

**OPTIMALISASI TRACKING SISTEM OTOMATIS UNTUK
MENGHASILKAN ENERGI MAKSIMAL PADA
PANEL SURYA MENGGUNAKAN
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)**

**(APLIKASI BALAI BESAR PENGEMBANGAN PENJAMINAN MUTU
PENDIDIKAN VOKASI BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK MEDAN)**

TESIS

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik (M.T)
Dalam Bidang Ilmu Teknik Elektro

Oleh :

TUKIMAN
NPM : 1920080008



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

PENGESAHAN

Optimalisasi Tracking Sistem Otomatis Untuk Menghasilkan Energi Maksimal Pada Panel Surya Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)

(Aplikasi Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik Medan)

Tukiman

1920080008

Program Studi: Magister Teknik Elektro

Tesis ini telah dipertahankan di hadapan Komisi Penguji yang dibentuk oleh Program Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Dinyatakan Lulus dalam Ujian Tesis dan Berhak Menyandang Gelar Magister Teknik Elektro (MT) Pada Hari, Senin Tanggal 21 Maret 2022”

Komisi Penguji

1. Assoc.Prof. Dr. Ir. Syafruddin Hasan, M.Sc

Ketua

1.....

2. Assoc. Prof. Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc

Sekretaris

2.....

3. Rohana, ST, M.T

Anggota

3.....

PENGESAHAN TESIS

Nama : **Tukiman**
Nomor Pokok Mahasiswa : 1920080008
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Konsentrasi : Manajemen Energi Listrik
Judul Tesis : Optimalisasi Tracking Sistem Otomatis Untuk Menghasilkan Energi Maksimal Pada Panel Surya Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)
(Aplikasi Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik Medan)

Pengesahan Tesis :

Medan, 21 Maret 2022

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T

Pembimbing II

Assoc. Prof. Dr. M. Fitra Zambak, M.sc

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Diketahui :

Direktur

Prof. Dr. Triono Eddy, S.H., M.Hum .

Ketua Program Studi

Assoc. Prof . Dr. Ir. Suwarno, M.T.

PERNYATAAN

Optimalisasi Tracking Sistem Otomatis Untuk Menghasilkan Energi Maksimal Pada Panel Surya Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)

(Aplikasi Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik Medan)

Dengan ini penulis menyatakan bahwa:

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara benar merupakan hasil karya penulis sendiri.
2. Tesis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doctor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara maupun di perguruan tinggi lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komisi Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
4. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. Pernyataan ini saya tulis dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau Sebagian tesis ini bukan hasil karya penulis sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, penulis bersedia menerima sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Medan, 21 Maret 2022

Penulis



TUKIMAN

NPM : 1920080008

ABSTRAK

Optimalisasi Tracking Sistem Otomatis Untuk Menghasilkan Energi Maksimal Pada Panel Surya Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)

(Aplikasi Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik Medan)

**Tukiman
Program Studi Magister Teknik Elektro**

Solar sel adalah pengubah energi matahari menjadi tenaga listrik. Dalam sistem solar sel mempunyai tiga pengembangan teknologi untuk mengoptimalkan kinerjanya, yaitu teknologi bahan penyusun *Photovoltaic* (PV), teknologi charging melalui kecerdasan *solar charger controller* dan baterai, serta sistem kendali posisi untuk meningkatkan efisiensi penangkapan intensitas cahaya matahari. Posisi matahari yang selalu berubah terhadap permukaan bumi mengakibatkan solar sel hanya akan bekerja optimal pada siang hari saja. Untuk mengoptimalkan kinerja solar sel dapat dilakukan dengan pengaturan posisi permukaan solar sel selalu tegak lurus terhadap arah datangnya matahari sehingga meningkatkan perolehan energi listrik. Penelitian ini membahas tentang sistem kendali posisi untuk menggerakkan solar sel secara akurat pada sumbu Timur-Barat sesuai pergeseran matahari menggunakan motor DC serta smart relay SR3B101BD dengan input analog untuk mengendalikan motor dalam mencapai posisi yang diinginkan. Sistem membutuhkan pendeteksi perubahan intensitas cahaya matahari, dalam rancangan ini digunakan 2 LDR (*Light dependent resistance*) untuk menghasilkan error dan akan diproses dalam pemrograman FBD. Data analog yang dikeluarkan oleh LDR diubah ke data digital terlebih dahulu untuk dihitung untuk menentukan perputaran kanan dan kiri. Dari hasil menunjukkan bahwa kendali posisi otomatis solar sel mampu menggerakkan solar sel dengan resolusi 280° untuk Timur-Barat dan meningkatkan kinerja 0,34A (10,3 %) untuk arus serta setelah dikurangi konsumsi daya motor meningkatkan energi sebesar 31,276 Wh (9,58 %) dengan lama pengambilan data selama 8 jam pukul 08.00 sd 16.00 WIB.

Kata kunci: solar sel, smart relay, kendali posisi

ABSTRACT

Optimization of Automatic Tracking System To Produce Maximum Energi in Solar Panel Using Programmable Logic Controller

(Application of the Center for the Development of Qualiyt Assurance for Vocational Education in the Field of Buiding and Electricity in Medan)

Tukiman

Master of Elektrical Engineering Study Program

Solar cells the converter of solar energy into electrical power. The solar cell system has three technological developments to optimize its performance, namely Photovoltaic (PV) building material technology, charging technology through intelligent solar charger controllers and batteries, and a position control system to increase the efficiency of capturing sunlight intensity. The position of the sun which is always changing with respect to the earth's surface causes solar cells to only work optimally during the day. To optimize the performance of solar cells, it can be done by setting the surface position of the solar cells to always be perpendicular to the direction of the sun, thereby increasing the acquisition of electrical energy. This study discusses the position control system to move the solar cell accurately on the East-West axis according to the sun's shift using a DC motor and a SR3B101BD smart relay with analog input to control the motor in achieving the desired position. The system requires detecting changes in sunlight intensity, in this design 2 LDR (Light dependent resistance) are used to generate errors and will be processed in FBD programming. Analog data issued by the LDR is converted to digital data first to be calculated to determine the right and left rotation. The results show that the automatic position control of the solar cell is able to drive the solar cell with a resolution of 280° for East-West and increase the performance of 0.34A (10.3%) for current and after deducting motor power consumption it increases energy by 31,276 Wh (9.58%) with the length of data collection for 8 hours from 08.00 to 16.00 pm.

Keywords: solar cell, smart relay, position control

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat dan karuniaNya, penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis ini dengan judul **“Optimalisasi Tracking Sistem Otomatis Untuk Menghasilkan Energi Maksimal Pada Panel Surya Menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC)” (Aplikasi Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik Medan)**. Adapun tesis ini disusun untuk memenuhi syarat penyelesaian pendidikan Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam penulisan tesis ini penulis sadar akan keterbatasan dan kemampuan yang ada, namun walaupun demikian penulis berusaha agar tesis ini sempurna sesuai dengan yang diharapkan dan penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini tidak mungkin terlaksana tanpa bantuan, dorongan, bimbingan, serta arahan dari berbagai pihak baik sifatnya moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Prof. Dr. Triono Eddy, SH., M.Hum., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Assoc. Prof. Dr. Suwarno. M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Dosen Pembimbing Pertama yang sudah banyak membantu memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.
4. Bapak Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, ST., M.Sc., selaku Wakil Direktur Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Dosen Pembimbing kedua yang sudah banyak membantu memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.

5. Ibu Rohana, ST., MT., selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang sudah banyak membantu memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.
6. Seluruh dosen dan staf pasca sarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran keseluruhan proses pendidikan dan selalu sabar melayani.
7. Orang tua tercinta yang sepenuh hati memberikan motivasi dan support kepada penulis
8. Istri dan anak-anak tercinta yang sepenuh hati memberikan motivasi dan support kepada penulis selama kuliah hingga selesainya penulisan tesis ini.
9. Teman-teman seperjuangan di Program Magister Teknik Elektro, terima kasih atas dukungan dan kerjasamanya.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua, serta penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhir kata, penulis mengucapkan banyak terima kasih dan semoga Allah SWT senantiasa memberkahi.

Medan, Maret 2022

Penulis

TUKIMAN
NPM: 1920080008

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1 Radiasi Matahari	8
2.1.2 Rotasi Bumi.....	9
2.1.3 Gerakan Semu Matahari.....	10
2.1.4 Panel Surya	11
2.1.5 Solar Charger Controller.....	16
2.1.6 Baterai	17
2.1.7 LDR (Light Dependent Resistor)	19
2.1.8 PLC (Programmable Logic Controller)	21
2.1.9 Smart Relay	24
2.1.10 Pemrograman FBD (Function Block Diagram).....	30
2.1.11 Relay	31
2.1.12 Limit Switch.....	32
2.1.13 Motor DC	33
2.2 Kerangka Berpikir.....	37

BAB 3 METODE PENELITIAN.....	39
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	39
3.2 Alat dan Bahan.....	39
3.3 Data Penelitian	40
3.4 Rancangan Penelitian.....	41
3.5 Teknik Analisis Data	48
3.6 Diagram Alir Penelitian	49
3.7 Bentuk dan Strategi Penelitian.....	50
3.8 Teknik Pengumpulan Data	51
BAB 4 PENGUJIAN ALAT DAN ANALISA	53
4.1 Pengujian Output Sensor Perubahan Intensitas Cahaya	53
4.2 Pengujian Hasil Konversi ADC terhadap Posisi Perubahan Matahari	54
4.3 Pengukuran Perbandingan Daya Tangkap Solar Sel Bergerak Terhadap Solar Sel Diam	55
4.4 Pengujian Mekanik dan Motor DC.....	57
4.5 Efisiensi yang diperoleh sistem solar sel menggunakan pengikut posisi matahari	59
BAB 5 PENUTUP.....	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	67

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Tabel input dan output smart relay	44
Tabel 3.2. Antarmuka pin smart relay dan driver relay motor	46
Tabel 4.1. Tabel pengujian output LDR	54
Tabel 4.2. Data Output ADC berdasarkan perubahan posisi matahari	55
Tabel 4.3. Tabel perbandingan solar sel statis dan solar sel	56
Tabel 4.4. Pengujian sudut kemiringan dan perputaran mekanik	58
Tabel 4.5. Rata rata perolehan arus dan tegangan	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Gerak semu matahari sepanjang tahun	11
Gambar 2.2. Sistem Panel Surya	12
Gambar 2.3. Panel surya Monocrystalline silicon	13
Gambar 2.4. Panel surya Polycrystalline	13
Gambar 2.5. Panel Surya Amorphous/Thin Film.....	14
Gambar 2.6 Solar Charger Controller	17
Gambar. 2.7. Light Dependent Resistor.....	20
Gambar. 2.8. Smart Relay	25
Gambar. 2.9. CPU (Central Processing Unit) smart relay	27
Gambar. 2.10. Prinsip kerja smart relay.....	28
Gambar 2.11. Bagian-bagian lembar kerja FBD pada Zelio Soft.....	31
Gambar. 2.12. Jenis- jenis relay	32
Gambar 2.13. Limit Switch.....	33
Gambar 2.14. Motor DC	34
Gambar 2.15. Prinsip Kerja Motor DC	36
Gambar 2.16 Bagian-Bagian Motor DC	37
Gambar 2.17 Kerangka Berfikir.....	38
Gambar 3.1 Sensor perubahan intensitas cahaya	43
Gambar 3.2 Desain sensor tampak atas	44
Gambar 3.3 Photo design sensor perubahan intensitas cahaya	44
Gambar 3.4 Rangkaian pengendali Smart Relay	44
Gambar 3.5. Skematik driver motor dengan motor DC.....	46
Gambar 3.6. Skematik dan letak limit switch sebagai sensor batas.....	47
Gambar 3.7. Diagram blok perancangan software.....	48
Gambar 3.8. Flowchart cara kerja system	49
Gambar 3.9. Alur Penelitian.....	50

Gambar 3.10. Diagram blok model prototype	51
Gambar 4.1. Bagian bagian mekanik penggerak solar sel	57
Gambar 4.2. Hasil uji kemiringan maksimum untuk batas Timur (Kanan) dan Barat (Kiri).....	58
Gambar 4.3. Grafik Arus (I) Statis terhadap waktu	59
Gambar 4.4. Grafik Arus (I) dinamis terhadap waktu	60
Gambar 4.5. Grafik Tegangan (V) statis terhadap waktu	60
Gambar 4.6. Grafik Tegangan (V) dinamis terhadap waktu.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

1. Rancangan pemograman sistem tracking dengan menggunakan FBD	67
2. Diagram perancangan	68
3. Hasil perancangan alat	69

BABI

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sumber energi terbarukan memainkan peran penting dalam pembangkit tenaga listrik. Ada berbagai sumber terbarukan yang digunakan untuk pembangkit tenaga listrik, seperti energi surya, energi angin, panas bumi. Solar Energi adalah pilihan yang baik untuk pembangkit tenaga listrik, karena energi surya secara langsung diubah menjadi energi listrik oleh modul surya fotovoltaik. Modul ini terdiri dari sel-sel silikon. Banyak sel-sel tersebut dihubungkan secara seri untuk mendapatkan modul *Photovoltaic* (PV) surya. Nilai arus modul meningkat ketika penangkapan sinar matahari meningkat, dan sebaliknya. Ketika banyak modul PV tersebut dihubungkan secara seri dan paralel kombinasi mendapatkan array PV yang cocok untuk memperoleh output daya yang lebih tinggi.

Konsep yang sederhana dimiliki oleh Solar Cell dimana proses perubahan bentuk energi dari energi tenaga surya menjadi energi listrik. Seperti diketahui bahwan tenaga surya, merupakan suatu energi yang ditimbulkan dari alam. Aktifitas Solar cell dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari sesuai dengan kapasitas alat yang diinstalasikan guna pemenuhan kebutuhan. Melalui konsep ini, sering digaungkan bahwa sistem solar sel sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan. (Rislima, 2011). Melalui sistem solar cell yang digunakan terdiri dari panel solar cell, serangkaian sistem kontroler pengisian (charge controller), dan penampung arus (batere) 12 volt yang bebas perawatan.

Aplikasi untuk energi surya dalam beberapa tahun terakhir meningkat pesat, dan yang perlu untuk ditingkatkan adalah materi dan metode yang digunakan untuk memanfaatkan sumber daya ini. Faktor utama yang mempengaruhi efisiensi proses pengumpulan adalah efisiensi sel surya, intensitas radiasi sumber dan teknik penyimpanan. Efisiensi sel surya dibatasi oleh bahan yang digunakan dalam pembuatan sel surya. Hal ini sangat sulit untuk melakukan perbaikan yang cukup besar dalam kinerja sel, dan karenanya membatasi efisiensi proses pengumpulan keseluruhan. Oleh karena itu, peningkatan intensitas radiasi yang diterima dari matahari adalah salah satu metode untuk meningkatkan kinerja tenaga surya. Ada tiga pendekatan utama untuk memaksimalkan ekstraksi daya di sistem surya sel. Mereka adalah pelacakan matahari, *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) atau keduanya.

Pada penelitian ini memanfaatkan sistem kendali terprogram standar industri yaitu smart relay dari schneider dengan input digital dan analog. Smart relay nantinya akan berfungsi secara terus menerus membaca sensor *Light Dependent Resistance* (LDR) sebagai bagian yang peka terhadap cahaya, dua LDR dibutuhkan untuk mengoreksi posisi solar sel tegak lurus terhadap matahari. Motor DC diperlukan untuk memutar mekanik kekanan dan kekiri untuk mengarahkan posisi solar sel tegak lurus dengan matahari sepanjang hari.

Sistem pengikut Matahari ini sudah pernah dibuat oleh dua peneliti sebelumnya dengan menggunakan kontrol analog tanpa program, aktuator dengan motor DC dan menggunakan kontrol digital terprogram dengan algoritma Proportional Derivatif (PD), menggunakan aktuator motor DC dengan PWM. Dengan sistem ini sudah berhasil membuat pengikut matahari menggunakan

kontrol tanpa program, namun mempunyai kelemahan antara lain tidak dapat secara tepat mengikuti perpindahan posisi matahari, sehingga tingkat efisiensi penyerapan sinar matahari tidak optimal. Untuk memperbaiki masalah yang ditimbulkan dalam dua penelitian di atas, maka peneliti berupaya untuk mengembangkan sebuah sistem Penjejak Matahari yang lebih tepat dalam mengenal dan mendeteksi kedudukan Matahari, dengan perubahan posisi yang tepat dan sesuai dengan pergerakan matahari.

