



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN SOLAR TRACKING SYSTEM
UNTUK MENGOPTIMALKAN PENYERAPAN ENERGI
MATAHARI PADA SOLAR CELL**

SKRIPSI

**WASANA SAPUTRA
0405230493**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
GANJIL 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN SOLAR TRACKING SYSTEM
UNTUK MENGOPTIMALKAN PENYERAPAN ENERGI
MATAHARI PADA SOLAR CELL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai syarat memperoleh gelar sarjana

**WASANA SAPUTRA
0405230493**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
GANJIL 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Wasana Saputra

NPM : 0405230493

Tanda tangan :

Tanggal : 19 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Wasana Saputra
NPM : 0405230493
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun *Solar Tracking System* Untuk
Mengoptimalkan Penyerapan Energi Matahari Pada
Solar Cell

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Arief Udhiarto ST, MT (.....)

Penguji : Dr. Ir. Agus Ramli Santoso Tamsir, MT (.....)

Penguji : Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 19 Desember 2008

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur kehadirat **Allah S.W.T**, dan tanpa menghilangkan rasa hormat yang mendalam penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Arief Udhiarto ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar dan ikhlas memberikan saran dan bimbingan.
2. Bapak Eko Kridono PT. ABBOTT INDONESIA atas kesediaan waktu untuk konsultasi dan diskusi.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Depok, 19 Desember 2008

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Wasana Saputra
NPM : 0405230493
Program studi : Teknik Elektro
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-Exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Rancang Bangun *Solar Tracking System* Untuk Mengoptimalkan Penyerapan
Energi Matahari Pada *Solar Cell*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 19 Desember 2008

Yang menyatakan

(.....)

ABSTRAK

Nama : Wasana Saputra
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun *Solar Tracking System* Untuk
Mengoptimalkan Penyerapan Energi Matahari Pada Solar Cell

Pada saat ini *solar cell* sudah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Solar cell* yang terpasang kebanyakan bersifat statis. Hal ini mengakibatkan penyerapan energi matahari oleh *solar cell* kurang optimal. Agar penyerapan energi matahari oleh *solar cell* optimal, maka *solar cell* harus mempunyai sistem yang selalu mengikuti arah matahari. Skripsi ini membahas tentang *solar tracking system* yang terdiri dari *solar tracker*. *Solar tracking system* yang dibuat merupakan prototype. *Solar tracker* berfungsi untuk mengoptimalkan penerimaan energi matahari oleh *solar cell*. Hasil pengujian yang diperoleh yaitu solar tracker yang dibuat belum berfungsi dengan baik karena kesalahan penempatan posisi LDR dan sudut ideal untuk penempatan LDR terhadap garis normal adalah 41.85° . Dari hasil tersebut disarankan bahwa untuk program lebih lanjut penempatan LDR pada sudut 41.85° , dimensi papan *solar cell* dicari yang ideal dan adanya *solar charging*.

Kata kunci : *Solar tracker, solar cell*

ABSTRACT

Name : Wasana Saputra
Study Program : Electrical Engineering
Title : Design Solar Tracking System for Sun Energy Absorption
Optimally On Solar Cell

Now days, solar cell is used almost at the daily needs. Solar cell is installed mostly as statical. This situation make sun energy absorption is not optimized. To optimize the absorption, solar cell must have a system to respond sun movement. This study is focused to describe solar tracking system, which contain solar tracker. Solar tracking system is made for simulation. The function of Solar tracker is to optimize sun energy absorption by solar cell. Results of this study is solar tracker can't perform well because position of LDR is failed and ideal angle for LDR position than normal line is 41.85° . The researcher suggests that for improvement, angle for LDR position than normal line is 41.85 , dimension of solar cell support ideally and also use solar charger as supported equipment.

