

SKRIPSI

**PERANCANGAN KENDALI SISTEM *HYBRID* UNTUK
PENYALURAN DAYA KE BEBAN PADA DAERAH
TERISOLIR**

Disusun dan diajukan oleh:

**RICHARD SEPTIAN SAMPE
D041 19 1045**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PERANCANGAN KENDALI SISTEM *HYBRID* UNTUK
PENYALURAN DAYA KE BEBAN PADA DAERAH TERISOLIR**

Disusun dan diajukan oleh

**Richard Septian Sampe
D041 19 1045**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 21 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


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

NIP. 19621231 199003 1 024


Ir. Tajuddin Waris M.T.

NIP. 19650424 199203 1 003

Ketua Program Studi,


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

NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Richard Septian Sampe

NIM : D041191045

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PERANCANGAN KENDALI SISTEM *HYBRID* UNTUK PENYALURAN DAYA KE BEBAN PADA DAERAH TERISOLIR

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 22 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Richard Septian Sampe

ABSTRAK

RICHARD SEPTIAN SAMPE. *Perancangan Kendali Sistem Hybrid untuk Penyaluran Daya ke Beban pada Daerah Terisolir* (dibimbing oleh Salama Manjang dan Tajuddin Waris)

Indonesia memiliki banyak potensi sumber daya alam yang bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Saat ini, pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh pembangkit thermal yang menggunakan bahan bakar diesel, gas, dan batu bara, yang merupakan sumber energi tak terbarukan. Letak geografis Indonesia digaris khatulistiwa memungkinkan penerimaan sinar matahari setiap hari. Selain itu potensi energi angin yang baik juga mendukung pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan energi tak terbarukan dikembangkan sebuah sistem penggabungan dua atau lebih pembangkit listrik yang disebut sistem pembangkit listrik *hybrid*. Sistem pembangkit hybrid adalah metode yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit untuk mencapai sinergi yang memberikan keuntungan ekonomi dan teknis (keandalan suplai sistem). Selain itu sistem hibrid merupakan suatu alternatif sistem pembangkit listrik yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh PLN Tujuan utama penelitian ini adalah merancang sistem pengendalian pembangkit hybrid energi terbarukan yaitu PLTS dan PLTB sebagai sumber energi utama dan PLTD (genset) sebagai sumber energi cadangan untuk memastikan suplai beban tetap terjaga. Pusat pengendalian sistem menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560, sensor tegangan serta modul relay yang akan melakukan *switching* otomatis antara sumber listrik satu dengan yang lainnya. Sistem pengendalian diprogram menggunakan *software* Arduino IDE. Pengujian yang dilakukan sudah sesuai yang diharapkan dimana ketika sensor membaca tegangan aki PLTS turun hingga ≤ 11 V relay akan switch secara otomatis ke PLTB untuk menyuplai inverter dan kembali switch ke PLTS jika tegangan aki PLTS kembali naik $> 12,5$ V. Relay yang dipasang pada sisi output inverter juga mampu *switch* otomatis ketika sensor membaca tegangan output inverter ≤ 198 V.

Kata Kunci: PLTS, PLTB, PLTD, Pembangkit *Hybrid*, Arduino Mega 2560, *Software* Arduino IDE, *Switching* Otomatis

ABSTRACT

RICHARD SEPTIAN SAMPE. *Design of Hybrid System Control for Power Distribution to Load in Isolated Areas* (supervised by Salama Manjang and Tajuddin Waris)

Indonesia has a lot of potential natural resources that can be utilized for electricity generation. Currently, power plants in Indonesia are still dominated by thermal power plants using diesel, gas, and coal fuels, which are non-renewable energy sources. Indonesia's geographical location on the equator allows for daily sunlight reception. Additionally, the good potential for wind energy also supports the development of Solar Power Plants (PLTS) and Wind Power Plants (PLTB). To reduce dependence on the use of non-renewable energy, a system that combines two or more power plants, known as a hybrid power plant system, has been developed. A hybrid power plant system is a method that combines two or more power plants to achieve synergy that provides economic and technical benefits (system supply reliability). Moreover, a hybrid system is an appropriate alternative power plant system to be applied in areas that are difficult to reach by PLN (State Electricity Company). The main objective of this research is to design a control system for a renewable energy hybrid power plant, namely PLTS and PLTB as the main energy sources and PLTD (generator) as a backup energy source to ensure the load supply is maintained. The control center of the system uses an Arduino Mega 2560 microcontroller, voltage sensors, and relay modules that will perform automatic switching between the power sources. The control system is programmed using the Arduino IDE application. The tests conducted have met expectations where when the sensor reads the PLTS battery voltage dropping to ≤ 11 V, the relay will automatically switch to PLTB to supply the inverter and switch back to PLTS if PLTS rises again to >12.5 V. The relay installed on the inverter output side is also able to switch when the sensor reads the inverter output voltage ≤ 198 V.

Keywords: PLTS, PLTB, PLTD, Hybrid Power Plant, Arduino Mega 2560, Arduino IDE Application, Automatic Switching

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	5
2.2 Pembangkit listrik Tenaga Bayu (PLTB)	7
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) / Genset	9
2.4 Pembangkit Listrik Hibrid	9
2.5 Inverter	11
2.6 Baterai	12
2.7 Solar Charger Controller	13
2.8 Komponen Sistem Kontrol	14
2.8.1 Arduino uno	14
2.8.2 Sensor PZEM-004T	15
2.8.3 Sensor ZMPT101B	16
2.8.4 Voltage Sensor	17
2.8.5 Sensor arus ACS712	17
2.8.6 Relay 2 channel	18
2.9 Beban Listrik	19
2.10 Penelitian Yang Relevan	21
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	23
3.1 Lokasi Penelitian	23
3.2 Waktu Penelitian	23
3.3 Peralatan Dan Komponen Sistem	23
3.3.1 Peralatan	23
3.3.2 Komponen	28
3.4 Peralatan Ukur	30
3.4 Metode Penelitian	32
3.4.1 Studi Literatur	32
3.4.2 Perancangan Perangkat Keras	32
3.4.3 Teknik Pengujian/Analisis	35
3.5 Diagram Alir Penelitian	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Desain Alat Dan Prinsip Kerja	39