Penelitian ini membahas tentang rancang bangun sistem pelacakan matahari untuk sistem pembangkit listrik tenaga surya dirancang secara real time. Mekanisme pelacakan terdiri dari modul mekanik, PV, motor, sensor, input/output antarmuka dan smart relay, hal ini bertujuan untuk melacak matahari dan menjaga sel surya selalu menghadapi matahari di sebagian besar waktu dalam sehari.

1.2. Rumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang diatas, maka dapat dihasilkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang tracking system otomatis untuk menghasilkan energi maksimum pada panel surya menggunakan PLC?
2. Bagaimana menganalisis tracking system otomatis dalam menghasilkan energi maksimum pada panel surya menggunakan PLC?

1.3. Batasan Masalah

Dalam perencanaan dan pembuatan tesis ini perlu dilakukan pembatasan masalah. Pembatasan masalah yang diajukan dalam tesiss ini adalah:

1. Sistem pengendali menggunakan Smart Relay SR3B261BD
2. Motor yang digunakan adalah motor DC (motor wifer)
3. Driver Motor DC menggunakan relay pembalik polaritas
4. Tidak membahas pembuatan mekanik
5. Komponen pendeteksi menggunakan 2 buah LDR
6. Bahasa Pemrograman menggunakan ladder diagram/ Function Block Diagram
7. Tidak membahas pembuatan solar sel

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rancang bangun tracking system otomatis untuk menghasilkan energi maksimum pada panel surya menggunakan PLC
2. Menganalisis keluaran energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan menggunakan tracking system otomatis.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini meliputi beberapa aspek yaitu:

1. Aspek ekonomi yaitu pemanfaatan sumber daya alam yang sudah ada sebagai salah satu energi terbarukan dalam hal ini PLTS.
2. Aspek pemanfaatan adalah menghasilkan otomatis kontrol pada sisi perubahan dan jarak gerak panel untuk mendapatkan cahaya matahari secara berjarak dengan selang waktu terukur dan menghasilkan penyerapan energi yang optimal dari matahari.
3. Aspek pendidikan menambah wawasan tentang seberapa besar Arus dan Tegangan yang dihasilkan dan dibandingkan dengan kedudukan statis dan dinamis. Dan dapat dilanjutkan sebagai refensi penelitian berikutnya.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Sistem Pengikut Matahari adalah sebuah sistem yang bekerja untuk mendeteksi posisi matahari. Posisi Matahari yang tepat diperlukan untuk proses optimalisasi pengisian solar sel. Solar sel biasa digunakan untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Dengan mengetahui posisi matahari yang tepat, maka papan solar sel akan mampu menangkap cahaya lebih banyak dari pada hanya dalam posisi diam [1].

Sistem pengikut Matahari atau system yang bekerja mendeteksi arah gerak matahari ini sudah pernah dibuat oleh peneliti sebelumnya, yaitu:

1. Hery Soejendro, sistem pengikut matahari menggunakan kontrol analog tanpa program, aktuator dengan motor DC tanpa PWM [2]. Dengan sistem ini sudah berhasil membuat pengikut matahari menggunakan kontrol tanpa program, namun mempunyai kelemahan yaitu:
 - a. Tidak dapat secara tepat mengikuti perpindahan posisi matahari, sehingga tingkat efisiensi penyerapan sinar matahari tidak optimal;
 - b. Masih Menggunakan rangkaian pembanding analog menggunakan op- amp;
 - c. Output menggunakan motor DC dengan cara pengendalian on-off tanpa pengaturan sistem kecepatan putaran sehingga gerakan kasar;
 - d. Saat sistem menemukan matahari, belum ada sistem stand by untuk menghemat arus;
 - e. Lebar sudut gerakan mekanik dari posisi timur-barat dan utara-selatan belum lebar;

2. Taofik Triwibowo, Sistem Pengikut Matahari yang dibuat menggunakan kontrol digital terprogram dengan algoritma Proportional Derivatif (PD), menggunakan aktuator motor DC dengan PWM [3]. Adapun kelemahan sistem ini adalah:
 - a. Sistem kecerdasan menggunakan PID dengan output PWM.
 - b. Saat sistem menemukan matahari, belum ada sistem stand by untuk menghemat arus
 - c. Lebar sudut gerakan mekanik dari posisi timur-barat dan utara- selatan belum lebar
 - d. Sistem mekanik masih menggunakan tali dan sistem bandul sehingga masih banyak energi terbuang.
3. Nur Sultan Salahuddin, penelitian ini telah dirancang dan dibuat sebuah prototipe sistem kendali panel surya yang dapat bergerak dinamis mengikuti pergerakan sinar matahari dari arah timur menuju barat dan sistem Pengikut Matahari yang dibuat menggunakan control Mikrokontroler [4].

Untuk memperbaiki masalah yang ditimbulkan dalam dua penelitian di atas, maka peneliti berupaya untuk mengembangkan sebuah sistem Penjejak Matahari yang lebih tepat dalam mengenal dan mendeteksi kedudukan Matahari, dengan perubahan posisi yang tepat dan sesuai dengan pergerakan matahari. Dengan demikian, diharapkan tingkat efisiensi dari Sistem Penjejak Matahari yang dibuat dapat menjadi lebih baik. Untuk itu, peneliti menggunakan sistem kendali yang dapat merespon dengan tepat setiap perubahan kedudukan matahari. Setiap terjadi perubahan kedudukan matahari, maka sistem akan segera memberi umpan balik,

berupa perubahan posisi dan kedudukan modul panel surya tepat mengarah posisi matahari baik pada sumbu Timur-Barat.

2.1.1. Radiasi Matahari

Matahari memasok energi ke bumi dalam bentuk radiasi. Tanpa radiasi dari matahari, maka kehidupan di bumi tidak akan berjalan. Setiap tahunnya ada sekitar 3.9×10^{24} Joule $\sim 1.08 \times 10^{18}$ kWh energi matahari yang mencapai permukaan bumi, ini berarti energi yang diterima bumi dari matahari adalah 10.000 kali lebih banyak dari permintaan energi primer secara global tiap tahunnya dan lebih banyak dari cadangan ketersediaan keseluruhan energi yang ada di bumi.

Intensitas radiasi matahari diluar atmosfer bumi tergantung pada jarak antara bumi dengan matahari. sepanjang tahun, jarak antara matahari dengan bumi bervariasi antara $1,47 \times 10^8$ km sampai $1,52 \times 10^8$ km. Akibatnya, *irradiance* E_0 berfluktuasi antara 1.325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2 . Nilai rata-rata dari *irradiance* ini disebut dengan *solar constant* (konstanta surya). Konstanta Surya $E_0 = 1.367 \text{ W/m}^2$. Nilai konstan ini bukanlah besarnya radiasi yang sampai dipermukaan bumi. Atmosfir bumi mereduksi/ mengurangi radiasi matahari tersebut melalui proses pemantulan, penyerapan (oleh ozon, uap air, oksigen dan karbondioksida) dan penghamburan (oleh molekul-molekul udara, partikel debu atau polusi). Untuk cuaca yang cerah pada siang hari, irradiant yang mencapai permukaan bumi adalah 1.000 W/m^2 . Nilai ini relatif terhadap lokasi. Insolasi (energi radiasi) maksimum terjadi pada hari yang cerah namun berawan sebagian. Ini karena

pemantulan radiasi matahari oleh awan sehingga insolasi (energi radiasinya) dapat mencapai 1.400 W/m^2 untuk periode yang singkat.

2.1.2. Rotasi Bumi

Rotasi bumi adalah peredaran bumi mengelilingi sumbunya atau porosnya dari arah barat ke timur. Lamanya rotasi bumi disebut kala rotasi yaitu selama 23 jam 56 menit 4 detik (disebut satu hari). [5] Akibat perputaran bumi pada porosnya (rotasi bumi) maka akan terjadi beberapa peristiwa di bumi yaitu:

1. Terjadinya siang dan malam

Bagian bumi yang menghadap ke arah matahari ketika berputar pada porosnya akan mengalami siang, sebaliknya bagian bumi yang membelakangi matahari akan mengalami malam, dan hal ini terjadi secara bergantian yaitu panjang waktu siang dan malam rata-rata 12 jam. Perbedaan waktu siang dan malam akan menjadi lebih besar pada tempat-tempat yang jauh dari khatulistiwa. Dalam sekali putarannya, bumi menempuh sudut 360 derajat. Oleh karena itu, di seluruh permukaan bumi dapat dibuat 360 buah garis khayal yang membujur dari utara ke selatan. Garis yang membujur tersebut adalah garis bujur. Berdasarkan garis bujur inilah waktu di bumi ditetapkan. Misalnya, garis bujur yang melalui kota Greenwich, dekat London ditetapkan sebagai garis 0 derajat. Pada garis inilah waktu pangkal ditetapkan. Karena 360 derajat ditempuh dalam waktu 24 jam, maka setiap 1 jam bumi berputar sejauh 15 derajat. Oleh karena itu, garis bujur yang jauhnya 15 derajat atau kelipatan 15 derajat disebelah barat atau timur dari garis 0 derajat, dapat dipakai sebagai bujur standar. Adapun waktu pada bujur standar disebut waktu lokal atau waktu standar.

2. Terjadinya perbedaan waktu diberbagai tempat di muka bumi.

Orang-orang yang berada disebelah timur akan mengalami matahari terbit dan terbenam lebih dahulu. Hal ini dikarenakan bumi berputar dari arah barat ke timur. Daerah yang berada pada sudut 15 derajat lebih ke timur akan melihat matahari terbit lebih dahulu selama 1 jam, maka jika di Nusa Tenggara Barat matahari telah terbit, maka di Jakarta baru melihat matahari terbit satu jam setelahnya. Atau jika di Nusa Tenggara Barat pukul 06.00 WITA, maka di Jakarta baru pukul 05.00 WIB.

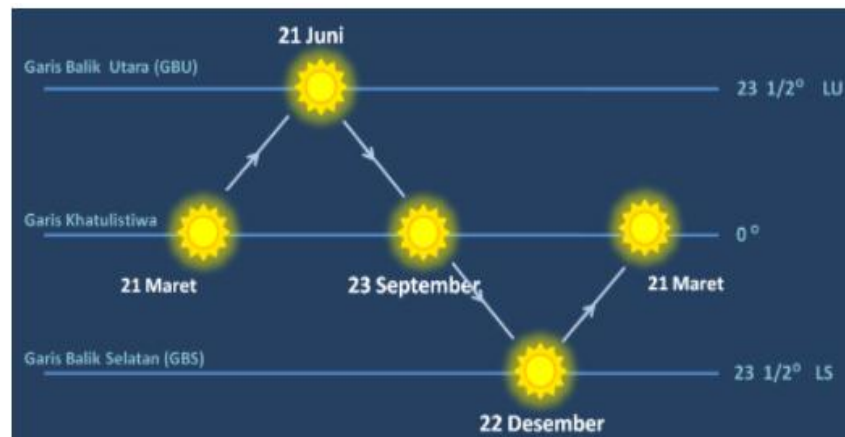
3. Gerak semu Harian Bintang

Akibat rotasi bumi maka yang ada di bumi melihat seolah olah mataharilah yang bergerak berputar dari timur kebarat mengelilingi bumi. Padahal yang terjadi sebenarnya adalah matahari tidak bergerak, tetapi bumilah bergerak berputar mengelilingi matahari dari barat ke timur. Gerak yang tidak sebenarnya ini dinamakan gerak semu harian bintang. Disebut gerak semu harian karena dapat mengamatinya setiap hari atau setiap saat.

2.1.3. Gerakan semu Matahari

Matahari tidak setiap saat berada di khatulistiwa. Pada Gambar 2.1 di bawah ditunjukkan bahwa pada tanggal 21 Maret, matahari berada di khatulistiwa untuk waktu tiga bulan (21 Maret-21 Juni), matahari mulai bergeser dari khatulistiwa menuju ke GBU (Garis Balik Utara = garis $23,5^{\circ}$ LU). Tiga bulan berikutnya (21 Juni– 23 September) matahari bergeser lagi dari GBU menuju ke khatulistiwa. Tiga bulan berikutnya lagi (23 September–22 Desember), matahari bergeser lagi dari khatulistiwa menuju ke GBS (Garis Balik Selatan = garis $23,5^{\circ}$ LS). Akhirnya,

tiga bulan berikutnya (22 Desember– 21 Maret), matahari bergeser lagi dari GBS menuju kembali ke khatulistiwa



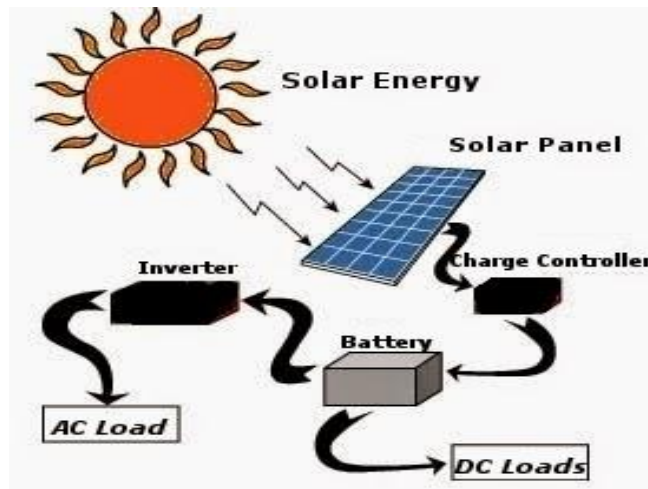
Gambar 2.1. Gerak semu matahari sepanjang tahun [5]
<https://insanpelajar.com/gerak-semu-tahunan-matahari/>

2.1.4. Panel Surya

Solar cell atau panel surya merupakan salah satu sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan pada masa yang akan datang, karena proses konversi energi yang dihasilkan panel surya tidak membuat polusi dan sumber energinya banyak tersedia, terlebih di negeri tropis seperti Indonesia yang menerima sinar matahari sepanjang tahun.

Panel surya adalah alat yang merubah sinar matahari menjadi listrik melalui proses aliran-aliran electron negative dan positif didalam cell modul tersebut dikarenakan perbedaan electron. Hasil dari electron-elektron akan menjadi listrik DC yang dapat langsung dimanfaatkan untuk pengisian battery/ aki sesuai tegangan dan ampere yang diperlukan. Secara umum sistem solar sel terdapat tiga komponen penting yaitu panel surya, solar charger kontroler, dan baterai. Cahaya matahari dari matahari diubah menjadi tegangan listrik oleh panel surya,

selanjutnya masuk *solar charger controller* untuk diregulasi agar keluaran selalu stabil. Hasil keluaran dari regulator digunakan untuk mengisi baterai. Berikut penjelasan detail bagian bagian tersebut.



Gambar 2.2. Sistem Panel Surya [6,7]
<https://r.search.yahoo.com>

2.1.4.1. Jenis-jenis Panel Surya

Ada beberapa jenis panel surya yang umum digunakan di Indonesia. Beberapa jenis panel surya tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

A. Panel Surya Monocrystalline silicon (mono-silicon atau single silicon).

Merupakan panel yang paling efisien untuk menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi dan memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari jenis monocrystalline silicon ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang, efisiensinya akan turun drastic dalam keadaan cuaca berawan.



Gambar 2.3. Panel surya Monocrystalline silicon
<https://www.solarcellsurya.com>

B. Panel Surya Polycrystalline silicon (multicrystalline, multi-silicon, ribbon)

Panel surya ini memiliki level silikon yang lebih rendah dari panel monocrystalline, maka panel surya ini sedikit lebih murah dan sedikit lebih rendah efisiensinya dari panel monocrystalline. Panel Polycrystalline merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak dan tipe Polycrystalline memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monocrystalline untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung.



