membedakan dengan inverter terpusat ialah array pada

PLTS dapat dibagi menjadi beberapa *Sub-array*.



Gambar 2. 6 Central Inverter

2.3.2 PLTS *Grid Connected* (PLTS *On Grid*)

Sistem PLTS *Grid-Connected* atau dapat disebut PLTS *on-grid* pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). Sistem PLTS *Grid-Connected* bertujuan untuk menyediakan listrik yang langsung terhubung dengan jaringan listrik grid (PLN).

Grid Tie Inverter (GTI) adalah salah satu tipe dari inverter yang berfungsi mengubah listrik DC menjadi AC dan memasukkannya ke sistem. GTI sering digunakan untuk mengubah DC yang diproduksi oleh sumber energi terbarukan, seperti panel surya dan turbin angin, untuk menghasilkan listrik AC yang dapat digunakan secara komersil.

Grid Tie Inverter biasanya tidak dapat digunakan jika tidak terhubung ke sistem. Jika produksi berlebih dari stasiun pembangkit, daya disalurkan ke jaringan listrik untuk dijual ke perusahaan listrik. Selama produksi listrik tidak mencukupi, maka beban akan disuplai dari dari luar sistem. [7]

2.3.3 Menentukan Output dari PLTS ke *Grid-connected* [8]

Dalam merancang sistem PLTS penting untuk dapat memperkirakan hasil energi dari sistem itu. Jumlah energi yang dihasilkan oleh sistem PV tergantung pada sejumlah faktor, tetapi faktor utama adalah:

- a. Ukuran PV *array*
- b. Jumlah iradiasi (sinar matahari) yang diterimanya
- c. Total efisiensi sistem yaitu berapa besar daya yang dihasilkan setelah semua kerugian telah dihitung dan diterapkan.

Hasil produksi energi dari PV *array* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$E_{array} = \text{Ukuran PV array} \times H_{tilt} \times Losses \quad (2.1)$$

Hasil produksi energi dari PV *array* dalam 1 tahun dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$E_{array} = 365 \times \text{Ukuran PV array} \times H_{tilt} \times Losses \quad (2.2)$$

Keterangan :

E_{array} : Rata-rata keluaran energi dari PV *array* (Wh)

PSTC : Output daya dinilai modul STC (W)

$Losses$: Total kerugian diterjemahkan ke dalam efisiensi (%)

H_{tilt} : Radiasi matahari, (1 PSH = 1 kWh / m²)

N : Jumlah modul dalam *array*

2.4 Tegangan dan Arus

Menurut Kamus Fisika, beda potensial adalah perbedaan potensial antara dua titik, yang sama dengan perubahan energi, saat satu satuan muatan positif

bergerak dari satu tempat ke tempat lain dalam medan listrik. Satuan beda potensial adalah volt (V). Satu volt berarti ada perubahan energi sebesar satu joule jika ada muatan bergerak sebesar satu coulomb. Jika kita mempunyai benda bermuatan negatif berarti benda tersebut mempunyai kelebihan elektron. Derajat termuatinya benda tersebut diukur dengan jumlah kelebihan elektron yang ada. Muatan sebuah elektron, sering dinyatakan dengan simbol q atau e , dinyatakan dengan satuan coulomb, yaitu sebesar

$$q \approx 1,6 \times 10^{-19} \text{ coulomb}$$

Pada dasarnya dalam kawat penghantar terdapat aliran elektron dalam jumlah yang sangat besar, jika jumlah elektron yang bergerak ke kanan dan ke kiri sama besar maka seolah-olah tidak terjadi apa-apa. Namun jika ujung sebelah kanan kawat menarik elektron sedangkan ujung sebelah kiri melepaskannya maka akan terjadi aliran elektron ke kanan (tapi ingat, dalam hal ini disepakati bahwa arah arus ke kiri). Aliran elektron inilah yang selanjutnya disebut arus listrik.