Keywords : Solar tracker, solar cell

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Rumusan Masalah	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Cara Memperoleh Data	2
BAB 2 LANDASAN TEORI	3
2.1 Sejarah <i>Solar Cell</i>	3
2.2 <i>Photovoltaic</i>	4
2.3 Keuntungan dan kerugian dari cell PV	4
2.3.1 Keuntungan	4
2.3.2 Kerugian	5
2.4 Op-amp	6
2.4.1 Simbol dan terminal	6
2.4.2 Op-amp ideal	6
2.4.3 Karakteristik dan parameter	7
2.5 Komparator Tegangan (<i>Voltage Comparator</i>)	10
2.6 LDR (Light Dependent Resistor)	11
BAB III PERANCANGAN	12
3.1 <i>Solar tracker</i>	12
BAB IV HASIL PENGUJIAN	19
4.2 Pengujian <i>Solar tracker</i> pada luar ruangan	19
4.2 Pengujian <i>Solar tracker</i> dalam ruangan	21
4.3 Pengukuran intensitas cahaya pada papan alternatif	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	27
5.1 Kesimpulan	27
5.2 Saran	27
DAFTAR REFERENSI	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Definisi sel <i>photovoltaic</i> , modul, panel, and array	4
Gambar 2.2 Simbol Op-Amp	6
Gambar 2.3 Op-Amp ideal	7
Gambar 2.4 Impedansi masukan	7
Gambar 2.5 Impedansi keluaran	8
Gambar 2.6 Konsep arus bias masukan	8
Gambar 2.7 Pengaruh dari arus offset masukan	9
Gambar 2.8 Slew rate	10
Gambar 2.9 Pembeding tegangan (a) diagram skematik (b) tabel tegangan masukan/keluaran	11
Gambar 2.10 Simbol LDR	11
Gambar 3.1 Pergerakan <i>solar cell</i> dari timur ke barat	12
Gambar 3.2 Pergerakan <i>solar cell</i> dari barat ke timur	13
Gambar 3.3 Blok Unit <i>drive west</i>	13
Gambar 3.4 Blok Unit <i>drive east</i>	14
Gambar 3.5 Blok Unit pembatas	15
Gambar 3.6 Blok Unit berhenti	15
Gambar 3.7 Rangkaian <i>Solar Tracker</i>	13
Gambar 4.1 Dimensi papan solar cell	19
Gambar 4.2 <i>Solar tracker</i> pada pagi hari	20
Gambar 4.3 <i>East limit switch</i> tertekan	20
Gambar 4.4 Posisi papan pada siang hari	20
Gambar 4.5 Posisi papan pada sore hari	21
Gambar 4.6 Papan <i>Solar Cell alternatif</i>	23

DAFTAR TABEL

Tabel Komponen <i>solar tracker</i>	18
Tabel 4.1 Hasil pengujian menggunakan senter.....	21
Tabel 4.2 Pengukuran Intensitas Cahaya pada pukul 08.30 WIB.....	23
Tabel 4.3 Pengukuran Intensitas Cahaya pada pukul 11.30 WIB.....	23
Tabel 4.4 Pengukuran Intensitas Cahaya pada pukul 14.30 WIB.....	23



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah dan Rumusan Masalah

Peningkatan populasi dan pertumbuhan ekonomi memicu bertambahnya permintaan terhadap energi dunia. Dengan persediaan energi konvensional saat ini berarti terjadi penambahan pemakaian persediaan energi fosil dan meningkatnya emisi dari gas yang dapat membahayakan lingkungan. Jika hal ini terjadi terus menerus maka lingkungan dan masa depan kita akan terancam. Karena kita tahu bahwa sumber minyak dunia akan habis dan kita tidak mempunyai cara untuk mengisi ulang lagi sumber minyak tersebut. Dengan demikian perlu menemukan alternatif lain guna mendukung atau mempertahankan kebutuhan saat ini dan gaya hidup yang menggunakan energi yang dapat diperbaharui.

Ada beberapa sumber yang dapat diperbaharui yang tersedia dimana dapat digunakan dalam skala besar untuk menghasilkan listrik di daerah terpencil dimana jaringan listrik tidak tersedia. Yang termasuk dalam tipe ini antara lain sinar, angin, panas bumi, air, dan lain-lain. Kombinasi dari dua atau lebih dari sumber ini dapat digunakan dan biasanya dikenal dengan *Hybrid system*.

Solar cell dengan kemajuan teknologi menjadi sangat umum sekarang ini. Seperti yang kita ketahui *solar cell* adalah alat yang mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik dan keuntungannya adalah sinar matahari dapat diperoleh setiap hari secara bebas. Penggunaan *solar cell* sangatlah luas di dunia, sebagai contoh: penggunaan yang paling umum di kalkulator dan menggantikan fungsi baterai. Selama tersedianya sinar, kalkulator dapat berfungsi selamanya. Panel *solar* yang lebih besar juga digunakan untuk menyediakan tenaga untuk lampu lalu lintas, telephone, lampu jalan, rumah, kapal, mobil elektrik tenaga surya yang dapat beroperasi tanpa minyak, dan lain-lain.

Permasalahan yang ada sekarang ini adalah *solar cell* yang terpasang kebanyakan masih bersifat statis. Hal ini menyebabkan penerimaan energi matahari tidak optimal. Oleh karena itu, perlu dibuat suatu sistem yang dapat membuat *solar cell* selalu mengikuti arah pergerakan matahari.

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam pembuatan skripsi ini adalah untuk merencanakan, merancang dan membuat *Solar Tracking System*. Dengan selesainya skripsi ini diharapkan adanya proses alih teknologi serta penguasaan dan pengalaman terhadap ilmu yang diperoleh yaitu membangun suatu sistem yang dapat mengaplikasikan berbagai disiplin ilmu yang telah dipelajari, dan akhirnya semoga *Solar Tracking System* ini dapat berguna dan dapat memenuhi fungsinya seperti yang diharapkan dan dapat diterapkan didalam suatu aplikasi yang nyata.

1.3 Batasan masalah

Solar Tracking System yang dibuat merupakan *prototype* yang terdiri dari :

- a. Rangkaian *Solar Tracking*.
- b. *Display* suhu dan kelembaban.