Gambar 2.4. Panel surya Polycrystalline silicon

C. Panel Surya Amorphous/ Thin Film (*amorphous silicon, cadmium telluride, copper indium gallium diselenide*)

Disebut Thin Film karena panel ini sangat murah untuk dibuat, teknologi Amorphous ini sering terdapat pada solar panel yang kecil, seperti pada calculator atau lampu taman.



Gambar 2.5. Panel Surya Amorphous/ Thin Film

D. Panel Surya *Thin Film Photovoltaic*

Merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8,5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar dari pada monokristal dan polykristal. 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 panel jenis lain dengan daya yang ditera setara.

Solar cell panel terdiri dari silicon, silicon mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik, pada saat intensitas cahaya berkurang (berawan, mendung, hujan) energi listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Dengan menambah solar cells panel berarti menambah konversi tenaga surya.

Sel silicon didalam solar cells panel yang disinari matahari/ surya, membuat proton bergerak menuju electron dan menghasilkan arus dan tegangan listrik. Sebuah sel silicon menghasilkan kurang lebih tegangan 0,5 volt. Jadi sebuah panel surya 12 volt terdiri kurang lebih 36 sel surya (untuk menghasilkan 17 volt tegangan maksimum).

Solar sel modul memiliki kapasitas output: watt hour. Solar sel 50 WP 12 Volt, memberikan output daya sebesar 50 watt per hour dan tegangan adalah 12 Volt. Untuk perhitungan daya yang dihasilkan per hari adalah 50 watt x 5 jam (maximum peak intensitas matahari).

2.1.4.2. Karakteristik Sel Surya

Kapasitas daya dari sel atau modul surya dilambangkan dalam watt peak (Wp) dan diukur berdasarkan standart pengujian internasional yaitu *Standart Test Condition (STC)*. Standart ini mengacu pada intensitas radiasi sinar matahari sebesar 1000 W/m² yang tegak lurus sel surya pada suhu 25 derajat celcius. Modul photovoltaic memiliki hubungan antara arus dan tegangan. Pada saat tahanan variable bernilai tak terhingga (open circuit) maka arus bernilai minimum (nol) dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, yang dikenal sebagai tegangan open circuit (Voc). Pada keadaan yang lain, Ketika tahanan variable bernilai nol (short circuit) maka arus bernilai maksimum, yang dikenal sebagai arus short circuit (Isc). Jika tahanan variable memiliki nilai yang bervariasi antara nol dan tak terhingga maka arus (I) dan tegangan (V) akan diperoleh nilai yang bervariasi. Besar daya (P) yang dihasilkan dibagi dengan hambatan (R) yang dilalui yaitu:

$$P = V^2/R \dots\dots\dots (2.1)$$

2.1.4.3. Prinsip Kerja Sel Surya (*Photovoltaic*)

Parameter paling penting dalam kinerja sebuah panel surya adalah intensitas radiasi matahari atau biasa disebut dengan irradiasi cahaya matahari,

yaitu jumlah daya matahari yang datang ke permukaan per luas area. Intensitas radiasi matahari diluar atmosfer bumi disebut konstanta surya yaitu sebesar 1365 W/m². Setelah disaring oleh atmosfer bumi, beberapa spektrum cahaya hilang dan intensitas puncak radiasi menjadi sekitar 1000 W/m². Nilai ini adalah tipikal intensitas radiasi pada keadaan permukaan tegak lurus sinar matahari dan pada keadaan cerah. Besar nilai iradiasi matahari inilah yang akan menentukan besar daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah panel surya.

2.1.5. Solar Charger Controller

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charger controller* mengatur overcharging (kelebihan pengisian - karena baterai sudah penuh) dan kelebihan voltase dari panel surya / solar sel. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai.

Solar charger controller menerapkan teknologi *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Panel surya / solar sel 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16 - 21 Volt.

Jadi tanpa *solar charger controller*, baterai akan rusak oleh over-charging dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14 - 14.7 Volt. Beberapa fungsi detail dari *solar charger controller* adalah sebagai berikut:

1. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*.

2. Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar baterai tidak *'full discharge'*, dan *overloading*.
3. Monitoring temperatur baterai



Gambar 2.6 solar charger controller [11,12]

2.1.6. Baterai

Baterai adalah alat yang menyimpan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang tidak segera digunakan oleh beban. Daya yang disimpan dapat digunakan saat periode radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Komponen baterai kadang-kadang dinamakan akumulator (accumulator). Akumulator adalah baterai yang merupakan suatu sumber aliran yang paling populer yang dapat digunakan di mana-mana untuk keperluan yang bermacam-macam beranekaragam. Menurut Rudolf Michael (1995: 22), akumulator dapat diartikan sebagai sel listrik yang berlangsung proses elektrokimia secara bolak-balik (reversible) dengan nilai efisiensi yang tinggi. Disini terjadi proses perubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya tenaga listrik menjadi tenaga kimia dengan cara regenerasi dari elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dengan arah yang berlawanan di dalam sel-sel yang ada dalam akumulator. Saat pengisian tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga listrik didalam akumulator

dan disimpan didalamnya. Sedangkan saat pengosongan, tenaga di dalam akumulator diubah lagi menjadi tenaga listrik yang digunakan untuk mencatu energi dari suatu peralatan listrik. Dengan adanya proses tersebut akumulator sering dikenal dengan elemen primer dan sekunder.

Terdapat beberapa jenis baterai yang bisa digunakan dan ditemukan sehari-hari, berdasarkan jenis bahan elektrolit yang digunakan maka ada beberapa jenis baterai seperti berikut ini

1. Baterei timbal
2. Baterai Lithium-Ion/Li-Ion
3. Baterai Lithium-Polymer/Li-Po
4. Baterai Nickel Cadium/NiCad
5. Baterai Nickel Metal Hydride/NiMH

Baterai menyimpan listrik dalam bentuk daya kimia. Baterai yang paling biasa digunakan dalam aplikasi surya adalah baterai yang bebas pemeliharaan bertimbal asam (maintenance-free lead-acid batteries), yang juga dinamakan baterai recombinant atau VRLA (klep pengatur asam timbal atau valve regulated lead acid). Kapasitas energi per kilogramnya relatif kecil. Baterai asam timbal terbagi dalam dua jenis yaitu Sealed atau biasa disebut dengan aki kering kadang juga disebutkan sebagai aki bebas perawatan dan Non-Sealed atau aki "biasa". Perbedaan antara jenis Sealed dan Non-Sealed adalah adanya mekanisme pengembunan pada jenis Sealed untuk menjaga uap dari cairan elektrolit dalam baterai terbuang ke udara.

Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem fotovoltaik, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh array

panel- panel surya, dan untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban. Baterai tersebut mengalami proses siklis menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu adanya matahari, array panel menghasilkan daya listrik. Daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Selama waktu tidak adanya matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh baterai, yang oleh karena itu akan mengeluarkannya.

Siklus menyimpan dan mengeluarkan ini terjadi setiap kali daya yang dihasilkan oleh panel tidak sama dengan daya yang dibutuhkan untuk mendukung beban. Kalau ada cukup matahari dan bebannya ringan, baterai akan menyimpan daya. Tentunya, baterai akan mengeluarkan daya pada malam hari setiap kali sejumlah daya diperlukan. Baterai juga akan mengeluarkan daya ketika penyinaran tidak cukup untuk menutupi kebutuhan beban (karena variasi alami kondisi keikliman, awan, debu, dan lain-lain).

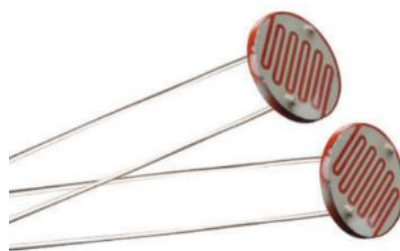
2.1.7. LDR (*Light Dependent Resistor*)

LDR (*Light Dependent Resistor*), ialah jenis resistor yang berubah hambatannya karena pengaruh cahaya. Bila cahaya gelap nilai tahanannya semakin besar, sedangkan cahayanya terang nilainya menjadi semakin kecil.

LDR adalah jenis resistor yang biasa digunakan sebagai detector cahaya atau pengukur besaran konversi cahaya. LDR, terdiri dari sebuah cakram semikonduktor yang mempunyai dua buah elektroda pada permukaannya. Resistansi LDR berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya. Dalam keadaan gelap resistansi LDR sekitar $10\text{ M}\Omega$ dan dalam

keadaan terang sebesar $1\text{ K}\Omega$ atau kurang. LDR terbuat dari bahan semikonduktor seperti *cadmium sulfide*. Dengan bahan ini energi dari cahaya yang jatuh menyebabkan lebih banyak muatan yang dilepas atau arus listrik meningkat. Artinya resistansi bahan telah mengalami penurunan. LDR digunakan untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Saklar cahaya otomatis dan alarm pencuri adalah beberapa contoh alat yang menggunakan LDR. Akan tetapi karena responnya terhadap cahaya cukup lambat, LDR tidak digunakan pada situasi di mana intensitas cahaya berubah secara drastis. Sensor ini akan berubah nilai hambatannya apabila ada perubahan tingkat kecerahan cahaya.

Pada saat gelap atau cahaya redup, bahan dari cakram tersebut menghasilkan elektron bebas dengan jumlah yang relative kecil. Sehingga hanya ada sedikit elektron untuk mengangkut muatan elektrit. Artinya pada saat cahaya redup, LDR menjadi konduktor yang buruk, atau bisa disebut juga LDR memiliki resistansi yang besar pada saat gelap atau cahaya redup. Pada saat cahaya terang, ada lebih banyak elektron yang lepas dari atom bahan semikonduktor tersebut. Sehingga akan lebih banyak elektron untuk mengangkut muatan elektrit. Artinya pada saat cahaya terang, LDR menjadi konduktor yang baik, atau bisa disebut juga LDR memiliki resistansi kecil pada saat cahaya terang.



Gambar. 2.7. *Light Dependent Resistor*

2.1.8. Programmable Logic Controller (PLC)

PLC (*Programmable Logic Controller*) adalah sebuah alat yang digunakan untuk menggantikan rangkaian sederetan relay yang ada pada sistem kontrol konvensional. PLC bekerja dengan cara mengamati masukan (melalui sensor), kemudian melakukan proses dan melakukan tindakan sesuai yang dibutuhkan, berupa menghidupkan atau mematikan keluaran.

Program yang digunakan adalah berupa ladder diagram yang kemudian harus dijalankan oleh PLC. Dengan kata lain PLC menentukan aksi apa yang harus dilakukan pada instrument keluaran yang berkaitan dengan status suatu ukuran atau besaran yang diamati. Proses yang di kontrol ini dapat berupa regulasi variabel secara kontinyu seperti pada sistem - sistem servo, atau hanya melibatkan kontrol dua keadaan (on/off) saja, tetapi dilakukan secara berulang-ulang seperti umum dijumpai pada mesin pengeboran, sistem konveyor dan lain sebagainya.

2.1.8.1 Fungsi PLC

Fungsi dari PLC bekerja berdasarkan input-input yang ada dan tergantung dari keadaan pada suatu waktu tertentu yang kemudian akan meng-on atau meng-off kan output-output. PLC juga dapat diterapkan untuk pengendalian sistem yang memiliki output banyak. Fungsi dan kegunaan PLC sangat luas. Dalam prakteknya PLC dapat dibagi secara umum dan secara khusus.

1. *Sekuensial Control*. PLC memproses input sinyal biner menjadi output yang digunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (sekuensial), disini PLC menjaga agar semua step atau langkah dalam proses sekuensial berlangsung dalam urutan yang tepat.

2. **Monitoring Plant**, PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut pada operator. Sedangkan fungsi PLC secara khusus adalah dapat memberikan input ke CNC (*Computerized Numerical Control*).

2.1.8.2 Keuntungan PLC

Dalam industry-industri yang ada sekarang ini, kehadiran PLC sangat dibutuhkan terutama untuk menggantikan sistem wiring atau pengkabelan yang sebelumnya masih digunakan dalam mengendalikan suatu sistem. Dengan menggunakan PLC akan diperoleh banyak keuntungan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. **Fleksibel**. Pada masa lalu, tiap perangkat elektronik yang berbeda dikendalikan dengan pengendalinya masing-masing. Misal sepuluh mesin membutuhkan sepuluh pengendali, tetapi kini hanya dengan satu PLC kesepuluh mesin tersebut dapat dijalankan dengan programnya masing-masing.
2. **Perubahan dan pengkoreksian kesalahan sistem lebih mudah**. Bila salah satu sistem akan diubah atau dikoreksi maka pengubahannya hanya dilakukan pada program yang terdapat di komputer, dalam waktu yang relatif singkat, setelah itu didownload ke PLC-nya. Apabila tidak menggunakan PLC, misalnya relay maka perubahannya dilakukan dengan cara mengubah pengkabelannya.

3. Jumlah kontak yang banyak jumlah kontak yang dimiliki oleh PLC pada masing-masing coil lebih banyak daripada kontak yang dimiliki oleh sebuah relay.
4. Harganya lebih murah. PLC mampu menyederhanakan banyak pengkabelan dibandingkan dengan sebuah relay. Maka harga dari sebuah PLC lebih murah dibandingkan dengan harga beberapa buah relay yang mampu melakukan pengkabelan dengan jumlah yang sama dengan sebuah PLC. PLC mencakup relay, timers, counters, sequencers, dan berbagai fungsi lainnya.
5. Pilot Running. PLC yang terprogram dapat dijalankan dan dievaluasi terlebih dahulu di kantor atau laboratorium. Programnya dapat ditulis, diuji, diobservasi dan dimodifikasi bila memang dibutuhkan dan hal ini menghemat waktu bila dibandingkan dengan sistem relay konvensional yang diuji dengan hasil terbaik di pabrik.
6. Observasi Visual. Selama program dijalankan, operasi pada PLC dapat dilihat pada layar CRT. Kesalahan dari operasinya pun dapat diamati bila terjadi.
7. Kecepatan Operasi. Kecepatan operasi PLC lebih cepat dibandingkan dengan relay. Kecepatan PLC ditentukan dengan waktu scannya dalam satuan millisecond.
8. Metode Pemrograman Ladder atau Boolean. Pemrograman PLC dapat dinyatakan dengan pemrograman ladder bagi teknisi, atau aljabar Boolean bagi programmer yang bekerja di sistem kontrol digital atau Boolean.

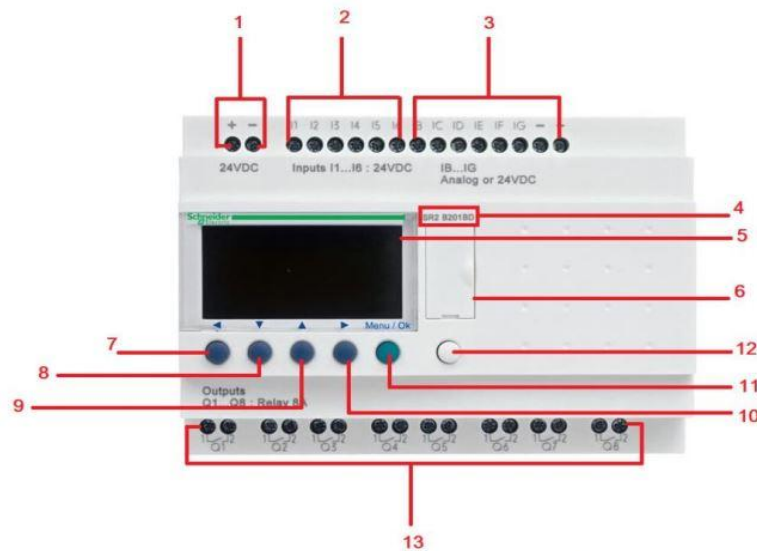
2.1.8.3 Kerugian PLC

Selain keuntungan yang telah disebutkan diatas maka ada beberapa kerugian yang dimiliki oleh PLC, antara lain yaitu:

1. Buruk Untuk Aplikasi Program Yang Tetap. Beberapa aplikasi merupakan aplikasi dengan satu fungsi. Sedangkan PLC dapat mencakup beberapa fungsi sekaligus. Pada aplikasi dengan satu fungsi jarang sekali dilakukan perubahan bahkan tidak sama sekali, sehingga penggunaan PLC pada aplikasi dengan satu fungsi akan memboroskan (biaya).
2. Pertimbangan Lingkungan. Dalam suatu pemrosesan, lingkungan mungkin mengalami pemanasan yang tinggi, vibrasi yang kontak langsung dengan alat-alat elektronik di dalam PLC dan hal ini bila terjadi terus menerus, mengganggu kinerja PLC sehingga tidak berfungsi optimal.