4.2 Kalibrasi Sensor	43
4.2.1 Sensor PZEM-004T	43
4.2.2 Sensor tegangan DC	47
4.2.3 Sensor tegangan AC	49
4.2.4 Sensor arus AC	50
4.2.5 Sensor arus DC	51
4.3 Pengujian Rangkain Rectifier PLTB	52
4.4 Pengujian Switch Relai PLTS Dan PLTB	54
4.4.2 Relai PLTS	54
4.4.1 Relai PLTB	55
4.5 Pengujian Switch Relai Genset Dan Inverter	55
4.5.1 Relai genset	56
4.5.2 Relai inverter	56
4.6 Pengujian Sistem Kontrol Pada Pembangkit	57
4.6.1 Pengujian hari pertama	58
4.6.2 Pengujian hari kedua	61
4.6.3 Pengujian hari ketiga	64
4.6.4 Pengujian hari keempat	67
4.6.5 Pengujian hari kelima	70
4.6.6 Pengujian hari keenam	73
4.6.7 Pengujian hari ketujuh	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1 Kesimpulan	80
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction (Hidayat et al., 2017).....	7
Gambar 2. Single line genset (Sau & Patoding, 2017)	9
Gambar 3. Skema PLTH Seri (Dedikusma et al., 2015).....	10
Gambar 4. Skema PLTH <i>Switched</i> (Dedikusma et al., 2015).....	10
Gambar 5. Skema PLTH Paralel (Dedikusma et al., 2015).	10
Gambar 6. Gelombang keluaran inverter (Irwansi, 2022)	12
Gambar 7. Baterai (aki) (Elfridus et al., 2020)	13
Gambar 8. Solar charger controller (Elfridus et al., 2020).....	14
Gambar 9. Bentuk fisik Arduino Uno (M. A. Hasan, 2021).....	15
Gambar 10. Sensor PZEM-004T (Ibrahim, Ridyandhika Riza , Bektu Yulianti, 2022)	16
Gambar 11. Sensor tegangan ZMPT101B (Syafuruddin et al., 2021)	17
Gambar 12. Sensor tegangan (Amalia Azahra & Waskita, 2022)	17
Gambar 13. Sensor arus ACS712 (Syafuruddin et al., 2021)	18
Gambar 14. Bentuk fisik <i>relay</i> 2 channel.....	18
Gambar 15. Panel solar cell yang terpasang pada Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi	24
Gambar 16. PLTB yang terpasang pada Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi	24
Gambar 17. PLTD (Genset)	25
Gambar 18. Charger controller baterai (aki)	25
Gambar 19. Baterai / Aki	26
Gambar 20. Inverter	26
Gambar 21. Box panel	26
Gambar 22. Beban kipas angin	27
Gambar 23. Beban lampu.....	27
Gambar 24. Laptop dan software Arduino IDE	28
Gambar 25. Mikrokontroler Arduino Mega 2560.....	28
Gambar 26. LCD I2C	28
Gambar 27. Voltage sensor	29
Gambar 28. Sensor ZMPT101B.....	29
Gambar 29. Sensor PZEM-004T	29
Gambar 30. Sensor ACS712	30
Gambar 31. Relay 2 chanel	30
Gambar 32. Jumper	30
Gambar 33. Multimeter digital.....	31
Gambar 34. Tang ampere digital.....	31
Gambar 35. Watt meter digital.....	31
Gambar 36. Rangkaian rectifier	32
Gambar 37. Perancangan sistem kontrol hybrid	33
Gambar 38. Alur kerja <i>switch relay</i> sistem <i>hybrid</i>	36
Gambar 39. Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 40. Skema <i>hybrid</i> sistem	39

Gambar 41. Diagram pengkabelan pengendalian sistem hybrid PLTS, PLTB, dan PLTD (Genset)	40
Gambar 42. Tampak fisik sistem kontrol (a) tampak depan, (b) tampak dalam (c) tampak bawah, (d) tampak atas	42
Gambar 43. Tampak fisik rangkaian <i>rectifier</i>	52
Gambar 44. Grafik pengujian rangkain <i>rectifier</i>	53
Gambar 45. Pengujian sistem kontrol pada pembangkit.....	57
Gambar 46. Grafik monitoring daya PLTS dan PLTB hari pertama	59
Gambar 47. Grafik monitoring daya PLTS dan PLTB hari kedua	62
Gambar 48. Monitoring daya PLTS dan PLTB hari ketiga	65
Gambar 49. Grafik daya PLTS dan PLTB hari keempat	68
Gambar 50. Grafik daya PLTS dan PLTB hari kelima.....	71
Gambar 51. Grafik daya PLTS dan PLTB hari keenam	74
Gambar 52. Grafik daya PLTS dan PLTB hari ketujuh.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian yang relevan	21
Tabel 2. Hasil pengujian sensor tegangan dan arus PZEM-004T	44
Tabel 3. Hasil pengujian sensor daya PZEM-004T	45
Tabel 4. Hasil pengujian sensor energi PZEM-004T	45
Tabel 5. Hasil pengujian sensor PZEM-004T	46
Tabel 6. Hasil pengujian sensor faktor daya (cos phi) PZEM-004T	46
Tabel 7. Hasil pengujian sensor tegangan DC 1	47
Tabel 8. Hasil pengujian sensor tegangan DC 2	48
Tabel 9. Hasil pengujian sensor tegangan AC 1	49
Tabel 10. Hasil pengujian sensor tegangan AC 2	50
Tabel 11. Pengujian sensor arus AC	51
Tabel 12. Pengujian Sensor arus DC	51
Tabel 13. Hasil pengujian rangkain rectifier	53
Tabel 14. Pengujian <i>relay</i> PLTS	54
Tabel 15. Pengujian <i>relay</i> PLTB	55
Tabel 16. Hasil pengujian <i>relay</i> genset sebagai sumber listrik <i>backup</i>	56
Tabel 17. Hasil pengujian <i>relay</i> inverter sebagai sumber listrik utama	56
Tabel 18. Hasil montoring daya dan tegangan aki PLTS dan PLTB hari pertama	58
Tabel 19. Hasil monitoring tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya pada beban hari pertama	60
Tabel 20. Hasil montoring daya dan tegangan aki PLTS dan PLTB hari kedua ..	61
Tabel 21. Hasil monitoring tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya pada beban hari ke-2	63
Tabel 22. Hasil montoring daya dan tegangan aki PLTS dan PLTB hari ke-3	64
Tabel 23. Hasil monitoring tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya pada beban hari ke-3	66
Tabel 24. Hasil montoring daya dan tegangan aki PLTS dan PLTB hari ke-4	67
Tabel 25. Hasil monitoring tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya pada beban hari ke-4	69
Tabel 26. Hasil montoring daya dan tegangan aki PLTS dan PLTB hari ke-5	70
Tabel 27. Hasil monitoring tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya pada beban hari ke-5	72
Tabel 28. Hasil montoring daya dan tegangan aki PLTS dan PLTB hari ke-6	73
Tabel 29. Hasil monitoring tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya pada beban hari ke-6	75
Tabel 30. Hasil montoring daya dan tegangan aki PLTS dan PLTB hari ke-7	76
Tabel 31. Hasil monitoring tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya pada beban hari ke-7	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto pengerjaan alat.....	85
Lampiran 2. Foto pengujian sensor dan pengujian switch relai.....	87
Lampiran 3. Foto pengujian sistem kontrol pada pembnagkit.....	92
Lampiran 4. List Program Sistem Kontrol.....	92