1.4 Cara Memperoleh Data

Rancang bangun *Solar Tracking System* menggunakan beberapa metoda, yaitu:

- a. Referensi buku, metoda yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai *Solar Tracker*.
- b. Konsultasi, metoda yang dilakukan untuk mendapatkan informasi tambahan yang mendukung rancang bangun *Solar Tracking System* dari pihak-pihak lain.
- c. Analisa terstruktur, metoda yang digunakan untuk membangun rancangan *Solar Tracking System* dan untuk menganalisa rancangan yang dibuat.
- d. Eksperimen dan uji coba, metoda yang digunakan untuk menguji *Solar Tracking System*.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sejarah *solar cell*

Seorang ahli fisika dari Perancis, *Edmund Bequerel* pertama kali menemukan efek *photovoltaic* (PV) pada tahun 1839. Ia menemukan beberapa material menghasilkan listrik dalam jumlah kecil bila dipaparkan ke sinar [1]. Pada tahun 1870an, *Heinrich Hertz* pertama kali meneliti penemuan *Bequerel* pada material padat, seperti *selenium*. Kemudian *Selenium PV cell* diciptakan untuk mengubah sinar menjadi listrik dengan efisiensi 1% sampai 2% [2]. Material ini digunakan selama beberapa tahun pada *light meter*, yang hanya dibutuhkan tenaga dalam jumlah kecil. Pada tahun 1905, *Albert Einstein* menerangkan bahwa sinar alami dan fotoelektrik menimbulkan efek pada teknologi PV, yang kemudian dia memenangkan hadiah Nobel dalam bidang fisika [1].

Pada tahun 1940an dan awal 1950an, proses *Czochralski* dikembangkan dan digunakan untuk menghasilkan kristal silikon dengan kemurnian tinggi. Kemudian pada tahun 1954 berdasarkan pada proses *Czochralski*, kristal silikon *photovoltaic cell* pertama dikembangkan oleh *Chapin, Fuller dan Pearson* di *Bell Laboratories* dengan efisiensi 6% [2]. PV cell membuka jalan untuk industri luar angkasa pada tahun 1960an untuk menyediakan tenaga dalam pesawat luar angkasa. Sistem PV pertama yang digunakan untuk industri angkasa luar sangat mahal dalam pembuatannya, biayanya mencapai lebih dari US\$2000 per watt dengan output yang dibandingkan terhadap system sekarang ini sekitar US\$5 per watt [3]. Dengan kemajuan teknologi dan program luar angkasa, PV cell menjadi lebih dipercaya dan biaya menjadi lebih rendah. Selama krisis energi tahun 1970an, teknologi *photovoltaic* mendapatkan pengakuan sebagai sumber tenaga untuk pemakaian selain untuk angkasa luar [4]. *Photovoltaic* dapat diakui dan memiliki efisiensi sekitar 18% pada tiga puluh tahun yang lalu.

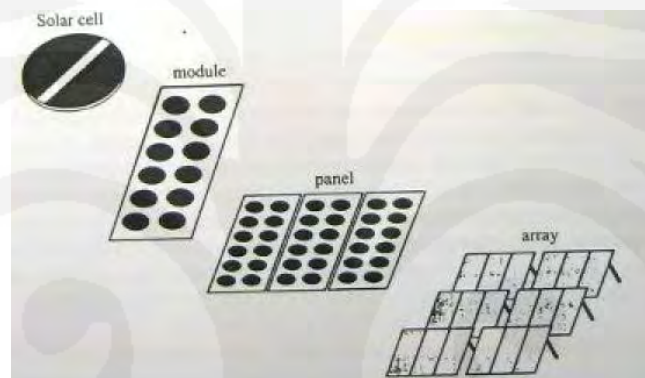
Dengan kemajuan industri PV, banyak produk PV yang dikembangkan di dunia. Sekitar 5 Megawatt dari modul *photovoltaic* dikirim pada tahun 1982 dan

sekitar 60 Megawatts yang disediakan pada tahun 1992 [1].

Seperti yang diterangkan, system PV saat ini dapat menyediakan tenaga apapun dari setiap bola lampu di daerah pedalaman. Dengan meningkatnya pasaran PV, fasilitas produksi sudah digandakan dan biaya produksi sudah diturunkan.

2.2 Photovoltaic

Modul Photovoltaic (PV) terdiri dari beberapa *solar cell* yang terhubung seri. Tiap sel umumnya menghasilkan tegangan 0.5 sampai 0.6 volt. Jika 32 sampai 34 buah sel terhubung secara seri, maka output yang dihasilkan kurang lebih 18 Volt.



Gambar 2.1: Definisi sel *photovoltaic*, modul, panel, and array [5]

Untuk menghasilkan daya besar, modul – modul PV dihubungkan secara seri atau paralel yang disebut dengan array. Akan tetapi, untuk menghasilkan persediaan jaringan listrik, banyak panel yang dihubungkan bersama-sama yang disebut *photovoltaic array*.