2.1.9. Smart Relay

Smart relay adalah sebuah perangkat relay virtual yang didesain dari mikrokontroller untuk menggantikan fungsi relay konvensional pada proses sekuensial (Aripriharta 2014: 2). Sementara itu, menurut Saputra, dkk (2014) menyatakan bahwa dengan sebuah smart relay kita dapat merubah cara kerjanya sesuai dengan keinginan tanpa harus merubah secara wiring (kalau pakai relay) tetapi cukup dengan merubah pada programnya



Gambar. 2.8 Smart relay

<https://www.samrasyid.com/2020/12/mengenal-zelio-smart-relay>.

Keterangan:

1. Lubang terminal power supply, berfungsi sebagai tempat untuk memberikan sumber tegangan pada smart relay Zelio.
2. Lubang terminal input diskrit, berfungsi sebagai terminal inputan diskrit atau inputan digital On/ Off
3. Lubang terminal input analog, berfungsi sebagai terminal inputan berupa tegangan analog 0 -10 VDC.
4. Nomor tipe smart relay untuk menunjukkan tipe smart relay yang digunakan.
5. LCD display
6. Lubang memori cartridge atau port untuk koneksi antarmuka smart relay Zelio dengan PC
7. Tombol navigasi kiri untuk mengarahkan kursor ke kiri
8. Tombol navigasi bawah untuk mengarahkan kuror ke bawah.
9. Tombol navigasi atas untuk mengarahkan kursor ke atas.
10. Tombol navigasi kanan untuk mengarahkan kursor ke kanan.

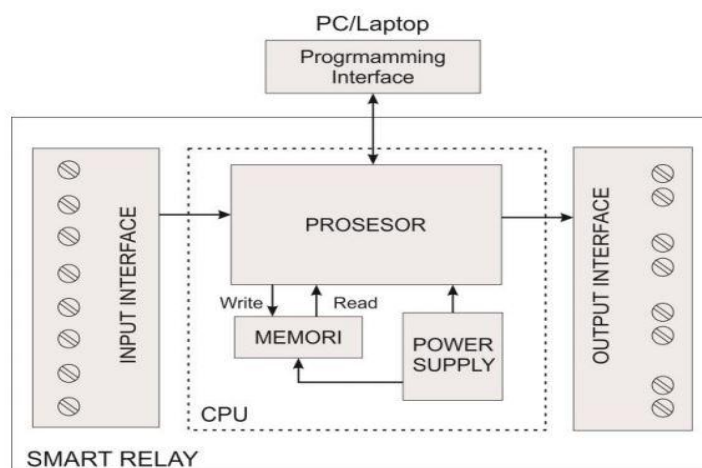
11. Tombol menu/ ok untuk menampilkan dan memilih menu, sugmenu, program ataupun parameter pada program.
12. Tombol shift untuk menampilkan menu kontekstual yang akan muncul pada LCD diatas tombol navigasi, serta merubah fungsi tombol navigasi menjadi fungsi masing-masing menu tersebut.
13. Lubang terminal output, berfungsi sebagai lubang terminal untuk outputan dari smart relay Zelio.

Smart relay juga sering disebut sebagai mini PLC, karena fitur-fitur yang terdapat pada smart relay tidak kalah dengan fitur-fitur yang 14 terdapat pada PLC, bahkan fitur-fitur pada smart relay lebih sederhana. Memprogram smart relay dapat menggunakan 2 cara, yaitu dengan cara langsung menggunakan tombol-tombol yang ada pada smart relay yang didukung dengan tersedianya layar LCD dan dengan menggunakan sebuah komputer yang terinstall program untuk smart relay (Abdullah dan Rosma, 2018). Beberapa jenis smart relay yaitu ZEN yang diproduksi oleh perusahaan OMRON dan ZELIO yang diproduksi oleh perusahaan Schneider Telemecanique Arsitektur Smart Relay terdiri dari dua elemen utama yaitu

1. Sistem I/O
2. CPU (Central Processing Unit).

Sistem I/O terdiri dari dua komponen yaitu input interface dan output interface. Input interface adalah sejumlah terminal yang digunakan untuk menghubungkan perangkat input dengan smart relay. Input interface mempunyai tugas utama untuk menerjemahkan data yang dikirim dari input agar dimengerti oleh CPU smart relay. Smart relay mempunyai dua jenis input yaitu input diskrit

dan input analog. Input diskrit digunakan untuk menerima informasi dalam bentuk kode biner, sedangkan input analog digunakan untuk menerima 15 sinyal analog berupa tegangan kisaran 0 sampai dengan 10 volt. Output interface adalah sejumlah terminal yang digunakan untuk menghubungkan perangkat-perangkat output ke smart relay. Perangkat-perangkat output ini menerima data kendali dari smart relay. Output interface mempunyai tugas utama untuk menerjemahkan data dari CPU smart relay agar dimengerti oleh perangkat-perangkat outputnya. Pada umumnya smart relay mempunyai dua jenis output yaitu output diskrit (relay) dan output diskrit statis (transistor). Output diskrit (relay) digunakan untuk mengirim sinyal kendali dalam bentuk kode biner, sedangkan output diskrit statis (transistor) digunakan untuk mengirim sinyal kendali dalam bentuk arus atau tegangan listrik.

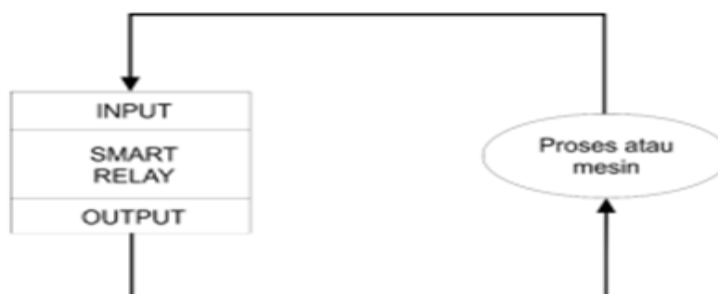


Gambar. 2.9. CPU (Central Processing Unit) smart relay
<https://www.samrasyid.com/2020/12/mengenal-zelio-smart-relay>.

CPU (Central Processing Unit) smart relay tersusun dari tiga elemen yaitu memori, prosesor dan catu daya. Memori berfungsi untuk menyimpan data program kendali smart relay, data yang diterima dari input dan data yang akan dikirim ke output (Aripriharta, 2014: 6). Selain memori internal, smart relay juga

mempunyai memori eksternal. Prosesor merupakan elemen komputasi dari CPU yang berfungsi untuk mengolah program (Aripriharta, 2014: 6). Prosesor bertugas untuk memanipulasi data yang tersimpan pada memori dan menentukan logika output berdasarkan logika inputnya. Catu daya berfungsi untuk menyuplai daya listrik ke memori dan prosesor (Aripriharta, 2014: 6). Tegangan kerja smart relay biasanya adalah 12V DC, 24V DC dan 220V AC

Prinsip Kerja Smart Relay Smart relay menerima sinyal input yang berasal dari mesin atau proses. Smart relay akan mengatur proses berdasarkan program yang sudah ditanamkan sebelumnya



Gambar. 2.10. Prinsip kerja smart relay

Smart relay beroperasi menggunakan 3 langkah yang disebut proses scan. Langkah yang pertama dinamakan read, yaitu membaca data masukan yang terkoneksi dengan input smart relay. Langkah yang kedua dinamakan program excute, yaitu mengeksekusi program yang sudah tersimpan di memori. Langkah yang terakhir dinamakan write, yaitu memperbaharui dan menuliskan program ke smart relay sesuai dengan kondisi keluaran yang diinginkan. Bahasa pemrograman yang digunakan pada smart relay mempunyai dua jenis yaitu ladder diagram (LD) dan function block diagram (FBD). Ladder diagram dipresentasikan menggunakan simbol dalam instruksi logikanya. Setiap ladder terdiri dari satu

rung atau lebih dimana setiap rung terdiri dari satu atau lebih kontak dan koil. Setiap rung pada ladder diagram disusun secara vertikal sehingga menyerupai anak tangga (ladder). Instruksi logika dari FBD dipresentasikan menggunakan diagram balok fungsi-fungsi logika. FBD relatif lebih sulit dipahami daripada ladder diagram bagi para pemula.

Perangkat Lunak dan Pemrograman Smart Relay Smart relay diprogram dengan menggunakan PC/laptop melalui perangkat lunak khusus bawaan dari pabrik pembuatnya. Salah satu perangkat lunak smart relay yang mudah diperoleh dan bersifat gratis adalah zeliosoft.

Smart Relay	Pabrik Pembuat	Perangkat Lunak	Keterangan
Zelio	Schneider Electric	Zeliosoft	Grafis
Pico	Allen Bradley	Picosoft	Shareware
Logo	Siemens	Logosoft	Free Demo
Zen	Omron	Zen Support Soft	Shareware

Zelio Smart Relay SR3B261BD Zelio smart relay merupakan produk smart relay yang dibuat oleh perusahaan Schneider Electric. Banyak tipe smart relay yang dibuat oleh perusahaan Schneider Electric, baik yang bertipe compact maupun modular. Perbedaan antara tipe compact dengan modular adalah pada tipe modular dapat ditambahkan extension module sehingga dapat ditambahkan input dan output, namun hanya terbatas sampai dengan 40 I/O. Salah satu tipe dari *zelio smart relay* adalah tipe SR3B261BD

2.1.10. Pemrograman FBD (*Function Block Diagram*)

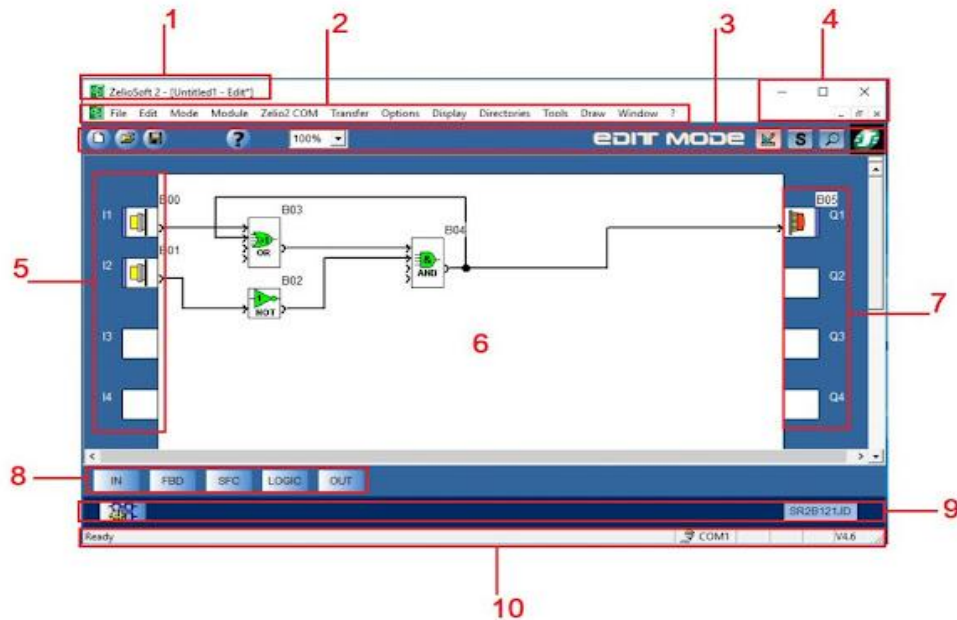
Sesuai dengan standar IEC 1131-3 (*International Electrotechnical Commission*) untuk pemrograman PLC dan smart relay terdapat lima bahasa pemrograman yang biasa digunakan, yaitu: *ladder diagrams* (LAD), *instruction list* (IL), *sequential function charts* (SFC), *structured text* (ST) dan *function block diagrams* (FBD).

Bahasa pemrograman FBD adalah salah satu bahasa yang sering digunakan pada PLC dan *smart relay* selain bahasa pemrograman *ladder*. Bahasa pemrograman FBD (*Function Block Diagram*) merupakan bahasa pemrograman grafis yang menggunakan block-block gerbang digital, counter, timer, operasi aritmatika dan block-block lainnya, tergantung dari perangkat *smart relay* dan *software* yang digunakan untuk menyusun programnya. Pemrograman menggunakan bahasa FBD dinilai lebih memudahkan pengguna karena program FBD sendiri berbentuk grafis atau block-block logika, sehingga pengguna hanya perlu menyusun block-block tersebut menjadi sebuah instruksi.

Pemrograman FBD terdiri dari 3 bagian yang dimulai dari sebelah kiri yaitu bagian input, input ini bisa berupa sakelar, push button, dan sensor. Setelah input adalah function, function ini adalah logika program yang terdiri dari block-block fungsi seperti: AND, OR, NOT, timer, counter, aritmatika dan fungsi-fungsi lainnya. Bagian yang terakhir adalah output, untuk output ini dapat berupa: lampu, solenoid, motor ataupun relay.

Pemrograman FBD pada software Zelio Soft 2 ini sendiri telah didukung dengan adanya macam-macam jenis tools atau block-block yang dapat digunakan saat membuat pemrograman FBD. Sebelum mempelajari tentang tools-tools apa

saja yang ada pada Zelio soft 2, sebaiknya perlu memahami terlebih dahulu bagian-bagian dari tampilan lembar kerja Zelio Soft 2 untuk bagian pemrograman FBD yang ditunjukkan pada gambar dibawah



Gambar 2.11. Bagian-bagian lembar kerja FBD pada Zelio Soft 2

2.1.11. Relay

Relay adalah komponen elektronika berupa saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Secara prinsip, relay merupakan saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (solenoid) di dekatnya. Ketika solenoid dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang, tuas akan kembali ke posisi semula dan kontak saklar kembali terbuka. Relay biasanya digunakan untuk menggerakkan arus/tegangan yang besar (misalnya peralatan listrik 4 ampere AC 220 V) dengan memakai arus/tegangan yang kecil (misalnya 0.1 ampere 12 Volt DC).

Relay yang paling sederhana ialah relay elektromekanis yang memberikan pergerakan mekanis saat mendapatkan energi listrik. Dalam pemakaiannya biasanya relay yang digerakkan dengan arus DC dilengkapi dengan sebuah dioda yang di-paralel dengan lilitannya dan dipasang terbalik yaitu anoda pada tegangan (-) dan katoda pada tegangan (+). Ini bertujuan untuk mengantisipasi sentakan listrik yang terjadi pada saat relay berganti posisi dari on ke off agar tidak merusak komponen di sekitarnya. Kebanyakan relay yang ditemui hanya memiliki tiga kondisi, yakni normally open (NO), normally close (NC), dan change-over (CO). Kondisi NO akan terjadi ketika relay diberi tegangan maka saklar akan terbuka. Kondisi NC merupakan kebalikan dari NO dimana saklar akan tertutup ketika relay diberi tegangan. Sedangkan kondisi CO merupakan kondisi dimana relay akan mengubah posisi saklar ketika diberi tegangan.



Gambar. 2.12. Jenis- jenis relay

2.1.12. Limit Switch

Limit switch merupakan salah satu jenis saklar yang berfungsi sebagai penyambung dan pemutus arus listrik. Limit switch umumnya digunakan sebagai saklar untuk membatasi Gerakan suatu benda. Ukuran yang kecil dan tuas pengoperasian yang bermacam-macam membuat saklar-mikro sangat bermanfaat

sebagai limit switch. Saklar ini dapat bekerja dengan tekanan yang sangat kecil pada pengoperasian tuas yang memungkinkan sensitifitas yang besar.