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Perancangan Kendali Sistem *Hybrid* Pembangkit *Renewable Energy* Untuk Penyaluran Daya Ke Beban” dengan baik. Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program strata satu departemen teknik elektro fakultas teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis sangat menyadari bahwa terwujudnya tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dorongan dari beberapa pihak sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dalam waktu yang telah direncanakan. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu memberi penulis kesehatan, perlindungan serta keteguhan hati dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua penulis yang senantiasa mendukung, memfasilitasi dan mendoakan penulis selama penyusunan tugas akhir ini selama serta kepada keluarga besar yang turut serta memberikan dukungan kepada penulis.
3. Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT., IPM selaku pembimbing dan bapak Ir. Tajuddin Waris, MT selaku pembimbing pendamping yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan.
4. Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T. dan Ir. Gassing, M,T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. dan Bapak Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T. selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh dosen pengajar serta pegawai Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin atas bimbingan, didikan, kemudahan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh perkuliahan.
7. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Dan Distribusi yang selalu memberikan bantuan, doa dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Seluruh teman-teman “TR19GER” yang telah menjadi rekan seperjuangan, memberikan banyak pengalaman, cerita dan motivasi kepada penulis. Jangan pernah takut dan ragu melihat masa depan, semua akan baik saja jika kita bersama.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada laporam hasil ini, oleh karena itu penulis memohon maaf atas segala kekurangan dan kesalahan yang ada. Penulis sangat mengharapkan segala saran dan kritik yang bersifat membangun. Akhir kata semoga proposal ini dapat memberi manfaat.

Gowa, 1 Juni 2024

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting dan vital yang tidak dapat dilepaskan dari keperluan sehari-hari. Manusia hampir tidak dapat melakukan pekerjaan yang ada dengan baik ataupun memenuhi kebutuhannya. Kekurangan energi listrik dapat mengganggu aktivitas manusia. Oleh sebab itu kesinambungan dan ketersediaan energi listrik harus dipertahankan. Saat ini kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan penambahan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi serta informasi.

Saat ini kebutuhan listrik yang ada di Indonesia meningkat secara pesat sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Konsumsi bahan bakar fosil sebagai sumber energi saat ini masih menjadi prioritas utama. Berdasarkan data laporan statistik PLN, sepanjang tahun 2021 pembangkit listrik menggunakan bahan bakar minyak bumi sebanyak 3,09 juta kiloliter (kl), dengan presentase peningkatan sebesar 15,76% meningkat dari tahun 2020 yang hanya 2,67 juta kiloliter. Namun konsumsi yang berlebihan dan ketergantungan pada sumber bahan bakar fosil akan menimbulkan kelangkaan dikarenakan pembentukannya yang membutuhkan waktu ratusan juta tahun. Disisi lain penggunaan bahan bakar fosil juga merupakan salah satu penyebab *global warming* dan hujan asam akibat emisi gas yang dihasilkan dan dibuang ke lingkungan. (Aswar, 2018)

Semakin berkurangnya cadangan sumber bahan bakar fosil sebagai bahan bakar pembangkit listrik serta penggunaannya yang terus meningkat membuat para ahli memikirkan dan mencari sumber-sumber energi alternatif serta menciptakan teknologi baru yang dapat menggantikan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Oleh karena itu, pada saat ini berbagai penelitian telah dilakukan di berbagai negara maju untuk mengurangi emisi gas buang dengan menghemat penggunaan bahan bakar fosil, salah satu diantaranya adalah penggunaan energi terbarukan sebagai sumber listrik.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pembangkit listrik tenaga angin/bayu (PLTB) merupakan pengembangan dari energi terbarukan yang paling cocok dikembangkan di Indonesia mengingat letak geografis Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa, sehingga wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari. Potensi sumber energi matahari di Indonesia mencapai rata-rata 4,5 kWh per meter persegi per hari, matahari bersinar berkisar 2000 jam per tahun, sehingga Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari. Untuk pengembangan konversi dari energi tersebut dapat dikombinasikan yang dikenal dengan pembangkit *hybrid* (Abdillah dan Afandi, 2018)

Sistem *hybrid* merupakan suatu alternatif sistem pembangkit listrik yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh PLN, sehingga mengurangi ketergantungan pemakaian bahan bakar untuk menghasilkan listrik seperti genset. Pada penelitian ini dikembangkan sebuah model pembangkit hybrid renewable energi angin, energi surya sebagai sumber listrik utama dan nonrenewable energi yaitu PLTD(genset) sebagai sumber listrik cadangan. Ketiganya menggunakan konsep konversi energi yang berbeda sehingga untuk mengintegrasikan atau mengoperasikan ketiga pembangkit tersebut diperlukan suatu sistem pengendalian yang dapat memutus dan menghubungkan pembangkit satu dengan yang lain agar beban tetap tersuplai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat dan merancang suatu sistem pengendalian pembangkit *hybrid* tenaga surya, angin, dan diesel dengan menggunakan mikrokontroler Arduino ?
2. Bagaimana kinerja sistem pengendalian pembangkit hybrid tenaga surya, angin, dan diesel berbasis Arduino?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk membuat dan merancang sistem pengendalian pembangkit *hybrid* tenaga surya, angin dan diesel (genset) menggunakan mikrokontroler Arduino dan menghasilkan sistem kendali pembangkit *hybrid* otomatis berbasis Arduino.
2. Mengetahui kinerja dari sistem pengendalian pembangkit *hybrid* tenaga surya , angin, dan diesel yang menggunakan mikrtokontroller Arduino.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada perancangan atau pembuatan sistem pengendalian pembangkit *hybrid*.
2. Daya yang digunakan pada sistem adalah daya yang dihasilkan dari lima PV dan turbin angin yang terpasang di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi FT-UH dan genset sebagai PLTD
3. Menggunakan mikrokontroller Arduino Mega 2560 sebagai *main control* untuk pengendalian sistem hibrid.
4. Beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah beban resistif dan induktif.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan bagi penulis dan pembaca yang diharapkan dapat berguna dalam kehidupan sehari-hari dan dunia kerja.
2. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pembangkit listrik *hybrid renewable energy* berbasis mikrokontroler Arduino.
3. Sebagai dasar dalam pengembangan teknologi pembangkit *hybrid*