2.3 Keuntungan dan kerugian dari cell PV

2.3.1 Keuntungan

Photovoltaic dapat menyediakan banyak keuntungan dibandingkan sumber tenaga lain, seperti generator diesel, fosil dan sumber nuklir, tenaga *utility* konvensional, dan lain-lain. Keuntungan ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. PV tidak membutuhkan bahan bakar minyak dan tidak ada gas emisi selama beroperasi. Dengan demikian, PV tidak menyebabkan polusi lingkungan. Tenaga yang berlimpah yang dibutuhkan PV adalah sinar matahari, yang gratis, secara luas ada di banyak negara dan sebenarnya tidak akan habis. PV juga beroperasi tanpa berisik dan tidak ada bagian

Universitas Indonesia

yang bergerak. Hal ini tidak hanya mengurangi biaya operasional tetapi juga mengurangi pekerjaan *maintenance* untuk pembersihan [6].

b. Modul PV terpercaya, stabil, tahan lama dan memiliki waktu beroperasi yang lama, biasanya lebih dari 10 tahun karena mereka tahan cuaca. Dengan demikian, biasanya PV merupakan pilihan yang disukai untuk pemakaian yang membutuhkan persediaan tenaga yang konsisten seperti untuk perawatan kesehatan, aplikasi untuk *emergency power*, dan lain-lain. Sistem PV biasanya dipasang di dekat tempat yang menghasilkan listrik. Hal ini menawarkan keuntungan pada jaringan *utility* karena tidak membutuhkan jalur transmisi yang panjang untuk membawa listrik dari jaringan ke daerah terpencil. Semakin sedikit jalur transmisi berarti semakin rendah biaya [1].

c. Sistem PV adalah unit modular. Berarti modul photovoltaic dapat dibangun untuk memenuhi kebutuhan perbedaan tenaga yang siap untuk ditambahkan ke sistem yang ada untuk memenuhi kenaikan kebutuhan. Karena sistem PV adalah modular, maka dapat dengan mudah dipindahkan ke daerah terpencil. Hal ini memungkinkan pengguna memiliki pilihan untuk memindahkan unit jika dibutuhkan, seperti membawa modul ke dalam rumah selama malam hari untuk mencegah dicuri atau dibongkar [5].

2.3.2 Kerugian

Di samping semua keuntungan PV, masih ada sedikit kekurangan dari sistem PV yang mesti dipertimbangkan sebagai berikut :

a. Kerugian utama dari sistem PV adalah output tenaga tergantung dari sinar matahari. Keberadaan sinar matahari dalam sehari sangat terbatas, khususnya selama musim dingin, hujan atau cuaca berawan. Awan menutupi matahari atau bayangan yang dihasilkan oleh gedung atau pohon akan menurunkan output sistem. Tanpa sinar matahari terutama pada malam hari, PV tidak dapat menghasilkan listrik. Dengan demikian, penggunaan tenaga pada malam hari membutuhkan cadangan tenaga seperti baterai, generator diesel [6].

b. Meskipun modul PV dapat menghasilkan listrik, tetapi hanya

menghasilkan tegangan DC. Untuk dapat menghasilkan listrik yang sebanding dengan 240V AC, dibutuhkan alat tambahan seperti regulator tegangan, inverter, dan lain-lain. Dan hal ini meningkatkan biaya operasional dan membuat sistem menjadi lebih kompleks [6].

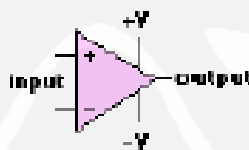
c. Biaya awal untuk sistem PV cukup besar bila dibandingkan dengan bentuk lain dari penghasil listrik karena peralatan sistem PV lebih mahal. Akibatnya, tidak banyak orang mau mengeluarkan biaya mahal. Dengan demikian, bantuan dalam bentuk finansial sangat dibutuhkan [1].

2.4 Op-amp

Penguat Operasional (Op-amp) sering dipakai dalam operasi matematik seperti penjumlah (*adder*), pengurang (*subtractor*), *integrator*, dan *differensiator*. Pada mulanya, op-amp dibangun dari tabung hampa dan bekerja pada tegangan tinggi. Sekarang, op-amp merupakan rangkaian terintegrasi linier yang memakai tegangan catu yang relatif rendah, handal dan murah.

2.4.1 Simbol dan terminal

Simbol standar dari op-amp ditunjukkan pada Gambar 2.2, terdiri dari dua masukan yang disebut masukan membalik (*inverting input*) dan masukan tak membalik (*non-inverting input*) serta satu buah terminal keluaran. Masukan membalik ditandai dengan (-), sedang masukan tak membalik dengan (+). Operasi dasar dari op-amp menggunakan dua catu dc, satu positif, dan satu lagi negatif.



Gambar 2.2 Simbol Op-Amp [7]

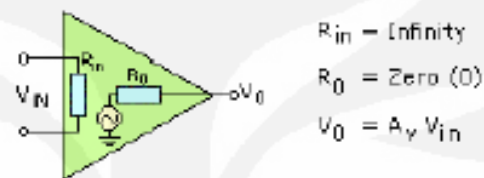
2.4.2 Op-amp ideal

Untuk mengerti tentang konsep dari op-amp, kita anggap bahwa op-amp mempunyai karakteristik yang ideal. Op-amp yang ideal memiliki sifat-sifat sebagai berikut [8] :

- a. Penguatan tegangan tak berhingga.
- b. Lebar pita tak berhingga.