Gambar. 2.13. *Limit Switch*

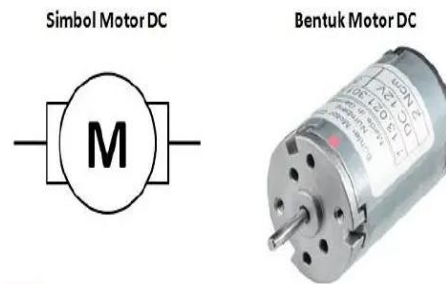
2.1.12.1 Prinsip Kerja *Limit Switch*

Limit switch bekerja berdasarkan tekanan atau sentuhan benda kerja pada *roller*. *Limit switch* merupakan saklar yang dapat dioperasikan secara otomatis ataupun manual. *Limit switch* mempunyai fungsi yang sama yaitu mempunyai kontak NO (*Normaly Open*) dan NC (*Normaly Close*). *Limit switch* akan bekerja jika ada benda yang menekan *roller*-nya, sehingga kedudukan kontak NO menjadi NC dan kontak NC menjadi NO. Jika benda sudah diangkat, *roller* dari *limit switch* Kembali pada posisi semula, demikian pula dengan kedudukan kontak-kontaknya.

2.1.13. Motor DC

Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Motor arus searah,

sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/direct-unidirectional.



Gambar. 2.14. Motor DC

Motor DC adalah piranti elektronik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerak rotasi. Pada motor DC terdapat jangkar dengan satu atau lebih kumparan terpisah. Tiap kumparan berujung pada cincin belah (komutator). Dengan adanya insulator antara komutator, cincin belah dapat berperan sebagai saklar kutub ganda (double pole, double throw switch). Motor DC bekerja berdasarkan prinsip gaya Lorentz, yang menyatakan ketika sebuah konduktor beraliran arus diletakkan dalam medan magnet, maka sebuah gaya (yang dikenal dengan gaya Lorentz) akan tercipta secara ortogonal diantara arah medan magnet dan arah aliran arus. Kecepatan putar motor DC (N) dirumuskan dengan Persamaan berikut.

$$N = \frac{V_{TM} - I_A R_A}{K\phi} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

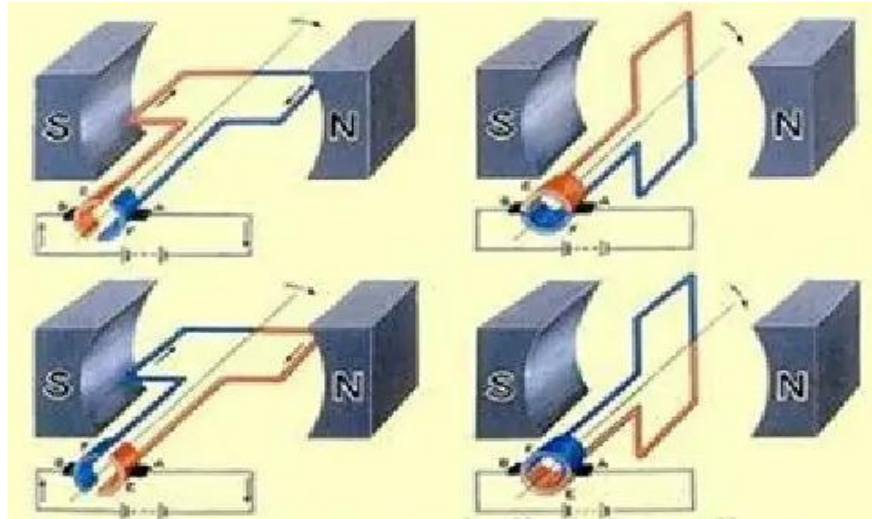
V_{TM} : Tegangan terminal

- IA : Arus jangkar motor
- RA : Hambatan jangkar motor
- K : Konstanta motor
- \emptyset : Fluk magnet yang terbentuk pada motor

2.1.13.1 Prinsip Kerja Motor DC

Terdapat dua bagian utama pada sebuah Motor DC, yaitu Stator dan Rotor. Stator adalah bagian motor yang tidak berputar, bagian yang statis ini terdiri dari rangka dan kumparan medan. Sedangkan Rotor adalah bagian yang berputar, bagian rotor ini terdiri dari kumparan jangkar. Dua bagian utama ini dapat dibagi lagi menjadi beberapa komponen penting yaitu diantaranya adalah Yoke (kerangka magnet), Poles (kutub motor), Field winding (kumparan medan magnet), Armature winding (kumparan jangkar), Commutator (komutator) dan Brushes (sikat arang).

Pada prinsipnya motor DC menggunakan fenomena electromagnet untuk bergerak, Ketika arus listrik diberikan ke kumparan, permukaan kumparan yang bersifat utara akan bergerak menghadap ke magnet yang ber kutub selatan dan kumparan yang bersifat selatan akan bergerak menghadap ke utara magnet. Saat ini, karena kutub utara kumparan bertemu dengan kutub selatan magnet ataupun kutub selatan kumparan bertemu dengan kutub utara magnet maka akan terjadi saling Tarik menarik yang menyebabkan pergerakan kumparan berhenti.



Gambar 2.15. Prinsip Kerja Motor DC

2.1.13.2 Bagian- bagian Motor DC

Motor DC memiliki 3 bagian atau komponen utama untuk dapat berputar sebagai berikut:

1. Kutub Medan.

Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi ruang terbuka diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet.

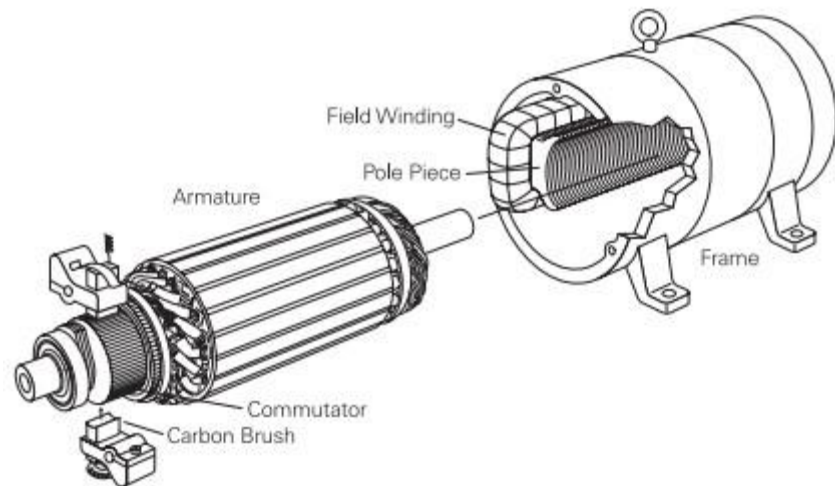
2. Kumpan Motor DC.

Bila arus masuk menuju kumpan motor DC, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. kumpan motor DC yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, kumpan motor DC berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal

ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan kumparan motor DC.

3. Komutator Motor DC.

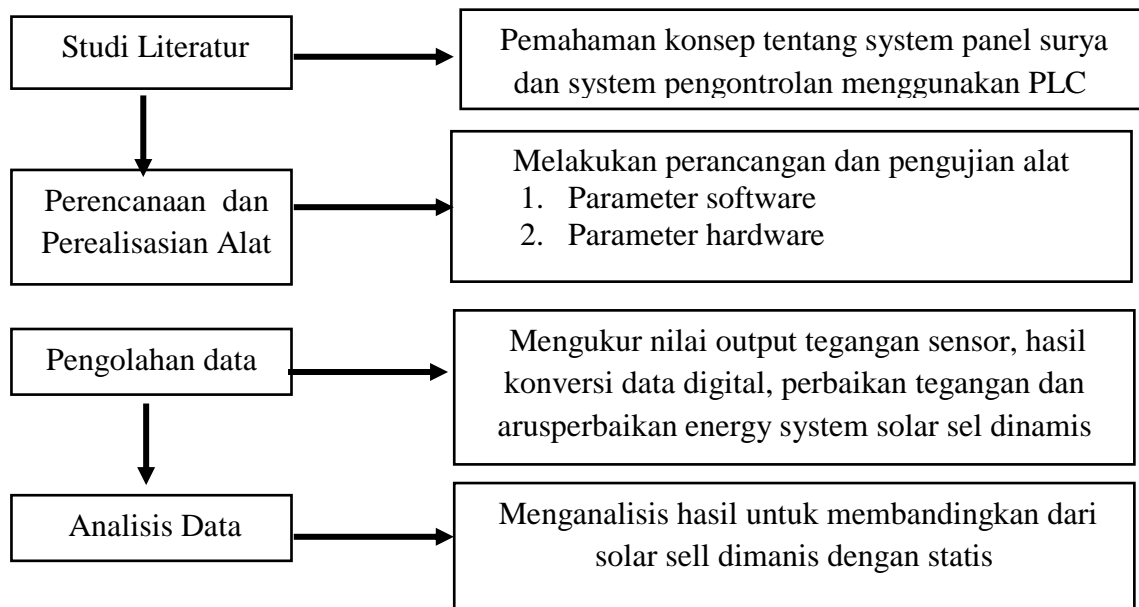
Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam kumparan motor DC dan juga membantu dalam transmisi arus antara kumparan motor DC dan sumber daya.



Gambar 2.16. Bagian-Bagian Motor DC

2.2 Kerangka Berfikir

Untuk menyempurnakan penelitian ini, maka peneliti perlu melakukan susunan kerangka berfikir yang jelas guna membantu penelitian ini tahap demi tahap. Kerangka ini guna mengatasi permasalahan dalam melakukan penelitian tersebut. Tahapan kerangka berfikir yang digunakan dalam tahapan penelitian dapat dilihat seperti gambar 2.17



Gambar 2.17. Kerangka Berfikir

BAB 3

METHODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini, telah disusun serangkaian metode penelitian untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Pada penelitian yang dilakukan dapat digambarkan beberapa metode, mulai dari pemasangan instalasi hingga pengujian dan pengambilan data. Penelitian ini mengaplikasikan sebuah alat tracking untuk mengoptimalkan energi matahari yang diterima oleh panel surya.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Energi Terbarukan pada Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik (BBPPMPVBBL) Medan, beralamat di Jln Setia Budi No. 75 Simpang Lima Kapten Sumarsono, Kelurahan Helvetia Timur, Kecamatan Helvetia-Medan dimana waktu penelitian dilakukan mulai 15 Desember 2021 sampai Februari 2022.

3.2. Alat dan Bahan

Sebelum melakukan perancangan dan perealisasiian alat, maka ditentukan alat, bahan serta spesifikasi alat yang akan dibuat, adapun alat dan bahan yang dibutuhkan untuk mempermudah berjalannya proses penelitian sebagai berikut:

1. Membutuhkan kontroler standar industri yang mempunyai input analog presisi, untuk itu digunakan smart relay SR3B101BD dari Schneider

2. Pendeteksi perubahan intensitas cahaya matahari menggunakan 2 sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) sesuai arah Barat dan Timur dengan output analog.
3. Pembatas gerakan timur dan barat menggunakan 2 limit switch, pembatas gerakan utara dan selatan menggunakan 2 limit switch
4. Output menggunakan motor DC 12V 2A.
5. Driver motor DC menggunakan relay pembalik polaritas
6. Sumber energi kontrol dan daya motor menggunakan baterai
7. Sistem regulasi pengisian baterai tidak dibahas, sehingga menggunakan regulator 12V 10A sudah siap pakai.
8. Saat malam hari solar sel akan *standby* menghadap ketimur

3.3. Data Penelitian

Data pada penelitian ini didapat dari hasil pengukuran yang didapat dari data.

1. Data primer yaitu merupakan sumber data dalam pemberian informasi dilakukan secara langsung yaitu pengukuran langsung dilapangan yang dilakukan di laboratorium Energi Terbarukan Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik Medan beralaman di Jalan Setia Budi No. 75 Helvetia Medan
2. Data sekunder yaitu data yang digunakan sebagai pendukung data primer yang didapat dari buku-buku, jurnal, laporan dan lain-lain.

3.4. Rancangan Penelitian

Adapun perencanaan Perancangan Hardware dan Perealisasian Tiap Blok adalah:

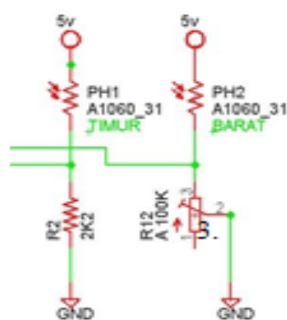
1. Perancangan cara kerja alat

Agar perancangan dan perealisasian alat berjalan secara sistematis, maka perlu dirancang cara kerja alat yang menjelaskan secara garis besar sistem yang akan dibuat.

- a. Solar sel menghadap keatas, posisi nol
- b. Setelah sistem dihidupkan Smart Relay membandingkan nilai Timur dan Barat,
 - a) Jika timur lebih terang maka solar sel bergerak ke timur (motor berputar kekanan) sampai nilai timur dan barat sama (artinya solar sel tegak lurus dengan matahari)
 - b) Jika barat lebih terang maka solar sel bergerak ke barat (motor berputar ke kiri) sampai nilai timur dan barat sama (artinya solar sel tegak lurus dengan matahari)
 - c) Saat solar sel miring ke timur ada LS1 untuk mendeteksi batas miring ke timur. Jika aktif (high) dan mulai mengikuti matahari ke barat. Jika tetap mendeteksi ingin lebih timur maka sistem akan diam.
 - d) Saat solar sel miring ke barat ada LS2 untuk mendeteksi batas miring ke barat. Jika aktif (high) menandakan hari sudah sore kemudian kembali ke posisi timur
 - e) Dan siklus berulang saat pagi hari

2. Perancangan sensor perubahan intensitas cahaya

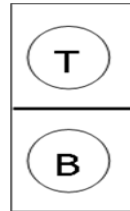
Sensor ini menggunakan komponen utama LDR, yaitu resistor yang nilainya bisa berubah-ubah tergantung intensitas cahaya yang mengenainya. Bila intensitas cahaya turun nilai hambatan akan naik, dan bila intensitas cahaya naik hambatan akan turun. Namun dalam rancangan ini perubahan tersebut harus dalam bentuk perubahan tegangan untuk bisa diolah smart relay, sehingga dengan menambahkan 1 resistor serta bias tegangan 5V akan menjadi voltage divider dengan nilai yang berubah-ubah sesuai intensitas cahaya matahari [19]. Berikut design sensor perubahan intensitas cahaya :



Gambar 3.1 Sensor perubahan intensitas cahaya

Dari Gambar 3.5 diatas dapat dilihat terdapat 2 LDR yang mewakili arah timur dan barat, 1 Resistor sebesar 2K2 untuk membangun voltage divider. Dari rangkaian diatas potensio digunakan untuk mengkompensasi LDR dengan resistor tetap, dikarenakan akan sangat sulit mencari resistor tetap dengan nilai sama persis. Hasil pengujian hambatan LDR saat terang 60 Ω , dan saat gelap 1000 Ω . Secara perhitungan diperoleh output tegangan DC sebagai berikut :

Kondisi saat terang	Kondisi saat gelap
$R_{\text{Total}} = 2200 + 60 = 2260 \Omega$	$R_{\text{Total}} = 2200 + 1000 = 3200 \Omega$
$I = V/R = 5/2260 = 0.0022 \text{ A}$	$I = V/R = 5/3200 = 0.0015 \text{ A}$
$V = 0.0022 \times 2200 = 4,84 \text{ V}$	$V = 0.0015 \times 2200 = 3,3 \text{ V}$