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori penunjang yang relevan untuk bahan penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang relevan dalam penulisan laporan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang metode pengolahan data dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang data yang diperoleh dan analisis dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini membahas tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Energi surya merupakan energi yang sangat berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan negara yang dilalui garis khatulistiwa. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas ± 2 juta km² sebesar 5,10 MW atau 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp yang didistribusikan. Oleh karena itu energi surya memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan dengan energi fosil, yaitu sumber energi yang mudah didapatkan, ramah lingkungan, sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis, instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah, listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai (Widyanto et al., 2018).

Pemanfaatan energi surya di Indonesia telah banyak dimanfaatkan pada penyediaan listrik di pedesaan dan daerah-daerah yang sulit dijangkau. Umumnya instalasi PLTS tersebut banyak dimanfaatkan pada sektor-sektor berikut ini di mesjid-mesjid atau rumah peribadatan, puskesmas atau pelayanan kesehatan di desa-desa, instansi pemerintah utamanya kantor pelayanan umum pemerinta, lampu-lampu penerangan listrik di jalan, pompa-pompa air untuk pengairan irigasi atau sumber air minum, *solar Home System (SHS)* untuk penerangan di rumah-rumah (H. Hasan, 2019).

Energi radiasi matahari diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan teknologi *photovoltaic* yang terbuat dari bahan semi konduktor lainnya, yang disebut *solar cell*. PLTS dapat berupa sistem terpusat (*centralized*), sistem tersebar (*stand-alone*) dan sistem hibrida (*hybrid system*) (H. Hasan, 2019), *Centralized PV* sistem adalah PLTS yang menyuplai listrik secara terpusat untuk berbagai lokasi/beban yang bersifat *on grid* maupun *off grid*, sistem *stand-alone* hanya menyuplai listrik khusus untuk kebutuhan beban yang tersebar di masing-masing lokasi dan bersifat *off grid*, sistem *hybrid*, dimana PLTS digunakan bersama-sama dengan sistem pembangkit lainnya dalam menyuplai beban listrik (H. Hasan, 2019).

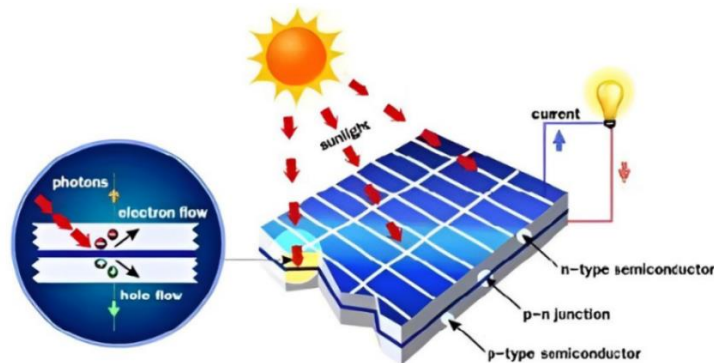
Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang terpancar ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas partikel energi surya atau disebut foton yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah yang menerima energi surya tersebut. Rata-rata nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1.353 W/m^2 yang dinyatakan sebagai konstanta surya. Intensitas radiasi surya dapat pula dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca yang meliputi kualitas serta kuantitas awan, pergantian musim dan juga posisi garis lintang. Intensitas radiasi surya di Indonesia berlangsung selama 4-5 jam per hari. Produksi energi surya pada suatu daerah dapat dihitung sebagai berikut (H. Hasan, 2019)

Pengkonversian energi dari energi surya menjadi energi listrik disebut juga dengan energi photovoltaic. Pada awalnya, PLTS digunakan sebagai pembangkit listrik pada daerah terpencil dan sulit dijangkau seperti pedesaan terpencil kemudian berkembang dan dimanfaatkan pada lampu penerangan jalan, penyediaan energi listrik di tempat umum, seperti rumah peribadatan, pelayanan kesehatan, serta instansi-instansi pemerintah. Pada awalnya energi surya ini hanya dapat digunakan untuk penerangan akan tetapi PLTS cukup membantu elektrifikasi pada tempat yang membutuhkan. Selain itu, juga telah tersedia pompa air tenaga surya yang digunakan untuk pengairan irigasi ataupun pompa air sebagai sumber air bersih (H. Hasan, 2019).

Sel surya dapat dianalogikan sebagai suatu divais dengan dua terminal atau sambungan, saat berada dalam kondisi gelap berfungsi sebagai dioda dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Umumnya untuk satu sel surya komersial dapat menghasilkan tegangan DC sebesar $0,5 - 1 \text{ Volt}$ dan arus *short-circuit* dalam skala miliampere per cm^2 . Besar tegangan yang dihasilkan tersebut tidak dapat mencukupi kebutuhan berbagai aplikasi sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28 – 36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar. Modul surya pun dapat digabungkan secara seri ataupun paralel untuk memperbesar kapasitas tegangan dan arus yang

dihasilkan sesuai dengan daya yang dibutuhkan oleh suatu beban (Hidayat et al., 2017).

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor tipe p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya sedangkan semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif). Peran p-n junction tersebut yakni untuk membentuk suatu medan listrik sehingga elektron dan hole bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat aliran elektron dan hole tersebut tercipta medan listrik yang apabila terkena cahaya matahari dapat mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang. Selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, seperti diilustrasikan pada gambar dibawah (Hidayat et al., 2017).



Gambar 1. Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction (Hidayat et al., 2017)

2.2 Pembangkit listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Angin adalah energi yang bergerak dari tekanan tinggi menuju tekanan rendah atau sebaliknya dari suhu udara rendah ke suhu udara yang lebih tinggi. Pergerakan udara tersebut disebabkan oleh pemanasan bumi dari radiasi matahari. Kondisi bumi yang tidak homogen, dimana terdapat perbedaan suhu dan tekanan udara antara daerah yang menerima energi panas lebih banyak dibanding daerah lain

menyebabkan terjadinya aliran udara pada wilayah tersebut (Fachri & Hendrayana, 2017).