Besarnya arus listrik diukur dengan satuan banyaknya elektron per detik, namun demikian ini bukan satuan yang praktis karena harganya terlalu kecil. Satuan yang dipakai adalah ampere, dimana

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2.3)$$

$$1 \text{ ampere} = 1 \text{ coulomb/det.}$$

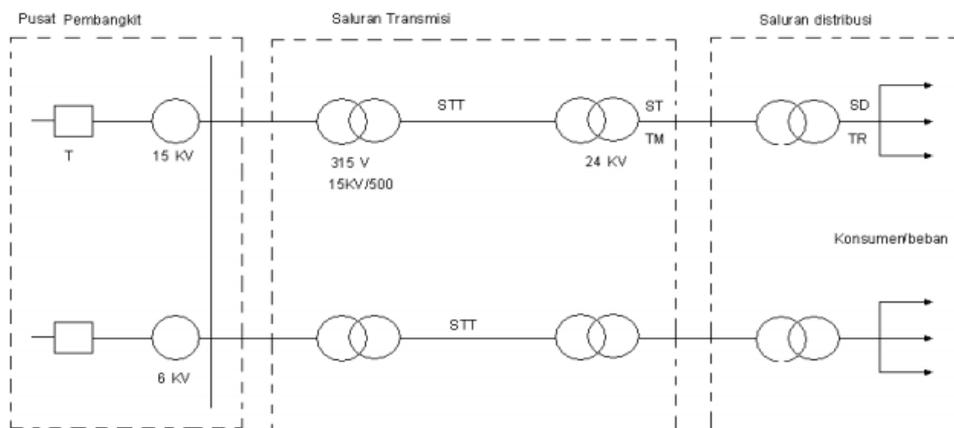
Arus listrik terdiri dari dua jenis yaitu arus listrik searah (DC) dan arus listrik bolak-balik (AC). Arus listrik DC merupakan arus listrik yang mengalir secara terus menerus kesatu arah. Arus listrik AC merupakan arus listrik yang

mengalir bolak-balik.

2.5 Saluran Distribusi

Saluran distribusi adalah Secara umum, saluran distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menurut nilai tegangan, jenis konstruksi dan susunan rangkaian.

Saluran distribusi berfungsi menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke kelompok beban berupa gardu distribusi dan konsumen dengan mutu yang handal dan memadai. [9] Untuk lebih jelasnya, sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 1.2 di bawah ini :

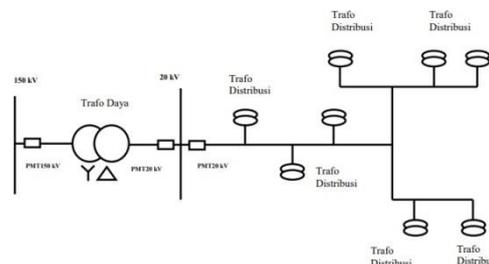


Gambar 2. 7 Single Line Diagram Sistem Tenaga Listrik

2.6 Sistem Distribusi Radial

Sistem Radial Sistem distribusi dengan pola radial seperti Gambar 2.8 adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain. Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

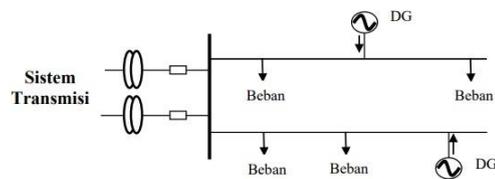


Gambar 2. 8 konfigurasi Jaringan Radial

2.7 Usaha Peningkatan Kualitas Sistem Distribusi dengan *Distributed Generation (DG)*

Sistem tenaga listrik konvensional membangkitkan listrik dengan skala besar (>100 MW) dan terletak jauh dari pusat beban sehingga memerlukan saluran tenaga listrik yang panjang. Distributed Generation dapat didefinisikan sebagai sistem pembangkitan skala kecil (< 10 MW) yang diletakkan dekat dengan pusat beban dan dapat diinterkoneksi dengan jaringan distribusi atau