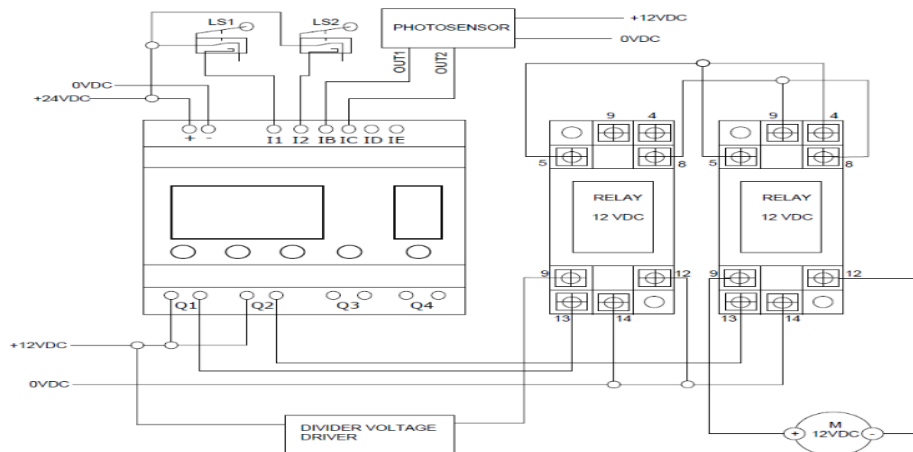
Gambar 3.2 Design sensor tempat atas



Gambar 3.3 Photo design sensor perubahan intensitas cahaya

3. Perancangan Kontroller

Pada alat ini digunakan sistem pengendali sebagai pusat dari pengolah data dan pengendali peralatan lainnya dan dipilih smart relay SR3B101BD karena:



Gambar 3.4 Rangkaian pengendali Smart Relay

1. Smart Relay SR3B101BD ini mempunyai internal ADC 4 kanal. Sedangkan pada peralatan ini membutuhkan 2 kanal ADC untuk 2 penjuror arah mata angin yang berpasangan untuk Timur-Barat. Dengan ADC 8 bit internal ini design hardware menjadi sederhana dan praktis.
2. Mempunyai 2 input digital untuk membaca batas pergerakan solar sel
3. Pemrograman dapat dilakukan dengan ladder diagram dan FBD sehingga dapat lebih mudah dan praktis
4. Smart relay type SR3B101BD menggunakan sumber DC, sangat tepat untuk aplikasi pengendalian solar sel
5. Mempunyai output relay dan kestabilan standar industri

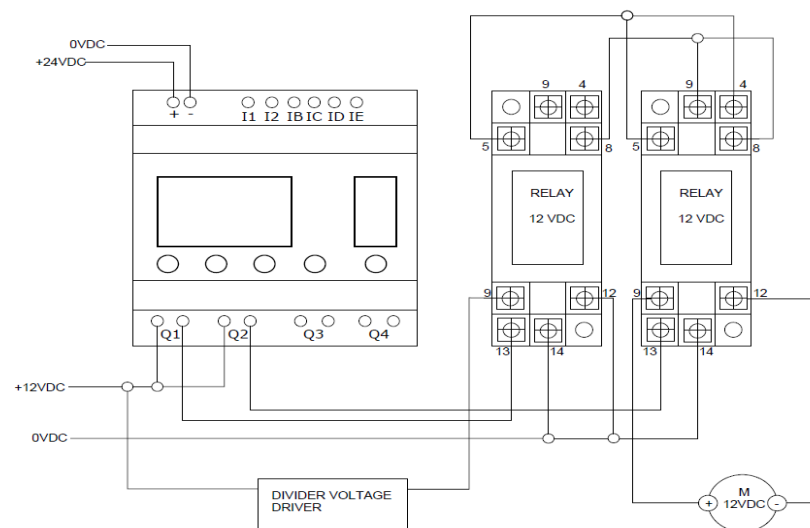
Tabel 3.1. Tabel input dan output smart relay

Terminal	Sambungan
+	Baterai positif 24V
-	Baterai negatif
I1	Limit switch 1 membatasi gerak sampai timur (aktif high)

I2	Limit switch 2 membatasi gerak sampai barat (aktif high)
IB	Input tegangan analog dari sensor LDR timur
IC	Input tegangan analog dari sensor LDR barat
Q1	Kontrol Motor DC Forward Reverse
Q2	Kontrol Motor DC Forward Reverse

4. Perancangan driver motor DC

Penggerak utama dalam rancangan ini adalah motor DC. Pengatur putaran motor DC dikendalikan oleh smart relay. Motor DC yang digunakan bertegangan 12V, arus 2A. Karena kemampuan relay output relay dari smart relay hanya 1,5A untuk tegangan 24V, maka digunakan relay eksternal untuk mengamankan relay pada smart relay yang dikonfigurasi bisa melakukan pembalik polaritas. Dibutuhkan 2 buah relay dengan konfigurasi sebagai berikut.



Gambar 3.5 Skematik driver motor dengan motor DC

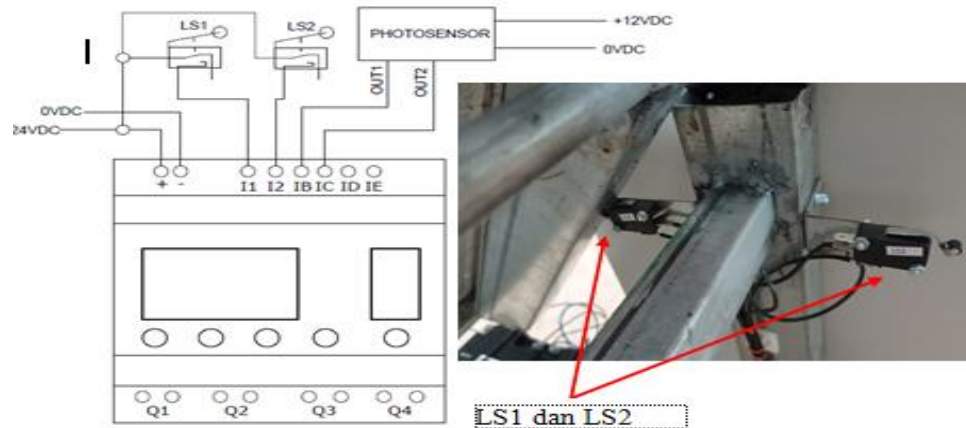
Dari gambar diatas dibutuhkan dua output smart relay untuk mengendalikan 2 buah relay, sebelah kiri untuk pemutus dan penyalur daya, sedangkan relay kedua untuk membalik polaritas sumber tegangan untuk membalik arah putaran motor. Rangkaian antarmuka smart relay dengan driver motor DC disajikan dalam tabel berikut:

KOMBINASI RELAY		PUTARAN MOTOR
RELAY 1	RELAY 2	
OFF	OFF	OFF
OFF	ON	OFF
ON	OFF	KANAN
ON	ON	KIRI

Tabel 3.2 Antarmuka pin smart relay dan driver relay motor

5. Perancangan pendeteksian batas Timur- Barat

Pendeteksi ini berfungsi untuk membatasi gerak dari mekanik solar sel, saat bergerak ke barat akan dibatasi limit switch (LS) barat dan saat bergerak ke timur akan dibatasi LS timur. Saat Limit switch tertekan oleh mekanik, maka akan close mengalirkan arus ke smart relay untuk memberikan informasi sudah mencapai batas timur atau barat



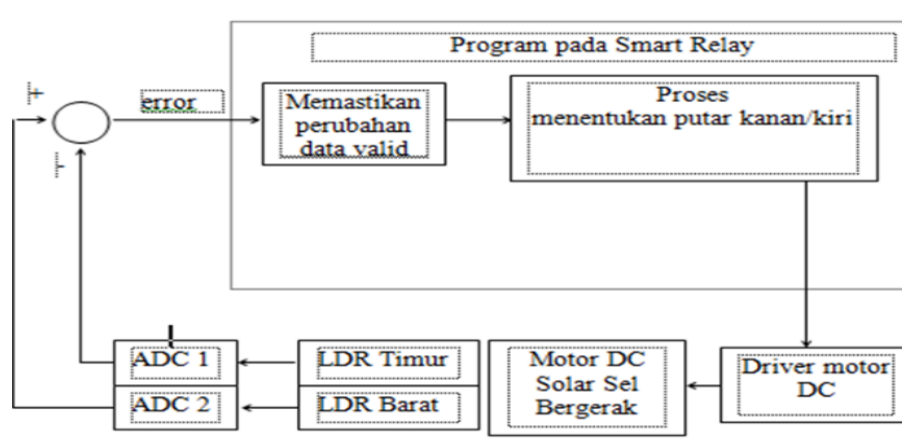
Gambar 3.6 Skematik dan letak limit switch sebagai sensor batas

6. Perancangan dan Perealisasian Perangkat Lunak

Setelah mengetahui seperti apa perangkat keras yang dirancang dalam aplikasi kontrol ini maka dibutuhkan perangkat lunak sebagai pengendali dan pengatur kerja alat. Program dibuat dalam bentuk bahasa FBD (Function Block Diagram) menggunakan program Zelio Soft 2 Versi 5.3.1, yang secara garis besar dapat dibagi dalam sub-program – sub-program sebagai berikut:

1. Mode kalibrasi (manual) dan auto (Tracking otomatis matahari)
2. Sub-program pembacaan data ADC dan pengaturan gerakan motor DC
3. Penyempurnaan gerakan motor terhadap perubahan cahaya yang sangat singkat agar gerakan motor stabil dan hemat energi

Diagram proses eksekusi program pada smart relay dapat dilihat sebagai berikut:

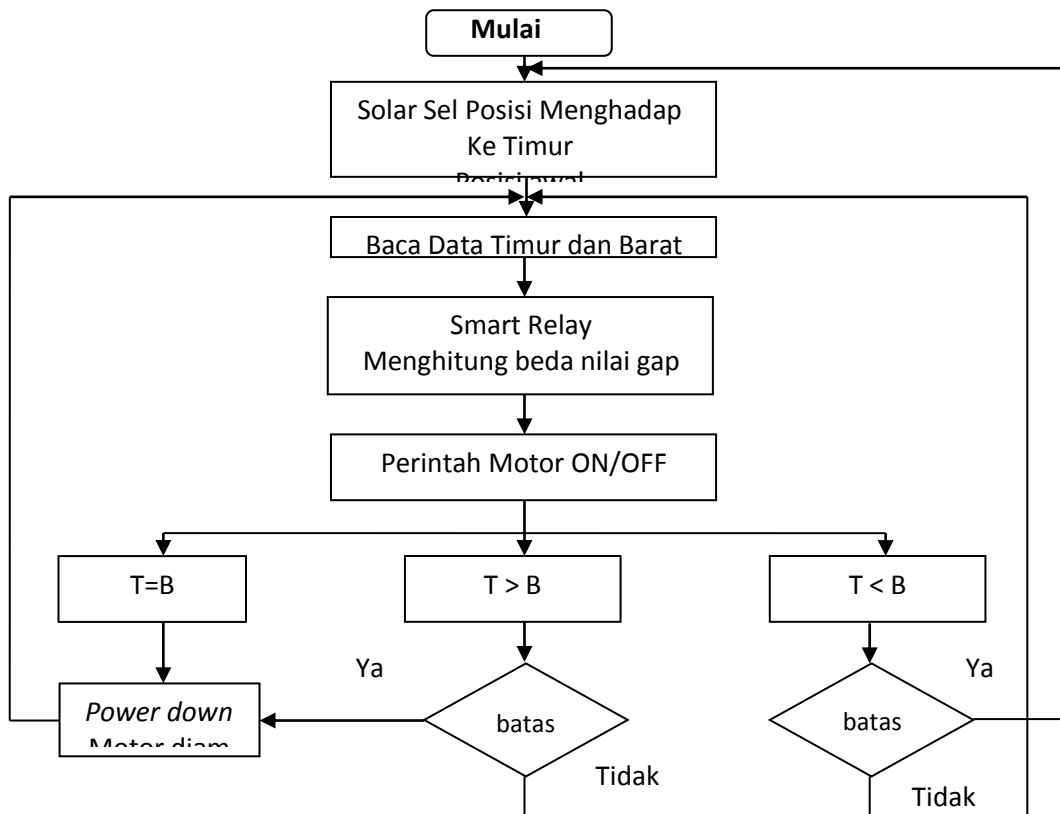


Gambar 3.7 Diagram blok perancangan software

3.5. Teknik Analisis Data

Pada penelitian ini Teknik analisis data diperlukan sebagai Langkah menyatukan dan menyimpulkan dari hasil data penelitian. Tahapan yang dilakukan dalam melakukan analisis data sebagai berikut:

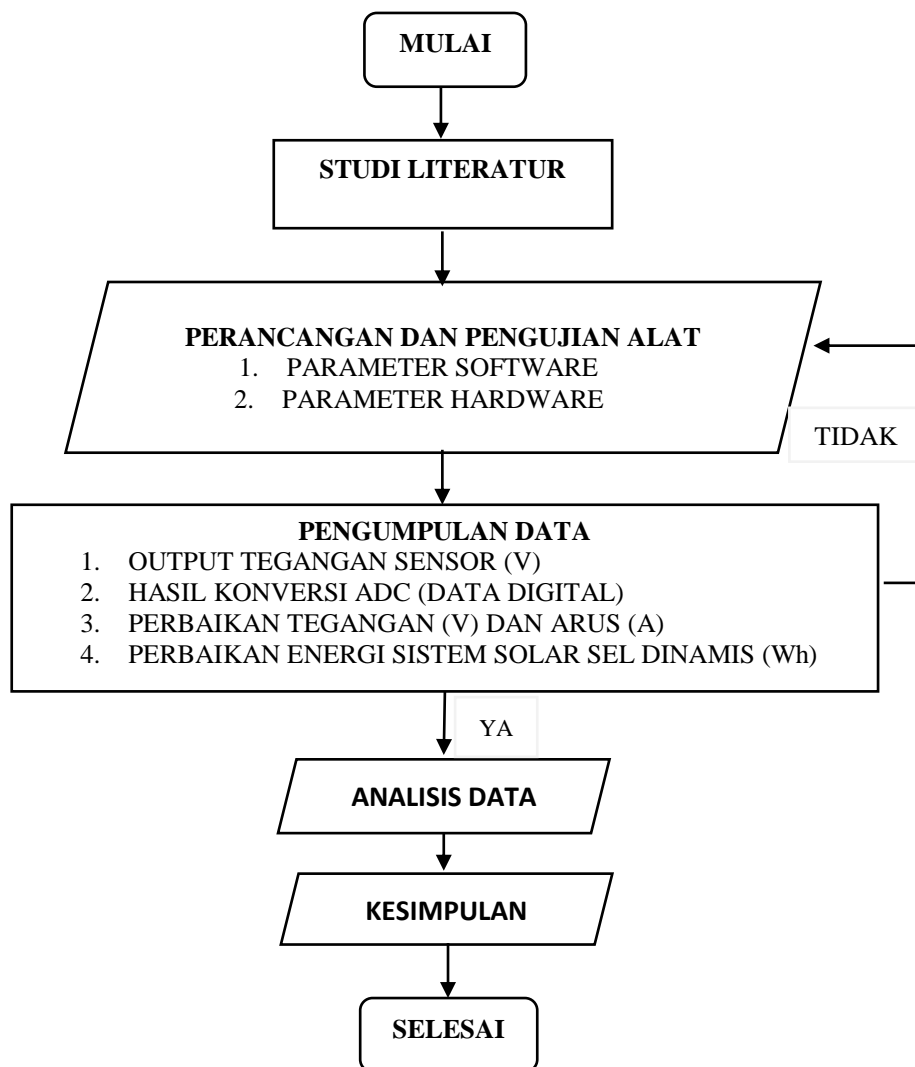
1. Tahapan pengambilan data, penelitian ini peneliti melakukan langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat secara umum adalah Studi Literatur, Perancangan dan Perealisation alat tiap blok, perealisasi an alat secara keseluruhan, Pengujian alat, dan Analisa data dan pengambilan kesimpulan.
2. Tahapan yang dilakukan peneliti menjelaskan alur cara kerja sistem untuk Timur-Barat, Data dan spesifikasi komponen yang digunakan dalam perencanaan merupakan data sekunder yang diambil dari buku data komponen elektronika. Pemilihan komponen berdasarkan perencanaan dan disesuaikan dengan komponen yang ada di pasaran.
3. Tahapan pada evaluasi, peneliti melakukan analisis dan evaluasi dari hasil pengukuran tegangan dan arus.