Pada PLTB, energi angin biasanya dimanfaatkan untuk memutar bagian yang bergerak. Putaran yang dihasilkan tersebut dikonversikan dari energi angin menjadi energi kinetik dan akhirnya diubah menjadi energi listrik. Energi yang terkandung dalam tiupan angin dikonversikan menjadi energi kinetik. Energi kinetik (E_k) dalam satuan (joule) dapat dirumuskan sebagai berikut (Fachri & Hendrayana, 2017).

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Sedangkan, daya dari sebuah massa udara yang mengalir pada kecepatan v dan sebuah area lintasan angin A dapat dikalkulasikan sebagai (Fachri & Hendrayana, 2017):

$$P_w = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (2)$$

Dengan:

P_w = daya angin (W)

ρ = Kerapatan udara (kg/m^3) (pada 15°C dan tekanan 1 atm, $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)

A = Luas daerah turbin yang dilewati angin (m^2) ($A = (\pi/4) D^2$)

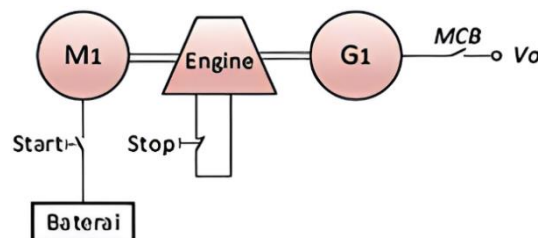
v = Kecepatan angin (m/s)

Daya pada turbin angin dipengaruhi oleh besarnya kecepatan angin yang memutar turbin. Semakin besar kecepatan angin, daya yang dihasilkan semakin besar. Turbin angin sekarang ini banyak digunakan untuk mengakomodasi listrik masyarakat. Cara kerja pembangkit listrik tenaga bayu ini dimulai dari aliran udara (angin) yang memutar turbin angin yang diteruskan untuk memutar rotor generator dibelakang bagian turbin angin, sehingga menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan kemudian akan disimpan dalam baterai yang disesuaikan dengan jumlah kebutuhan daya beban listrik sebelum dapat dimanfaatkan (Widyanto et al., 2018).

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) / Genset

Generator adalah peralatan yang berguna untuk memasok tenaga listrik selama pemadaman listrik dan mencegah diskontinuitas aktivitas sehari-hari atau gangguan operasi bisnis. Generator tersedia dalam berbagai kapasitas kebutuhan listrik dan fisik yang berbeda untuk digunakan dalam aplikasi yang berbeda (Elfridus et al., 2020).

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dalam penelitian ini dinyatakan sebagai sebuah Genset (generator set) yang bekerja menggunakan BBM. Genset merupakan sebuah perangkat yang menghasilkan daya listrik, yang diperoleh dari hasil konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Genset terdiri dari dua perangkat utama yaitu engine dan generator (G1) serta didukung oleh motor starter (M1), baterai dan perangkat kontrol lainnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Bila tombol start di tekan, motor starter M1 bekerja dan memutar (starting) engine, bila engine sudah berkerja maka tombol start di lepas, selanjutnya sekitar 10 detik generator (G1) bekerja lalu MCB dapat di on untuk mensuplai daya beban. Bila tombol stop ditekan, maka engine akan berhenti (Off) (Sau & Patoding, 2017).



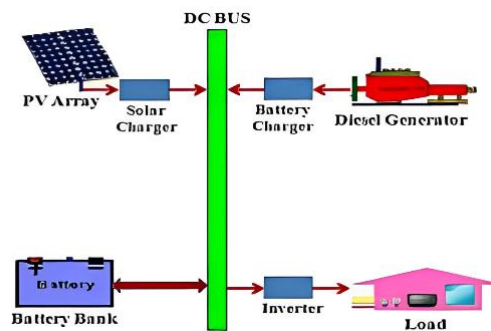
Gambar 2. Single line genset (Sau & Patoding, 2017)

2.4 Pembangkit Listrik Hybrid

Sistem *hybrid* adalah suatu sistem pembangkit yang terdiri dari beberapa jenis pembangkit listrik yang terintegrasi. Sistem hibrid ini bisa berupa gabungan antara pembangkit listrik dari sumber energi terbarukan (*renewable energy*) dan pembangkit listrik dari sumber energi konvensional atau tidak terbarukan (*non-renewable energy*) atau gabungan antar pembangkit listrik terbarukan. Salah satu persyaratan utama untuk sistem hibrid adalah untuk memastikan aliran daya yang berkelanjutan dengan menyimpan kelebihan energi dari sumber energi terbarukan (Adria & Tarmizi., 2015).

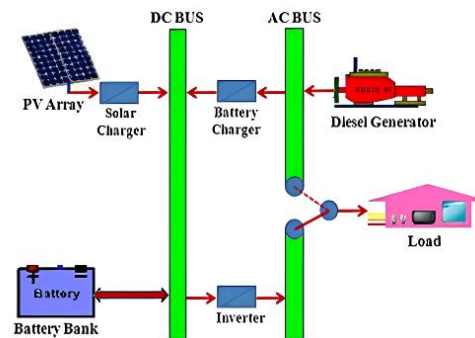
Sistem pembangkit listrik *hybrid* terbagi atas tiga konfigurasi yaitu:

1. Sistem *Hybrid Seri*



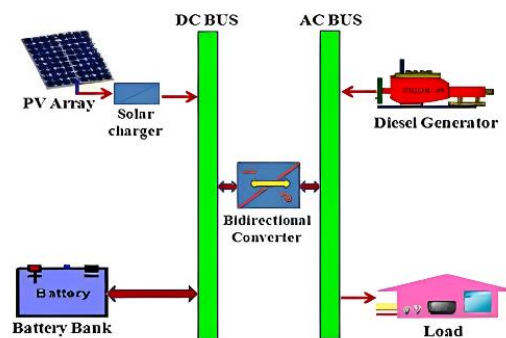
Gambar 3. Skema PLTH Seri (Dedisukma et al., 2015).

2. Sistem *Hybrid Switch*



Gambar 4. Skema PLTH *Switched* (Dedisukma et al., 2015)..

3. Sistem *Hybrid Paralel*



Gambar 5. Skema PLTH Paralel (Dedisukma et al., 2015).

Prinsip kerja PLTH tersaklar (*switched*), inverter beroperasi sebagai sumber AC. Sumber energi terbarukan yang lain dapat mengisi (*charging*) baterai. Pada sistem ini beban dapat langsung disuplai PLN.