dioperasikan secara terpisah . Hal ini membuat DG tidak memerlukan saluransaluran transmisi yang panjang dan gardu induk -gardu induk berkapasitas besar sehingga dapat mencegah pengeluaran modal investasi untuk pembangunan dan pemeliharaan saluran transmisi dan gardu induk tersebut. Selain dapat mencegah rugi-rugi di sepanjang saluran transmisi dan gardu induk (GI), maka kemungkinan terjadinya gangguan di sepanjang saluran transmisi dan gardu induk tersebut dapat ditiadakan sehingga dapat meningkatkan pelayanan jaringan tenaga listrik. Disamping itu, pembangunan DG memerlukan waktu yang relatif lebih singkat apabila dibandingkan dengan waktu yang diperlukan membangun pembangkit listrik konvensional (seperti PLTU atau PLTA).



Gambar 2. 9 Sistem Distribusi dengan DG

2.8 Beban Listrik

2.8.1 Beban Resistif

Beban resistif adalah beban listrik pada rangkaian listrik AC, yang diakibatkan oleh peralatan listrik dengan sifat resistif murni, sehingga beban tersebut tidak mengakibatkan pergeseran fasa arus maupun tegangan listrik jaringan.

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”, dimana ia tidak mampu memproduksi energi listrik,

dan justru menjadi konsumen energi listrik. Resistor bersifat menghalangi aliran elektron yang melewatinya (dengan jalan menurunkan tegangan listrik yang mengalir), sehingga mengakibatkan terkonversinya energi listrik menjadi panas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. [10]

2.8.2 Beban Induktif

Beban induktif adalah beban yang mengandung komponen reaktans karena pemakaian kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti, biasanya inti besi.

Beban induktif diciptakan oleh lilitan kawat (kumparan) yang terdapat di berbagai alat-alat listrik seperti motor, trafo, dan relay. Kumparan dibutuhkan oleh alat-alat listrik tersebut untuk menciptakan medan magnet sebagai komponen kerjanya. Pembangkitan medan magnet pada kumparan inilah yang menjadi beban induktif pada rangkaian arus listrik AC.

2.8.3 Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktor daya < 1 dengan arus mendahului tegangan sebesar ϕ derajat (*leading*). Beban ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif.

2.9 Resistansi, Induktasi dan Kapasitansi

2.9.1 Resistansi

Resistansi penghantar saluran transmisi adalah penyebab yang terpenting

dari rugi daya pada saluran transmisi. [11] Jika tidak ada keterangan lain, maka yang dimaksudkan dengan istilah resistansi adalah resistansi efektif. Resistansi efektif dari suatu penghantar adalah:

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2.4)$$



Gambar 2. 10 Resistor

2.9.2 Induktansi

Induktansi merupakan sifat sebuah rangkaian listrik atau komponen yang menyebabkan timbulnya gaya gerak listrik (GGL) di dalam rangkaian sebagai akibat perubahan arus yang melewati rangkaian (self inductance) atau akibat perubahan arus yang melewati rangkaian tetangga yang dihubungkan secara magnetis (induktansi bersama atau mutual inductance). Pada kedua keadaan tersebut, perubahan arus berarti ada perubahan medan magnetik, yang kemudian menghasilkan GGL. Apabila sebuah kumparan dialiri arus, di dalam kumparan tersebut akan timbul medan magnetik. Selanjutnya, apabila arus yang mengalir besarnya berubah-ubah terhadap waktu akan menghasilkan fluks magnetik yang berubah terhadap waktu. Perubahan fluks magnetik ini dapat menginduksi rangkaian itu sendiri, sehingga di dalamnya timbul GGL induksi. GGL induksi

yang diakibatkan oleh perubahan fluks magnetik sendiri dinamakan GGL induksi diri. [12]

2.9.3 Kapasitansi

Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. Coulombs pada abad 18 menghitung bahwa 1 coulomb = 6.25×10^{18} elektron. Kemudian Michael Faraday membuat postulat bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 coulombs. Dengan rumus dapat ditulis :

$$Q = C V \quad (2.5)$$

Dimana:

Q : muatan elektron dalam C (coulombs)

C : nilai kapasitansi dalam F (farad)

V : besar tegangan dalam V (volt)

Dalam praktek pembuatan kapasitor, kapasitansi dihitung dengan mengetahui luas area plat metal (A), jarak (t) antara kedua plat metal (tebal dielektrik) dan konstanta (k) bahan dielektrik.