Gambar 3.8 Flowchart cara kerja system

3.6. Diagram Alir Penelitian

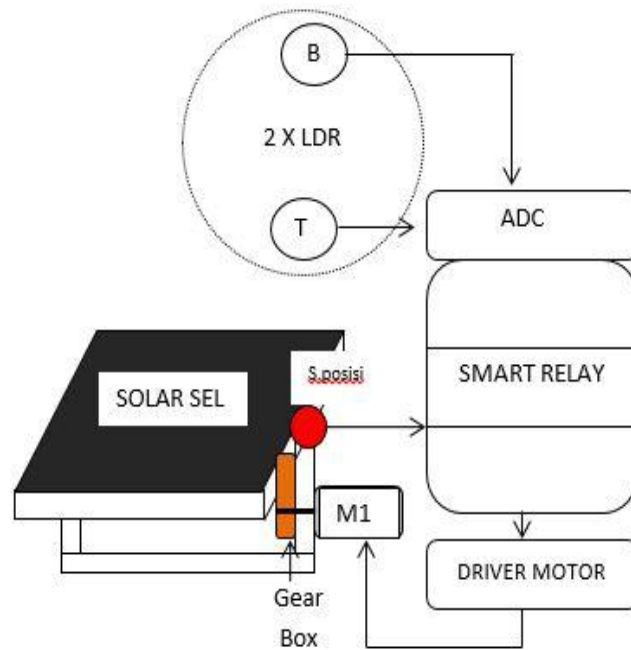
Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur terhadap sistem serupa yang pernah dibuat oleh peneliti sebelumnya. Kelemahan dan kekurangan pada sistem diperbaiki dengan menggunakan metode baru sehingga mendapatkan data yang lebih akurat. Alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Alur Penelitian

3.7. Bentuk dan Strategi Penelitian

Penulisan tesis ini menggunakan metode penelitian kualitatif dengan menggunakan pendekatan masalah yang bersifat aplikatif, yaitu yang dimulai dari perencanaan dan perealisasiian alat agar dapat menampilkan unjuk kerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Gambar 3.10 menunjukkan diagram blok model prototype.



Gambar 3.10 Diagram blok model prototype

Dari keterangan pada gambar 3.10 dapat dilihat cara kerja peralatan:

1. M1 adalah motor DC yang berfungsi menggerakkan solar sel posisi vertical (arah timur dan barat)
2. Antara motor dan beban menggunakan gear box untuk mengubah jumlah putaran, menambah torsi, serta mengunci mekanik saat motor dimatikan.

3.8. Teknik Pengumpulan Data

Tahapan penelitian, peneliti melakukan pengumpulan data dengan Teknik yang dilakukan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi Literatur merupakan referensi teori dari beberapa sumber seperti buku-buku, jurnal penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian sebagai bahan rujukan dalam pembahasan hasil penelitian.

2. Surat ijin penelitian

Surat permohonan ijin tempat penelitian ke BBPPMPV BBL terkait pengambilan data sebagai sumber penelitian.

BAB 4

PENGUJIAN ALAT DAN ANALISA

Pengujian alat system kendali posisi solar sel mengikuti pergeseran matahari berbasis Smart Relay SR3B101BD meliputi perangkat keras dan perangkat lunak sebagai pengendalinya. Hasil pengujian ini kemudian dianalisis dengan membandingkannya terhadap perencanaan. Pengujian dilakukan terhadap blok-blok sistem yang meliputi:

1. Pengujian output sensor perubahan intensitas cahaya
2. Pengujian hasil konversi ADC terhadap posisi perubahan matahari
3. Pengukuran perbandingan daya tangkap solar sel bergerak terhadap solar sel diam
4. Efisiensi yang diperoleh sistem solar sel menggunakan pengikut posisi matahari

4.1. Pengujian Output Sensor Terhadap Perubahan Intensitas Cahaya

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tegangan keluaran LDR terhadap perubahan cahaya Matahari. Alat/ bahan yang digunakan, yaitu AVO meter, Resistor dan LDR, Power supply, dan Cahaya Matahari. Adapun prosedur pengujiannya, sebagai berikut:

1. Merangkai rangkaian membentuk voltage divider pada PCB Lubang kemudian di solder.
2. AVO meter pada posisi ohmmeter digunakan mengukur hambatan LDR, kemudian nilai hambatan dicatat
3. Rangkaian diberi sumber, 5VDC dari power supply

4. AVO meter pada posisi voltmeter DC, digunakan untuk mengukur tegangan pada nilai R output.

Hasil pengujian terhadap output sensor perubahan intensitas cahaya dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Tabel pengujian output LDR

Kondisi	Hambatan pada LDR	Tegangan pada R output	Pukul
Terang	60 Ω	4.8 V	12.00 WIB
Gelap	1000 Ω	2.25 V	16.00 WIB

Dari data diatas, terlihat bahwa tegangan pada R output dapat menghasilkan perubahan tegangan pada saat kondisi terang 4,8V sedangkan saat kondisi gelap 2,25V. Karakter output ini menunjukkan sensor perubahan intensitas cahaya berfungsi dengan baik.

4.2. Pengujian Hasil Konversi ADC Terhadap Posisi Perubahan Matahari.

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui sambungan secara hardware smart relay dan sensor sudah tersambung dengan baik serta untuk mengetahui output ADC (data digital) terhadap pergeseran posisi matahari. Alat/bahan yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah sensor cahaya, smart relay, stop watch, mekanik penyangga sensor, dan power supply.

Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian diberi sumber DC
2. Smart Relay diisi program uji 1
3. Mekanik dibuat pada posisi keatas, sejajar dengan posisi horizontal.
4. Data tampilan pada zelio soft dicatat setiap 1 jam sekali

Setelah dilakukan pengujian, berdasarkan hasil tampilan pada zelio soft di laptop dapat diketahui data ADC hasil konversi yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Output ADC berdasarkan perubahan posisi matahari

NO	Pukul	Data Digital TIMUR	Data Digital BARAT
1	08.00	245	160
2	09.00	244	163
3	10.00	244	168
4	11.00	243	210
5	12.00	229	213
6	13.00	223	214
7	14.00	214	216
8	15.00	181	228
9	16.00	170	230

Berdasarkan data diatas dapat dilihat dari setiap perubahan satu jam data output sensor berubah sesuai pergeseran posisi matahari. Dari data diatas dapat dianalisa:

1. Dari kolom data digital timur diatas dapat dilihat, mulai pukul 08.00 sd 16.00 data berubah dari besar menjadi semakin kecil
2. Dari kolom data digital barat, mulai pukul 08.00 sd 16.00 data berubah dari kecil mejadi besar.
3. Pada data ke 6 dan 7, nilai data digital timur dan barat hampir sama karena pada saat tersebut matahari tepat posisi diatas.

4.3. Pengukuran Perbandingan Daya Tangkap Solar Sel Bergerak Terhadap Solar Sel Diam

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui karakter output solar sel terhadap perubahan posisi matahari dan membandingkan output solar sel antara

sistem yang statis dan system solar sel yang bergerak mengikuti gerak matahari. Alat dan bahan pengujian meliputi Solar Sel, spesifikasi : 100Wp, 12V, Solar charger controller, AVO meter, Battery, 12V, 100AH, VRLA, dan Bracket solar sel statis yang disetting selalu menghadap keatas, serta mekanik solar sel dengan sistem dinamis dapat mengikuti posisi matahari.

Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Solar sel sistem statis dan dinamis diletakkan pada posisi bersebelahan
2. Solar sel sistem dinamis smart relay diisi program lengkap.
3. Setiap output solar charger controller diukur tegangan dan arusnya setiap satu jam
4. Hasil Pengukuran tegangan dan arus kedua system dicatat.

Dari hasil pengukuran dapat dibandingkan system statis dan dinamis, yang ditunjukkan dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3. Tabel perbandingan solar sel statis dan solar sel dinamis

No	Waktu	Solar Sel menghadap keatas (statis)		Solar Sel menghadap matahari (dinamis)	
		V	I	V	I
1	08.00	12,35	3,05	12,43	4,12
2	09.00	12,45	3,7	12,49	4,36
3	10.00	12,5	3,78	12,53	4,18
4	11.00	12,64	4,38	12,68	4,36
5	12.00	12,69	4,36	12,7	4,39
6	13.00	12,83	4,62	12,92	4,73
7	14.00	12,5	2,0	12,51	2,14
8	15.00	12,64	3,36	12,89	4,43
9	16.00	12,54	0,36	12,63	0,51

Dari data diatas dapat dianalisa :

1. Dari kedua sistem diatas, untuk tegangan cenderung mempunyai output sama
2. Untuk arus pada sistem statis saat pagi hari kecil kemudian saat siang hari naik dan kemudian mengecil lagi pada sore hari.
3. Untuk arus pada system dinamis saat pagi sampai dengan sore cenderung stabil kecuali saat mendung pada data ke tujuh.

4.4. Pengujian mekanik dan motor DC

Tujuan pengujian ini adalah mengetahui sudut kemiringan maksimal solar sel baik Barat/Timur, mengetahui kemampuan gear box untuk menahan beban solar sel saat motor DC dimatikan (*power down*). Bagian-bagian dari mekanik penggerak solar sel dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Bagian bagian mekanik penggerak solar sel

Adapun alat dan bahan pengujian yang digunakan yaitu mekanik solar sel, solar sel, dan program smart relay untuk mengatur perubahan posisi solar sel mengikuti mekanik

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Solar sel dipasang pada *bracket* mekanik, motor DC disambung ke controller

2. Program dibuat solar sel miring ke timur setelah mengenai limit switch motor berhenti.
3. Kemudian sudut kemiringan diukur
4. Program dibuat solar sel miring ke barat setelah mengenai limit switch motor berhenti.
5. Kemudian sudut kemiringan diukur

Hasil Pengujian mekanik dan motor DC dapat dilihat dalam gambar 4.2 dan tabel 4.5



Gambar 4.2. Hasil uji kemiringan maksimum untuk batas Timur (Kanan) dan Barat (Kiri)

Tabel 4.4. Pengujian sudut kemiringan dan perputaran mekanik

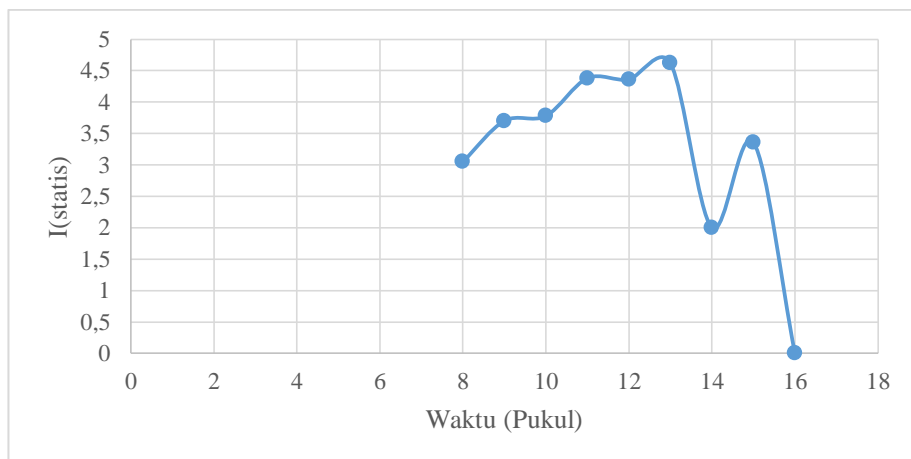
Posisi	Maksimum Timur	Maksimum Barat
Dari posisi nol	150°	150°
Total resolusi	300°	

4.5 Efisiensi yang diperoleh sistem solar sel menggunakan pengikut posisi matahari.

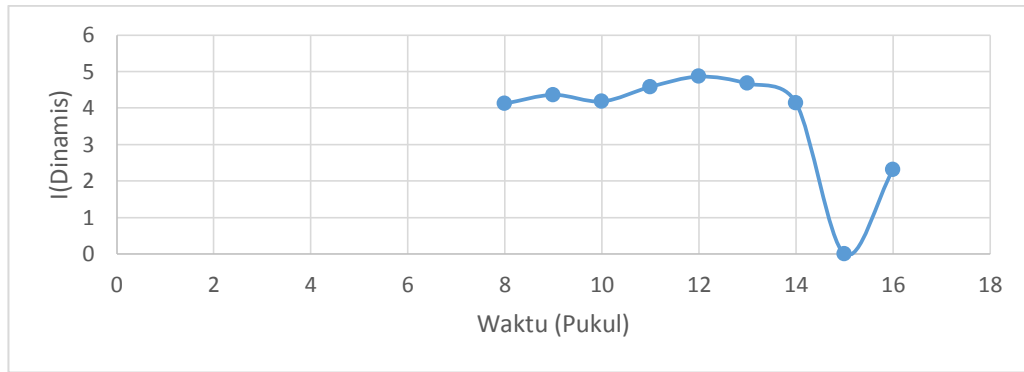
Pengukuran ini dilaksanakan bertujuan mengetahui perbaikan arus dan energi antara sistem statis dan dinamis.

Tabel 4.5. Rata rata perolehan arus dan tegangan

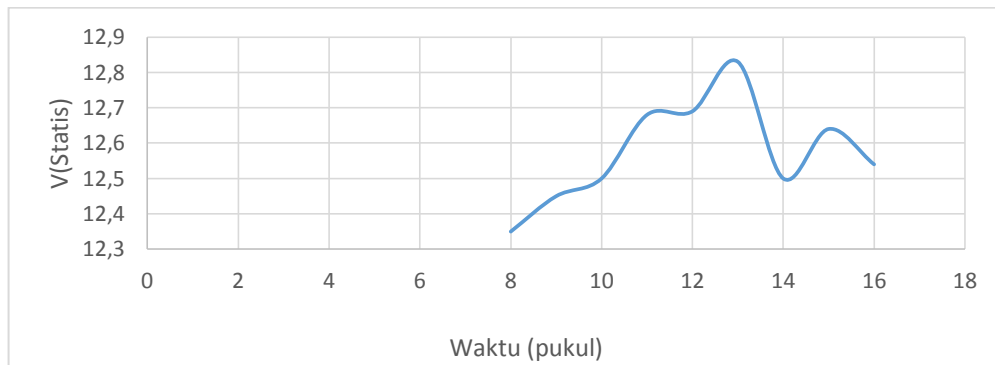
PUKUL	I (STATIS)	I (DINAMIS)	PUKUL	V (STATIS)	V (DINAMIS)
08.00	3,05	4,12	08.00	12,35	12,43
09.00	3,7	4,36	09.00	12,45	12,49
10.00	3,78	4,18	10.00	12,5	12,53
11.00	4,38	4,36	11.00	12,64	12,68
12.00	4,36	4,39	12.00	12,69	12,7
13.00	4,62	4,73	13.00	12,83	12,92
14.00	2,0	2,14	14.00	12,5	12,51
15.00	3,36	4,43	15.00	12,64	12,89
16.00	0,36	0,51	16.00	12,54	12,63
Total	29,61	33,22	Total	113,14	113,78
Rata - rata	3,281111	3,691111	Rata – rata	12,5711	12,64222



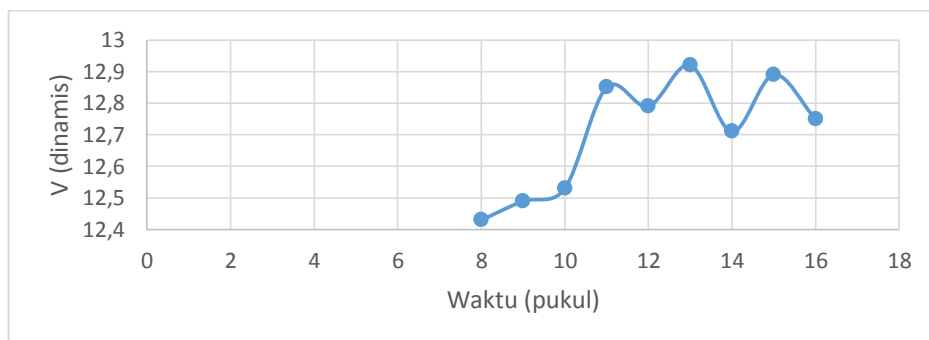
Gambar. 4.3. Grafik Arus (I) Statis terhadap waktu