Pada sistem *hybrid* terbagi menjadi 2 bagian yaitu sistem *off grid* dan sistem *on grid*. Sistem *off grid* merupakan suatu sistem yang tidak terhubung ke jaringan listrik dan karenanya membutuhkan penyimpanan baterai. Sistem *off grid* harus dirancang dengan baik sehingga akan menghasilkan daya yang cukup sepanjang tahun bahkan selama musim hujan dan memiliki kapasitas baterai yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi di rumah.

Sedangkan sistem *on grid* atau *grid tie* merupakan sistem yang biasa disebut semi-otonom karena masih terkoneksi ke jaringan listrik. Sistem ini merupakan sistem yang sederhana dan ekonomis dengan mengatur kapasitas sistem dan menyelaraskan beban pemakaian sebanyak mungkin dengan hasil produksi, maka daya yang diimpor dapat diminimalkan dan memaksimalkan konsumsi dari yang dihasilkan sistem yang berarti nilai pengambilan investasi dapat dicapai lebih cepat melalui penghematan energi listrik.

2.5 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Ini berfungsi kebalikan dari konverter (adaptor) yang mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Dalam sistem tenaga surya, inverter berperan sebagai pengatur tenaga listrik dan sistem kontrol yang mengubah arus DC yang dihasilkan oleh modul surya menjadi listrik AC. Sumber arus DC untuk inverter bisa berupa baterai atau sel surya. Gelombang yang dihasilkan oleh inverter dapat berupa gelombang persegi, gelombang sinus, gelombang sinus yang dimodifikasi, atau gelombang modulasi pulsa lebar, tergantung desain inverter tersebut. Gelombang yang paling umum digunakan adalah gelombang sinus dan gelombang sinus yang dimodifikasi. Frekuensi listrik yang dihasilkan biasanya sekitar 50 Hz atau 60 Hz dengan tegangan output sekitar 120 V atau 240 V (Elfridus et al., 2020).

Jenis jenis inverter pada PLTS ada dua yaitu stand-alone Solar Panel dan inverter on grid sistem.

1. Stand-Alone Solar Panel

Inverter ini adalah jenis solar inverter yang berfungsi mengubah arus DC yang berasal dari panel surya atau baterai menjadi arus AC. Jenis

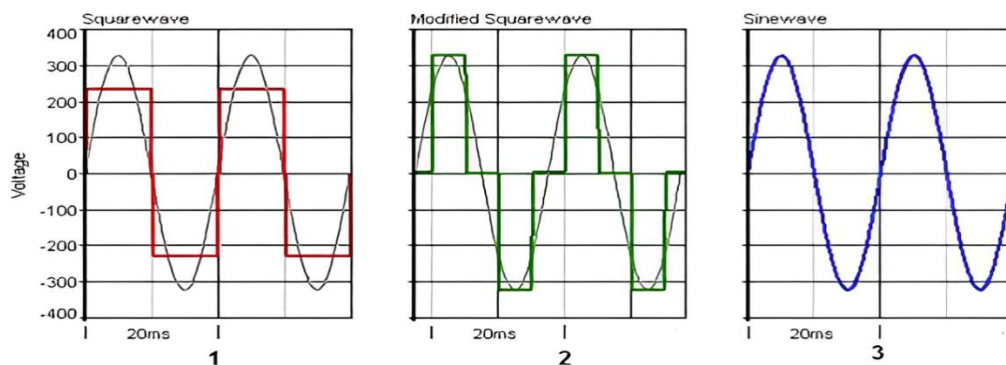
inverter ini banyak digunakan untuk sistem off grid dan dapat berfungsi tanpa harus terkoneksi dengan jaringan listrik lainnya. Untuk dapat berfungsi secara optimal, jenis inverter ini harus digunakan berdampingan dengan Solar Charge Controller (SCC), baik tipe PWM ataupun MPPT, Sebuah alat berfungsi untuk mengatur charge dan discharge sebuah sistem listrik surya.

2. Inverter On Grid sistem

Inverter ini memiliki fungsi yang sama dengan stand-alone solar inverter, namun sumber utama arus DC nya adalah hanya solar panel dan hanya dapat berfungsi hanya jika terhubung dengan jaringan listrik utama (PLN) (Ramadhana et al., 2022).

Penggunaan inverter antara lain saat diperlukan arus bolak-balik tetapi hanya tersedia arus searah yang berasal dari baterai (accumulator) atau panel surya. Inverter dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk gelombang keluarannya (Irwansi, 2022):

1. Squarewave
2. *Modified Squarewave*
3. *Pure Sinewave*



Gambar 6. Gelombang keluaran inverter (Irwansi, 2022)

2.6 Baterai / Aki

Secara umum, baterai adalah komponen yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Aki (baterai) berfungsi sebagai penyimpan energi yang diisi oleh arus DC dari panel surya, serta menyimpan tenaga DC. PLTS memerlukan media penyimpanan energi dengan kepadatan energi dan daya yang tinggi. Untuk penyimpanan jangka pendek hingga menengah, baterai merupakan teknologi

penyimpanan yang paling umum. Baterai memiliki kepadatan energi dan daya yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan penyimpanan harian pada sistem PV berukuran kecil dan menengah. Baterai digunakan di panel surya untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan pada siang hari atau saat panel mendapat cahaya matahari, dan energi ini dapat digunakan oleh beban pada malam hari atau sebagai sumber cadangan energi listrik (Elfridus et al., 2020).

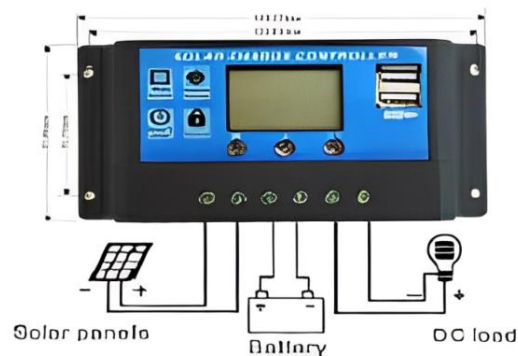
Baterai dibuat dari sejumlah elemen yang terpisah-pisah, lalu disatukan dalam sebuah kotak yang terbuat dari karet keras atau plastik. Komponen dasar masing-masing sel membentuk pelat-pelat positif dan negative. Beberapa pelat positif dan beberapa pelat negatif saling dihubungkan menjadi kelompok-kelompok pelat. Pada beberapa baterai, pada kelompok pelat negatif jumlahnya lebih banyak satu pelat daripada sekelompok pelat positif (Irwansi, 2022).