- c. Impedansi masukan tak berhingga (terbuka), sehingga tidak ada pembebanan pada sinyal masukan.
- d. Impedansi keluaran nol.

Sifat-sifat diatas ditunjukkan pada Gambar 2.3. Tegangan masukan V_{in} ada diantara kedua terminal masukan, dan tegangan keluarannya adalah $A_v.V_{in}$, yang ditunjukkan sebagai symbol sumber tegangan dalam.

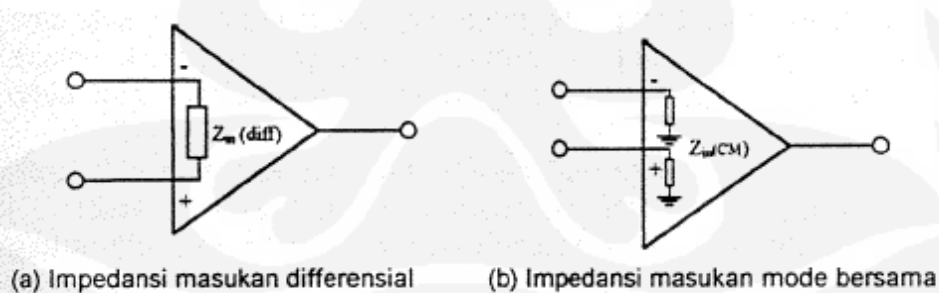


Gambar 2.3 Op-Amp ideal [7]

2.4.3 Karakteristik dan parameter

2.4.3.1 Impedansi masukan (*Input Impedance*)

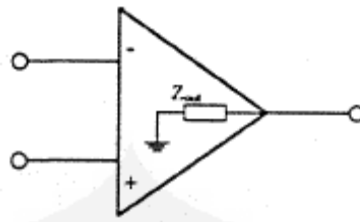
Secara praktis, impedansi masukan op-amp adalah ± 1 M Ohm atau lebih, tetapi ada juga yang mempunyai impedansi masukan sekitar 100 M Ohm. Sedangkan kapasitansinya kurang dari 2 pF saat salah satu masukannya ditanahkan.



Gambar 2.4 Impedansi masukan [8]

2.4.3.2 Impedansi keluaran (*Output Impedance*)

Dalam kenyataannya, impedansi keluaran untuk masing-masing op-amp adalah berbeda, nilai berkisar antara 25 sampai beberapa ribu ohm yang dilihat ke dalam keluaran op-amp.

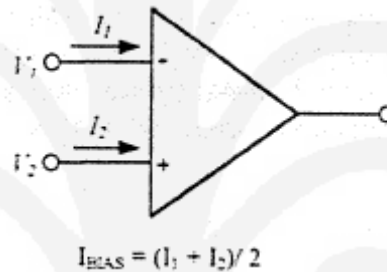


Gambar 2.5 Impedansi keluaran [8]

2.4.3.3 Arus bias masukan (*Input Bias Current*)

Arus masukan adalah arus basis. Sedangkan arus bias adalah rata-rata dari kedua arus input dan dihitung sebagai berikut :

$$I_{BIAS} = (I_1 + I_2)/2 \dots \dots \dots (2.1)$$



Gambar 2.6 Konsep arus bias masukan [8]

Idealnya kedua arus ini adalah sama.

2.4.3.4 Tegangan Offset Keluaran (*Output-Offset Voltage*)

Tegangan offset keluaran (*error voltage*) disebabkan oleh arus bias masukan. Saat kedua masukan mempunyai tegangan yang sama, keluaran op-amp akan nol, tetapi hal ini jarang terjadi, karena pada keluarannya akan selalu muncul tegangan kecil. Keadaan ini dapat dikurangi atau dikoreksi dengan *offset nulling*, diterapkan pada tegangan atau arus offset masukan.

2.4.3.5 Arus offset masukan (*Input-Offset Current*)

Idealnya, kedua arus bias masukan adalah sama, sehingga perbedaannya adalah nol. Dalam kenyataannya, perbedaan ini tidak sama dengan nol.