Gambar. 4.4. Grafik Arus (I) dinamis terhadap waktu



Gambar. 4.5. Grafik Tegangan (V) statis terhadap waktu



Gambar. 4.6. Grafik Tegangan (V) dinamis terhadap waktu

Data perbandingan arus penerimaan solar sel statis dan dinamis ditunjukkan dalam tabel 4.6. Berdasarkan data tersebut, dapat dilakukan analisis sebagai berikut :

1. Selisih rata rata arus yang didapat solar sel dinamis: $3,69 - 3,28 = 0,41$ A
2. Untuk tegangan dari kedua sistem cenderung sama yaitu : 12,64 V
3. Jika pengambilan data diperoleh selama 8 jam maka energi:

$$\begin{aligned}
 \text{Statis} \quad W &= V \times I \times t \\
 &= 12,57 \times 3,28 \times 8 \\
 &= 329,83 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dinamis} \quad W &= V \times I \times t \\
 &= 12,64 \times 3,69 \times 8 \\
 &= 373,13 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Karena sistem dinamis arus masih dikonsumsi untuk 1 motor total arus 3A, maka perhitungan sebagai berikut:

Energi Konsumsi motor: $W_{\text{timur - barat}} + W_{\text{posisi_tengah}}$

Waktu timur-barat = 210 detik = 0,058 jam

$W_{\text{timur - barat}} = 12,57 \times 3 \times 0,058 = 2,18$ Wh

Waktu posisi_tengah = 105 detik = 0,029 jam

$W_{\text{posisi_tengah}} = 12,57 \times 3 \times 0,029 = 1,094$ Wh

$W_{\text{Konsumsi motor}} = 2,18 + 1,094 = 3,274$ Wh

Sehingga bersih sistem dinamis menghasilkan energi setiap hari:

$W_{\text{dinamis}}: 373,13 \text{ Wh} - 4,36 \text{ Wh} = 368,77 \text{ Wh}$

Maka dari data data diatas sistem dinamis menghasilkan energi lebih besar sebanyak 38,94 Wh dari sistem statis.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan perancangan, pembuatan, dilanjutkan dengan pengujian maka hasil dari Sistem Kendali Posisi Solar Sel Mengikuti Posisi Matahari Berbasis smart relay SR3B101BD dari schneider dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan smart relay SR3B101BD dari schneider dengan menggunakan bahasa Function Block Diagram (FBD) sistem dapat bekerja mengikuti posisi matahari Barat dan Timur dengan waktu tempuh 210 detik dari posisi maksimum barat sampai menemukan matahari disebelah timur,
2. Mekanik dapat bergerak maksimum mengikuti posisi matahari dengan resolusi sudut selebar 280° untuk Barat – Timur
3. Dengan pengambilan data pada bulan Desember 2021 sistem solar sel yang bisa mengikuti posisi matahari dihasilkan:
 - a. Perbaikan arus rata rata yang dihasilkan selama satu hari meningkat sebesar 0,34 A (10,3 %) dari 3,29 A sistem statis.
 - b. Perbaikan Energi setelah dikurangi konsumsi motor meningkat sebesar 31,726 Wh (9,58 %) dari 330,84 Wh sistem statis dengan lama pengambilan data selama 8 jam/hari.

5.2. Saran

Peneliti memberikan saran yang mungkin dapat memberi manfaat kepada pihak-pihak yang terkait dalam penelitian ini. Saran-saran penulis sebagai berikut:

1. Saat melakukan pointing terhadap matahari antara aksis B-T kadang masih terjadi gerakan tarik-menarik beberapa kali, sehingga waktu pointing menjadi lebih lama beberapa detik. Untuk pengembangan lebih lanjut dengan metode kecerdasan buatan yang lebih baik bisa menimalisasi hal tersebut.
2. Dari pengujian secara *real time* satu hari penuh pada penelitian ini masih terkendala kondisi berawan(mendung). Dengan metode pendeteksian kondisi berawan akan lebih meningkatkan penghematan energi yang dikonsumsi motor.

Untuk realisasi alat dilapangan perlu design *water proof* untuk sensor dan motor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jhee Fhong Lee; Nasrudin Abd. Rahim; and Yusuf A. Al-Turki.2013. Performance of Dual-Axis Solar Tracker versus Static Solar System by Segmented Clearness Index in Malaysia, *International Journal of Photoenergy*, Volume 2013, Article ID 820714
- [2] Hery Soejendro.2014. Rancang Bangun Kontrol Posisi Pada Solar Sel Untuk Mengoptimalkan Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya. <http://www.vedcmalang.com/pppstkboemlg/index.php>,
- [3] Taofik Triwibowo, 2011. *Kendali Posisi Tiga Dimensi Solar Tracker Pada Solar Sel menggunakan kendali proporsional derivatif (PD)*. Skripsi S1 Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang
- [4] Nur Sultan Salahuddin, Adi Setiyo, Sri Poernomo Sari. Optimalisasi Sistem Kendali Panel Surya. Universitas Gunadarma Jakarta
- [5] *Rotasi dan Revolusi Bumi.* <http://www.rumus-fisika.com/2014/03/rotasi-dan-revolusi-bumi.html>,
- [6] Raviteja, C., et.all.2012. *Microcontroller Based Solar Charger.* <http://www.final-yearproject.com>
- [7] Giri Woryanto; Dikpride Despa; Endah Komalasari; Noer Soedjarwanto, *Rancang bangun battery charge controller dual sumber suplai beban dengan plts dan pln berbasis mikrokontroler*
- [8] Dadan hamdani; Kadek subagiada; Lambang subagiyo. 2011. Analisis kinerja solar photovoltaic system (SPS) berdasarkan tinjauan efisiensi energi dan eksergi, *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, Vol. 01, No. 02 (2011) 84 – 92
- [9] *Solar Cell* http://en.wikipedia.org/wiki/solar_cell
- [10] Dasar, elektronika. 2013. *Solar Cell.* <http://elektronika-dasar.web.id/>
- [11] Datasheet EPIP20-DB Solar Charge Controller

- [12] Wallies Thounaojam; V Ebenezer, 2014. Avinash Balekundri, Design and Developmet of microcontroller Based Solar Charge Controller *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*
- [13] Rashid Ahammed Ferdaus; Mahir Asif Mohammed; Sanzidur Rahman; Sayedus Salehin; and Mohammad Abdul Mannan, 2014. Energy Efficient Hybrid Dual Axis Solar Tracking System, *Journal of Renewable Energy*
- [14] Suwarno. Optimization of Solar Panel Module Positions. *International Journal of Engineering Research (IJER)*. ISSN: 2319-6890 (online), 2347-5013 (print). 2017
- [16] Rohana and Suwarno, "Optimization circuit based buck-boost converter for charging the solar power plant," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 254–258, 2017, doi: 10.11591/ijeecs.v6.i2.pp254-258.
- [17] Timotius Chris, Ratnata I Wayan, Mulyadi Yadi, Mulyana Elih, (2009), Perancangan dan Pembuatan Listrik Tenaga Surya, Laporan Penelitian Hibah Kompetitif, Perancangan dan Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.
- [18] (Source: infinite solar: <http://solarschoolpa.com/blog/the-potential-of-solar-power-for-the-future.html>)
- [19] <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>.
- [20] Muhammad Fitara Zambak, "UniMAP Library Digital," *SSRN Electron. J.*, vol. 1, no. 2, p.2013
- [21] Sofyan Moch.(2013) Manual Bookhead Of New & Renewable Energy Division PT PLN (Persero) Solar Workshop, Indonesia Jakarta,
- [22] Bansai NK, et .al. 1990. Renewable Energy Sources And Conversion Technology, Tata McGraw-Hill Publishing Co. Limited, New Delhi
- [23] Darmawan andy, (2008) .Penerapan Sistem Photovoltaik Sebagai Suplai Daya Listrik Beban Pertamanan
- [24] Djamain, Martin, 2000, Strategi Penerapan Energi Surya di Indonesia, seminar Peran dan Perkembangan Energi Surya Sebagai Energi Alternatif, Universitas Gajayana.
- [25] Mahmudsyah Syariffuddin, 2000, Teknik Pembangkitan, Aplikasi dan Perkembangan Sel Surya di Indonesia, Makalah seminar Peran dan Perkembangan Energi Surya Sebagai Energi Alternatif, Universitas Gajayana.

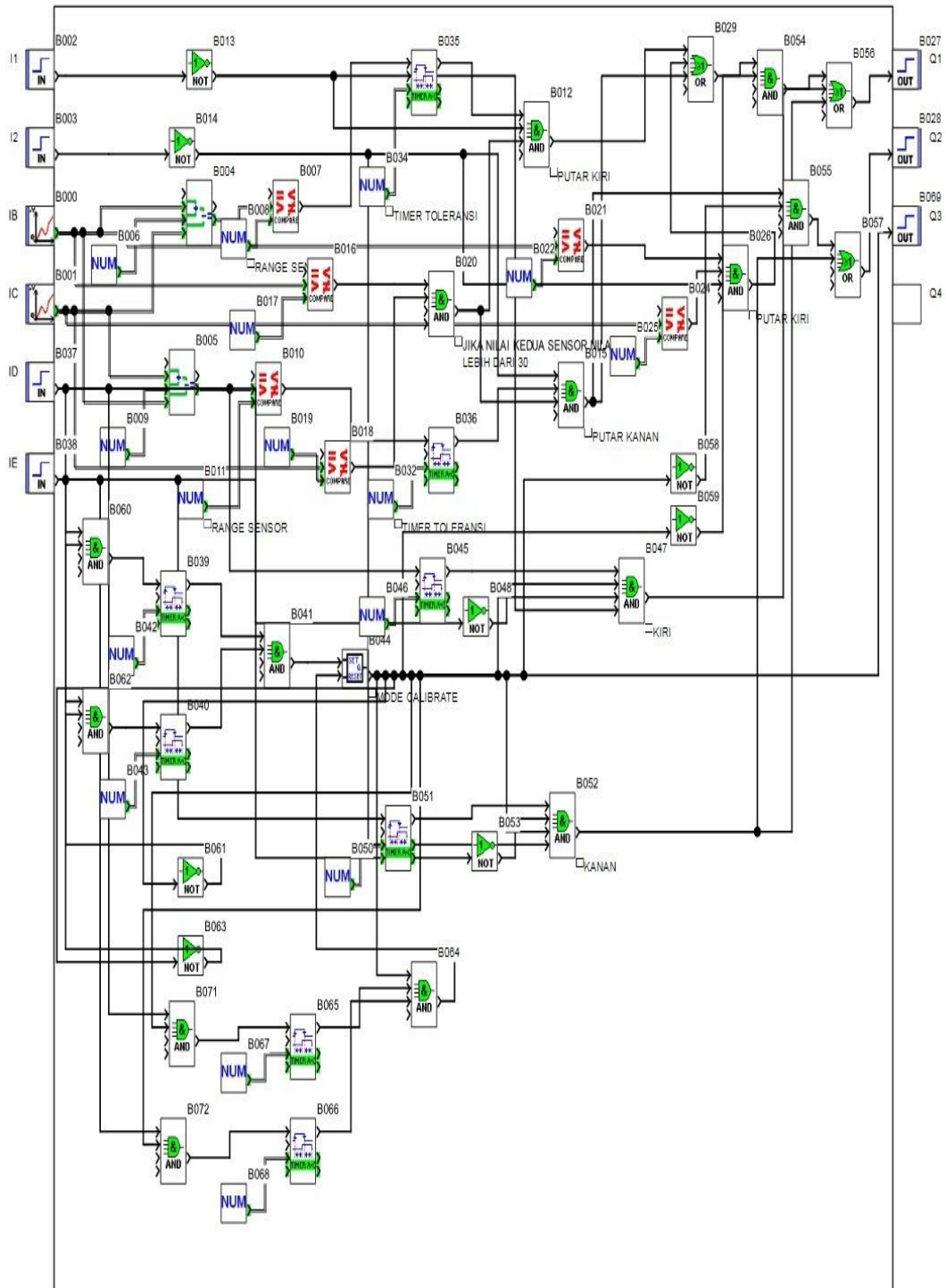
[26] <https://gurulistrikeren.blogspot.com/2018/03/pemrograman-zelio-soft-2>

[27] Rislina Sitompul (2011). Teknologi energi terbarukan yang tepat untuk aplikasi di masyarakat pedesaan, PNPM Mandiri.

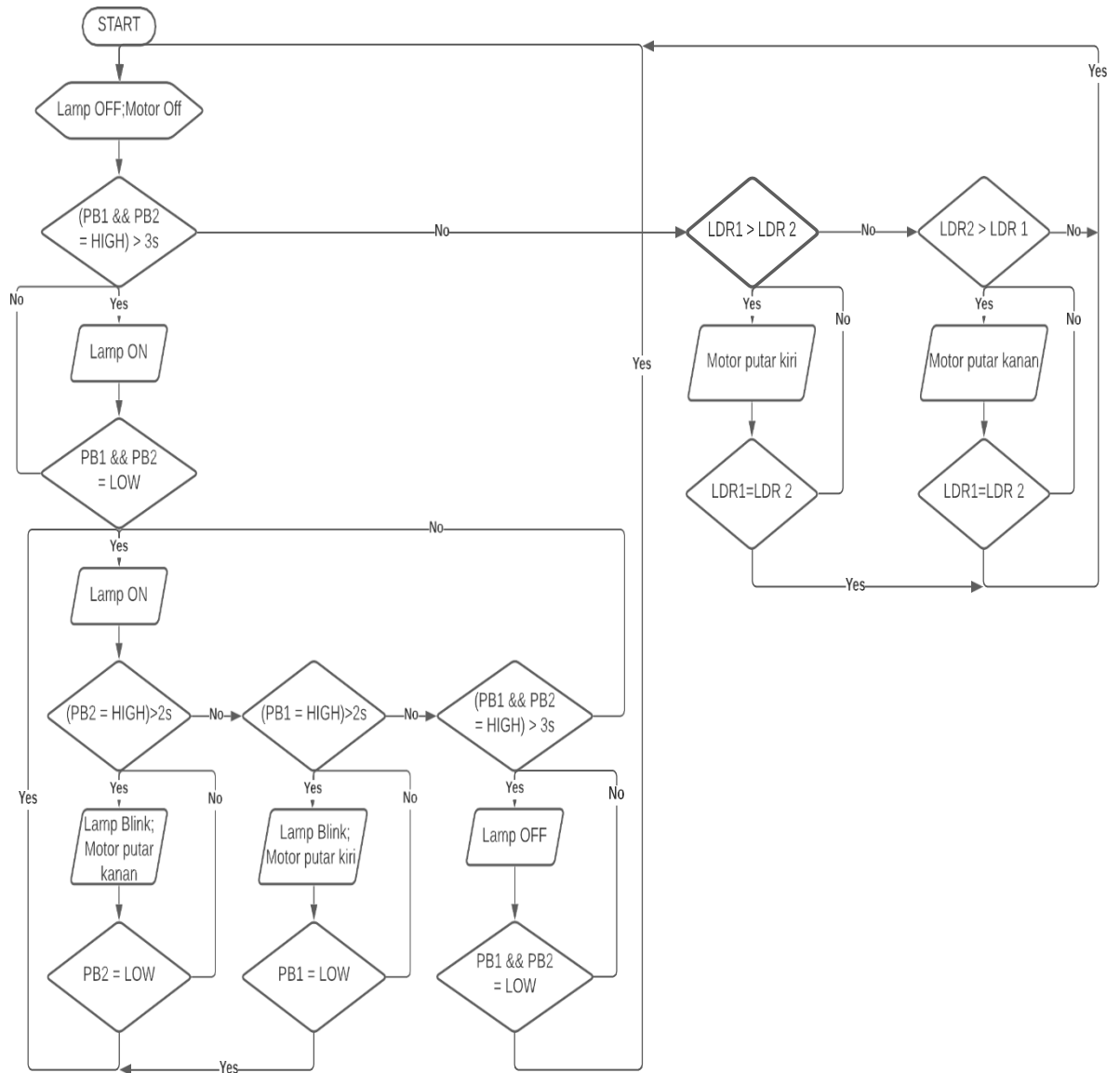
LAMPIRAN

1. Rancangan pemrograman sistem tracking dengan menggunakan FBD

Program diagram



2. Diagram perancangan



3. Hasil Perancangan alat