2.10 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan atau jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding

terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam % atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti. [13]

2.11 Arduino Mega 2560

Arduino adalah *open-source project* yang awalnya dikembangkan di Interaction Design Institute Ivera, di Italia utaraoleh Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, dan David Mellis. [14] Arduino mega 2560 adalah modul *microcontroller* yang menggunakan ATmega 2560. Berikut adalah spesifikasi dari Arduino Mega 2560:

- a. *Microcontroller* ATmega 2560
- b. Tegangan kerja 5V
- c. Tegangan *input* (disarankan) 7 – 12V
- d. Tegangan *input* (batas) 6 – 20V
- e. Pin I/O digital 54 pin (15 pin *output* PWM)
- f. Pin *input* analog 16 pin
- g. Arus DC setiap pin I/O 20 mA
- h. Arus DC untuk pin 3.3V 50 mA

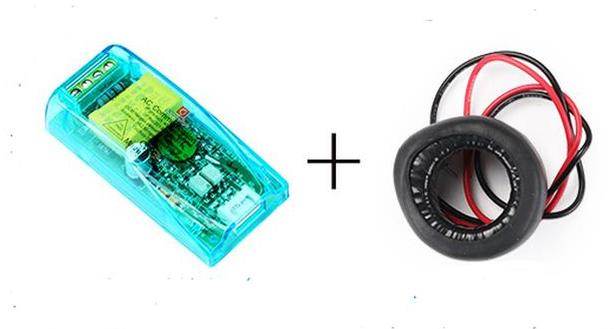
- i. Memori *flash* 256 KB yang 8 KB digunakan oleh *bootloader*
- j. SRAM 8 KB
- k. EEPROM 4 KB
- l. Kecepatan *clock* 16 MHz
- m. Panjang 101.52 mm Lebar 53.3 mm
- n. Berat 37 g



Gambar 2. 11 Arduino Mega

2.12 Sensor Daya PZEM-004T

Modul PZEM-004T adalah sebuah modul sensor multifungsi yang berfungsi untuk mengukur daya, tegangan, arus dan energi yang terdapat pada sebuah aliran listrik. Modul ini sudah dilengkapi sensor tegangan dan sensor arus (CT) yang sudah terintegrasi. Dalam penggunaannya, alat ini khusus untuk penggunaan dalam ruangan (*indoor*) dan beban yang terpasang tidak diperbolehkan melebihi daya yang sudah ditetapkan. [15]



Gambar 2. 12 Sensor Tegangan PZEM-004T

2.13 Kontaktor

Kontaktor bisa disebut *Magnetic Contactor* karena prinsip kerja dari kontaktor tersebut menggunakan medan magnet yang timbul oleh arus listrik yang didalam kontaktor tersebut ada sebuah kumparan untuk menjadi magnet karena dialiri oleh arus listrik. Kontaktor menimbulkan magne yang bisa disebut *Coil* yang menarik kontak-kontak NO (*Normaly Open*) menjadi NC (*Normaly Close*).



Gambar 2. 13 Kontaktor

Prinsip kerja Kontaktor adalah ada sebuah arus dan tegangan 220 VAC maupun DC sesuai dengan karakter *coil* dari kontaktor, kemudian arus tersebut menggerakkan sebuah *coil* di dalam kontaktor, *coil* tersebut akan bekerja ketika ada

arus yang masuk dan membuat sebuah magnet sementara untuk menarik kontak (L1, L2, L3 dan kontak bantu) dari kontaktor yang semulanya NO menjadi NC, untuk membuka kontaktor memerlukan waktu 4 – 19 ms dan untuk menutup 12-22 ms.