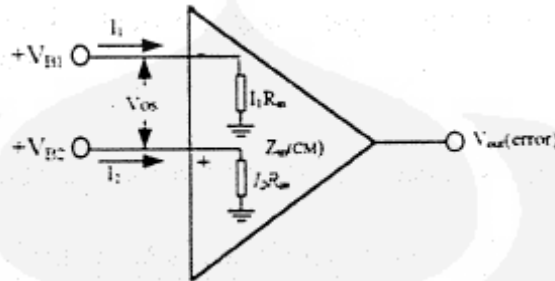
$$I_{OS} = [I_1 - I_2] \dots \dots \dots (2.2)$$

Tegangan offset yang disebabkan oleh arus offset masukan :

$$\begin{aligned} V_{OS} &= I_1 \cdot R_{in} - I_2 \cdot R_{in} \\ &= (I_1 - I_2) R_{in} \\ &= I_{OS} \cdot R_{in} \dots \dots \dots (2.3) \end{aligned}$$

Kesalahan yang disebabkan oleh I_{OS} dikuatkan dengan penguatan A_v :

$$V_{OUT(error)} = A_v \cdot I_{OS} \cdot R_{in} \dots \dots \dots (2.4)$$



Gambar 2.7 Pengaruh dari arus offset masukan [8]

2.4.3.5 Tegangan Offset masukan (*Input-Offset Voltage*)

Idealnya, tegangan keluaran op-amp adalah nol saat kedua tegangan masukan masukan nol. Karena tingginya penguatan op-amp, sedikit ada ketidakseimbangan rangkaian dapat menyebabkan adanya tegangan keluaran. Untuk mengatasi hal ini, pada salah satu masukannya diberikan tegangan offset yang kecil.

2.4.3.6 Pengaruh Temperatur (*Effects of Temperature*)

Perubahan temperature akan mempengaruhi semua piranti solid-state. Perubahan temperature dapat menyebabkan perubahan pada arus dan tegangan offset juga kesalahan tegangan pada keluaran.

2.4.3.7 Kompensasi Frekuensi (*Frequency compensation*)

Karena op-amp mempunyai penguatan yang tinggi dan pergeseran fasa dari rangkaian internal yang satu ke yang lain, pada frekuensi tinggi akan dicapai suatu titik dimana sinyal keluaran yang cukup diumpan balikkan ke masukan dan menyebabkan osilasi. Biasanya pada rangkaian dalam atau luar ditambahkan kapasitor kompensasi. Osilasi dapat dicegah dengan penurunan penguatan bila frekuensi bertambah.

2.4.3.8 *Slew rate*

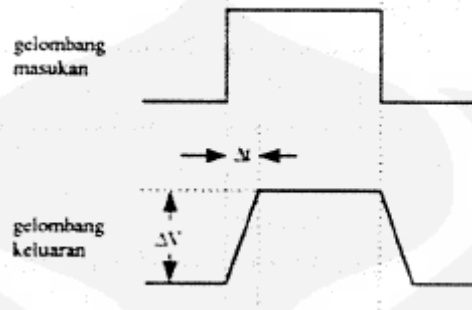
Slew rate adalah perubahan rate maksimum dari tegangan keluaran op-amp.

$Slew\ rate = \Delta V_{out(max)} / \Delta t$, dimana :

$\Delta V_{out(max)}$ = perubahan maksimum pada tegangan keluaran.

Δt = perubahan waktu.

Secara umum, op-amp “741 general purpose” mempunyai slew rate 0.5 V/Us.



Gambar 2.8 Slew rate [8]

2.4.3.9 Respon Frekuensi

Penguatan op-amp akan berkurang bila frekuensi dinaikkan. Titik “break over” terjadi pada 70,7 % dari penguatan maksimum.

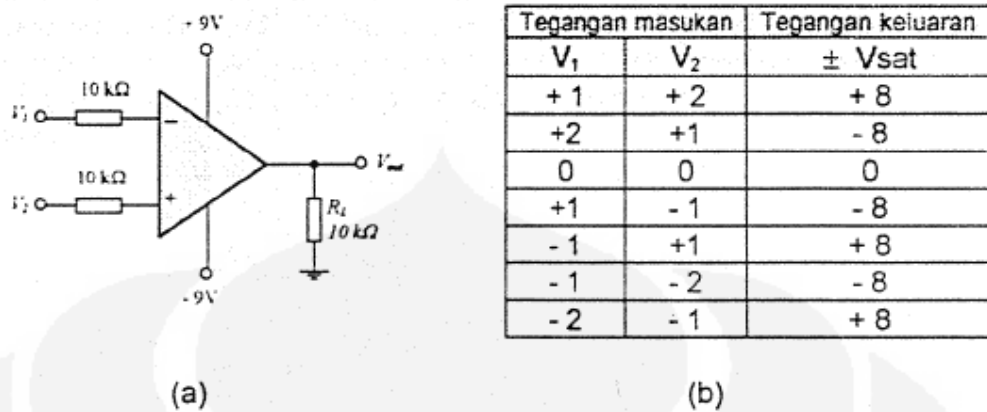
2.4.3.10 Common Mode Rejection Ratio (CMMR)

CMMR adalah kemampuan sebuah op-amp untuk menguatkan sinyal yang berbeda (*differential signal*) dan menolak sinyal yang sama (*common-mode signal*).