Gambar 7. Baterai (aki) (Elfridus et al., 2020)

2.7 Solar Charger Controller

Solar charge controller berfungsi untuk mengatur arus dan tegangan pengisian baterai guna mencegah overcharging (kelebihan pengisian baterai) dan overvoltage (kelebihan tegangan) dari panel surya. Ketika baterai sudah penuh, solar charge controller akan menghentikan proses pengisian dari modul surya ke baterai dan akan mengisi kembali setelah kapasitas baterai berkurang sekitar 5% dari kapasitas maksimum. Overvoltage dan overcharging dapat mengurangi umur baterai. Tanpa solar charge controller, baterai bisa rusak akibat overcharging dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya diisi pada tegangan 14-14,7 V (Elfridus et al., 2020).



Gambar 8. Solar charger controller (Elfridus et al., 2020)

2.8 Komponen Sistem Kontrol

2.8.1 Arduino

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open source*, diturunkan dari *wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Softwarentya* memiliki bahasa program sendiri, sedangkan Arduino Uno adalah papan sirkuit berbasis mikrokontroler. IC (*integrated circuit*) ini memiliki 4 input/output, Koneksi USB, soket adaptor, *pin header* ICSP, dan tombol reset. Hal inilah yang dibutuhkan untuk mensupport mikrokontrol secara mudah terhubung dengan kabel *power* USB atau kabel *power supply* adaptor AC ke DC atau juga *battery*. sehingga Arduino Uno dipilih sebagai rangkaian pengontrol semua sistem (Nurharsanto & Prayitno, 2017).

Berbagai papan Arduino menggunakan tipe ATmega yang berbeda-beda tergantung dari spesifikasinya. Untuk microcontroller yang digunakan pada arduino uno sendiri jenis ATmega328, sebagai otak dari pengendalian sistem alat. Arduino uno sendiri merupakan kesatuan perangkat yang terdiri dari berbagai komponen elektronika dimana penggunaan alat sudah dikemas dalam kesatuan perangkat yang dibuat oleh pemroduksi untuk di perdagangkan. Arduino dikatakan open source karena sebuah platform dari physical computing. Platform di sini adalah sebuah alat kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan IDE (Integrated Development Environment) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng compile menjadi kode biner dan meng-upload ke dalam memory microcontroller. Arduino, selain itu juga ada banyak modul-modul pendukung untuk bisa disambungkan dengan Arduino (M. A. Hasan, 2021).

Arduino UNO adalah sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO mempunyai 14 pin digital input/output (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Berikut merupakan konfigurasi pin pada Arduino UNO:

1. USB Connector, untuk menghubungkan Arduino dengan computer
2. Power Jack, tegangan input untuk menghidupkan Arduino
3. IC ATMEGA328, IC Microcontroler keluaran ATMEL dengan *boothloader* Arduino Uno
4. I/O Digital, Header yang dipergunakan untuk input dan output digital, pada pin 3,5,6,9,10,11 memiliki tanda (~) menunjukkan bahwa pin tersebut selain memiliki fasilitas I/O Digital juga memiliki PWM (Pulse Width Modulation)
5. Input Analog, digunakan untuk input data sensor, potensiometer dan perangkat analog input lainnya
6. Power, digunakan untuk mengambil power 5V, 3,3V, dan GND



Gambar 9. Bentuk fisik Arduino Uno (M. A. Hasan, 2021)

2.8.2 Sensor PZEM-004T

PZEM-004T adalah sebuah modul elektronik yang berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, frekuensi, energy dan power factor. Dengan kelengkapan fungsi ini, maka modul PZEM-004T sangat ideal untuk digunakan sebagai proyek maupun eksperimen alat pengukur daya pada sebuah jaringan listrik seperti rumah atau gedung. Modul PZEM-004T diproduksi oleh sebuah perusahaan bernama Peacefair, ada yang model 10 ampere dan 100 ampere.

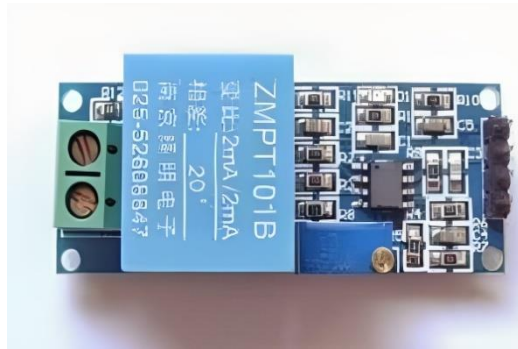


Gambar 10. Sensor PZEM-004T (Ibrahim, Ridyandhika Riza , Bekti Yulianti, 2022)

PZEM-004T adalah sensor yang digunakan untuk mengukur tegangan, arus, dan daya aktif yang dapat dihubungkan dengan NodeMCU atau platform open-source lainnya. Ukuran fisik papan PZEM-004T adalah 3,1 x 7,4 cm. Modul PZEM-004T dilengkapi dengan kumparan trafo arus berdiameter 3mm yang mampu mengukur arus maksimal hingga 100A. Agar dapat berfungsi, modul sensor PZEM-004T perlu dihubungkan dengan sumber tegangan AC sehingga nilai daya dan energy listrik dapat diukur. Sesuai datasheet, modul sensor PZEM-004T memiliki prinsip kerja yaitu bekerja pada tegangan 80~260 VAC, tegangan test yaitu 80~260 VAC, daya 100 A/22.000 W, dan frekuensi 45~65Hz(Ibrahim, Ridyandhika Riza , Bekti Yulianti, 2022).

2.8.3 Sensor ZMPT101B

Sensor ZMPT101b merupakan sensor yang digunakan untuk melakukan monitoring terhadap parameter tegangan, serta dilengkapi keunggulan memiliki sebuah ultra micro voltage transformer, akurasi tinggi dan konsistensi yang baik untuk melakukan pengukuran tegangan. Pengukuran tegangan AC dapat dilakukan dengan cara dirubah menjadi DC agar lebih mudah dibaca oleh mikrokontroler. Sensor tegangan ZMPT101B telah dilengkapi summing-amplifier sehingga dapat digunakan untuk menaikkan tegangan negatif sehingga baik untuk pengukuran tegangan dengan menggunakan mikrokontroler.