2.5 Komparator Tegangan (*Voltage Comparator*)

Sebuah komparator tegangan adalah membandingkan tegangan pada salah satu masukan dengan tegangan pada masukan yang lainnya tanpa menggunakan umpan balik negatif. Pada loop terbuka, adanya sedikit perbedaan antara kedua masukan akan memicu keluaran op-amp berada pada keadaan saturasi. Arah (polaritas) dari keluaran saturasi ini ditentukan oleh polaritas dari sinyal masukan. Bila tegangan pada masukan inverting lebih positif dibanding tegangan masukan pada non inverting, keluaran akan pada saturasi negatif ($-V_{sat}$). Begitu juga untuk menjelaskan sebaliknya. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 2.11. Disitu diperlihatkan beberapa kemungkinan tegangan masukan diberikan pada kedua terminal masukan beserta tegangan keluarannya.

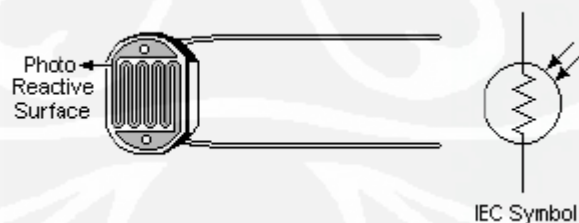
Ingat bahwa hubungan polaritas pada masukan *inverting* ke masukan *non inverting* akan menyebabkan keluaran berbeda fasa 180° .



Gambar 2.9 Pembanding tegangan (a) diagram skematik (b) tabel tegangan masukan/keluaran [8]

2.6 LDR (Light Dependent Resistor)

LDR terbuat dari Cadmium Sulphide (CdS). LDR merupakan salah satu jenis dari non-linear resistor yang berfungsi mengubah intensitas cahaya menjadi nilai tahanan. Nilai tahanan LDR berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang diterima oleh LDR. Bila LDR menerima intensitas cahaya yang besar maka nilai resistansinya akan turun, sehingga LDR seolah-olah merupakan saklar yang terhubung. Sedangkan bila LDR menerima intensitas cahaya yang rendah maka nilai resistansinya akan naik, sehingga LDR seolah-olah merupakan saklar yang terputus. Gambar 2.12 menunjukkan simbol LDR dan salah satu jenis LDR yang ada di pasaran.



Gambar 2.10 Simbol LDR [9]

BAB III PERANCANGAN

Sistem sel surya yang dibuat bertujuan untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari oleh sel surya. Optimalisasi terjadi karena adanya *solar tracking system*. *Solar tracking system* merupakan rangkaian analog yang selanjutnya dinamakan rangkaian *solar tracker*.

3.1 Solar tracker

Solar tracker disini merupakan rangkaian kontrol untuk mengatur gerakan motor supaya intensitas matahari yang diterima oleh *solar cell* optimum. Hal tersebut terjadi jika papan *solar cell* mengikuti terus arah matahari. Pada pagi hari, motor akan bergerak dari timur ke barat mengikuti arah matahari berdasarkan 2 buah LDR yang berada pada posisi timur dan barat. Pergerakan papan *solar cell* dari timur ke barat diilustrasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pergerakan *solar cell* dari timur ke barat [10]

Pergerakan papan *solar cell* dari timur ke barat atau sebaliknya di batasi oleh *Limit switch west* dan *east*. Pada sore hari, papan *solar cell* akan kembali ke posisi awal dengan arah putaran dari barat ke timur. Papan *Solar cell* akan berhenti jika *east limit switch* tersentuh. Pergerakan dari barat ke timur diilustrasikan pada Gambar 3.2.

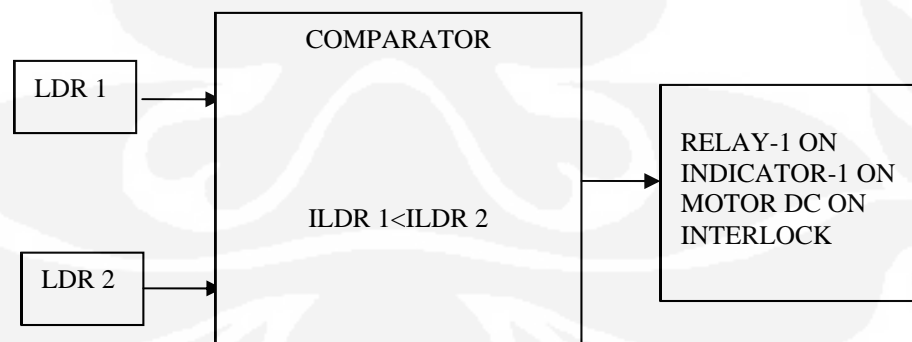


Gambar 3.2 Pergerakan *solar cell* dari barat ke timur [10]

Untuk menghasilkan sistem seperti yang disebutkan diatas, rangkaian *solar tracker* yang dibuat terdiri dari 4 unit, yaitu:

a. Unit untuk *drive West*.

Unit ini berfungsi untuk mengatur putaran motor yang menggerakkan papan *solar cell* ke arah barat. Gambar 3.3 menunjukkan blok unit *drive west*.