Gambar 11. Sensor tegangan ZMPT101B (Syafuruddin et al., 2021)

2.8.4 Voltage Sensor

Sensor tegangan adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan peralatan listrik. Sensor tegangan memiliki rangkaian pembagi tegangan yang sesuai prinsip tahanan, tekanan dan dapat mereduksi tegangan masukan sebanyak 5 kali lipat dari tegangan semula. Maksimum tegangan masukan analog dari mikrokontroler adalah 5 volt, sehingga tidak lebih dari 5×5 volt atau 25 volt yang dapat dialirkan ke modul sensor tegangan. Jika tegangan melebihi batas ini, Arduino akan rusak (Said, 2022).



Gambar 12. Sensor tegangan (Amalia Azahra & Waskita, 2022)

2.8.5 Sensor arus ACS712

ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan yang digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil



Gambar 13. Sensor arus ACS712 (Syafuruddin et al., 2021)

2.8.6 Relay 2 channel

Relay merupakan sebuah saklar (switch) yang dioperasikan menggunakan listrik dan merupakan komponen elektromekanikal, pada relay terdapat dua bagian utama yaitu bagian elektromagnet (*coil*) dan bagian mekanikal yang berupa saklar/switch. Cara kerja relay yaitu menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar/switch sehingga dengan arus yang kecil dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi (Prasetyo et al., 2023). Perbedaan dengan saklar yaitu pergerakan kontaktor pada saklar untuk kondisi on atau off dilakukan manual tanpa perlu arus listrik sedangkan relay membutuhkan arus listrik (Syafuruddin et al., 2021).

Relay 2 channel dengan desain pengontrol 2 *relay* yang sangat sederhana, compatible dengan Arduino mega 2560 dengan langsung menyambungkan ke papan Arduino menggunakan jumper fleksibel, dan memanfaatkan karakteristik relay yang dipasang pada modul dan melalui dua pin I/O digital Arduino, berfungsi sebagai saklar penghubung/ pemutus (Budyanto et al., 2021).



Gambar 14. Bentuk fisik *relay* 2 channel

2.9 Beban Listrik

Beban listrik merupakan beban yang membutuhkan daya/tenaga listrik dan ditanggung oleh pembangkit listrik. Dalam keseluruhan sistem tenaga listrik, total daya merupakan jumlah penggunaan daya aktif maupun daya reaktif oleh beban listrik, sehingga total beban listrik merupakan total daya yang telah dikonsumsi oleh beban listrik yang aktif. Pemilihan beban listrik akan mempengaruhi jumlah pemakaian listrik. Beban listrik dikenal sebagai suatu hambatan atau resistan pada suatu rangkaian listrik, dimana mempunyai hubungan dengan tegangan dan arus listrik seperti yang disebutkan pada hukum Ohm. Dimana arus akan berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan, karena dapat menghalangi aliran arus (Jumadi, 2015).

Secara umum, karakteristik beban listrik dalam listrik arus ac terbagi menjadi tiga macam antara lain sebagai berikut (Jumadi, 2015):

a. Beban Resistif (R)

Beban resistif merupakan beban yang hanya terdiri dari komponen ohm (*resistance*). Semua komponen listrik yang termasuk beban resistif bekerja berdasarkan prinsip dari resistor, yaitu menghambat arus listrik dan menimbulkan panas. Beban ini juga mempunyai ciri-ciri yaitu daya yang dikonsumsi adalah daya aktif dan mempunyai faktor daya bernilai satu. Contoh dari beban resistif ini adalah elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar. Secara matematis beban resistif dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = V \times I \quad (3)$$

dimana:

P = daya aktif (Watt)

V = tegangan (Volt)

I = arus (Ampere)

b. Beban Induktif (L)

Beban induktif adalah beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti besi seperti transformator, *coil*, dan solenoid. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga arus akan tertinggal (*lagging*) sebesar 90° terhadap tegangan.

Hal ini diakibatkan karena beban ini menyimpan energi berupa medan magnetis yang akan membuat pergeseran fasa pada arus menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban induktif menyerap daya aktif dan daya reaktif. Contoh dari beban ini dalam kehidupan sehari-hari adalah motor listrik, mesin las, lampu hemat energi, dan lain-lain. Secara matematis, beban induktif dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = V \times I \cos \varphi \quad (4)$$

c. Beban Kapasitif (C)

Beban kapasitif merupakan beban dengan kemampuan kapasitansi atau menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical discharge*) pada suatu rangkaian listrik. Sehingga beban ini dapat mengakibatkan arus mendahului tegangan (*leading*). Beban ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Komponen listrik yang termasuk jenis beban kapasitif adalah kapasitor atau kondensator. Secara matematis, persamaan beban kapasitif dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = V \times I \cos \varphi \quad (5)$$

2.10 Penelitian Yang Relevan

Dalam penyusunan skripsi ini penulis mengambil beberapa referensi dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan latar belakang masalah pada skripsi ini. Setiap penelitian yang diuraikan pada tabel memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing yang harus terus dikembangkan.

Tabel 1. Penelitian yang relevan

Referensi	Judul Penelitian	Hal yang dicapai	Perbedaan dengan penelitian yang diajukan
(Surahman, 2024)	Rancang Bangun Sistem Kontrol PLTS Menggunakan Arduino Uno	Penelitian ini membahas tentang Perancangan sistem kontrol PLTS yang dapat bekerja secara hybrid dengan sistem PLN dilakukan dengan menggunakan Arduino Uno bagaisistem mikrocontroller, relai sebagai pengatur yang menghubungkan atau memutus sumber listrik.	Penelitian yang diajukan menggunakan 3 gabungan sumber pembangkit listrik yaitu PLTS, PLTB sebagai sumber listrik utama dan PLTD sebagai Sumber Listrik backup selain itu beberapa komponen yang digunakan berbeda
Indrianto, Onki Nur 2021	Sistem Kontrol dan Monitoring Automatic Transfer Switch (ATS) Model Hybrid Berbasis Internet of Things	Penelitian ini membahas perancangan sistem control hybrid PLTS dan PLN berbasis IOT	Penelitian yang di ajukan membahas tentang pembuatan sistem kontrol hybrid PLTS,PLTB dan PLTD (genset).Dimana PLTS dan PLTB sebagai sumber utama dan PLTD sebagai sumber backup
(Purwanto, 2021)	Pengembangan Sistem Pengaturan Suplai Beban (Ats) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Berbasis Mikrokontroler	Penelitian ini membahas tentang perancangan sistem hybrid PLTS dan PLN dengan metode ATS	Penelitian yang di ajukan membahas tentang pembuatan sistem kontrol hybrid PLTS,PLTB dan PLTD (genset).Dimana PLTS dan PLTB sebagai sumber utama dan PLTD sebagai sumber backup dengan metode ATS