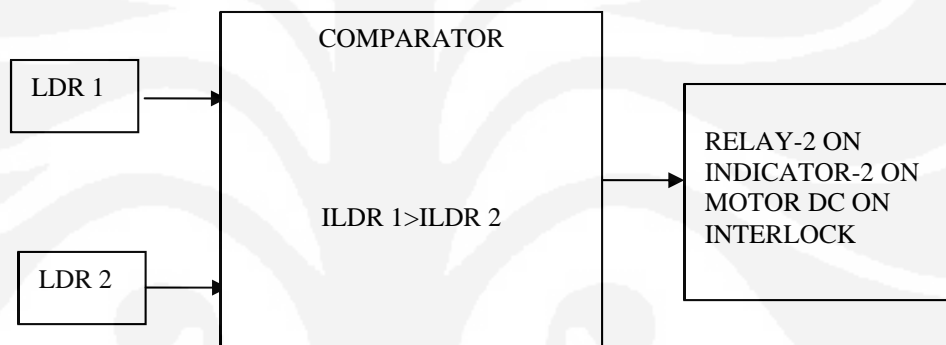
Gambar 3.3 Blok Unit *drive west*

Jika LDR1 (*west*) menerima intensitas cahaya yang lebih kecil daripada LDR2 (*east*), maka *comparator* akan mengeluarkan sinyal untuk

mengaktifkan *indicator-1* dan *relay-1*. Jika *relay-1* aktif, maka kontak poin pada *relay-1* akan mengaktifkan motor. Selanjutnya motor akan menggerakkan papan *solar cell* kearah barat. Jika *relay-1* aktif, maka sistem harus menjaga agar motor tidak bergerak kearah sebaliknya.

b. Unit untuk *drive East*.

Unit ini berfungsi untuk mengatur putaran motor yang menggerakkan papan *solar cell* ke arah timur. Gambar 3.4 menunjukkan blok unit *drive east*.

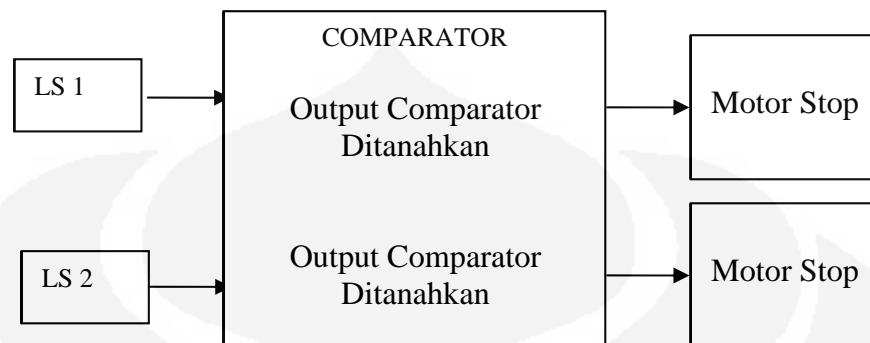


Gambar 3.4 Blok Unit *drive east*

Jika LDR1 (*west*) menerima intensitas cahaya yang lebih besar daripada LDR2 (*east*), maka *comparator* akan mengeluarkan sinyal untuk mengaktifkan *indicator-2* dan *relay-2*. Jika *relay-2* aktif, maka kontak poin pada *relay-2* akan mengaktifkan motor. Selanjutnya motor akan menggerakkan papan *solar cell* kearah timur. Jika *relay-2* aktif, maka sistem harus menjaga agar motor tidak bergerak kearah sebaliknya.

c. Unit untuk pembatas.

Fungsi unit ini adalah membatasi pergerakan dari papan *solar cell* yang digerakkan oleh motor. Gambar 3.5 menunjukkan unit Pembatas.

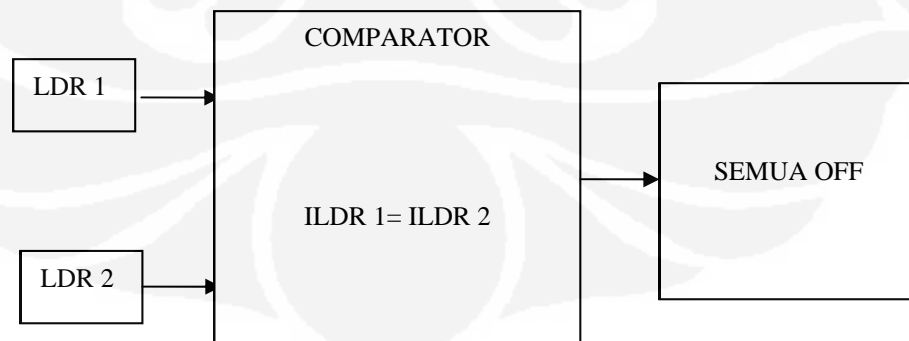


Gambar 3.5 Blok Unit pembatas

Jika LS1 (*Limit Switch West*) tertekan maka motor untuk putaran barat tidak akan bisa bergerak lagi kearah barat sehingga papan *solar cell* akan berhenti, tapi bisa untuk putaran sebaliknya. Sedangkan bila LS2 (*Limit Switch East*) tertekan maka motor untuk putaran timur tidak akan bisa bergerak lagi kearah timur sehingga papan *solar cell* akan berhenti, tapi bisa untuk putaran sebaliknya.

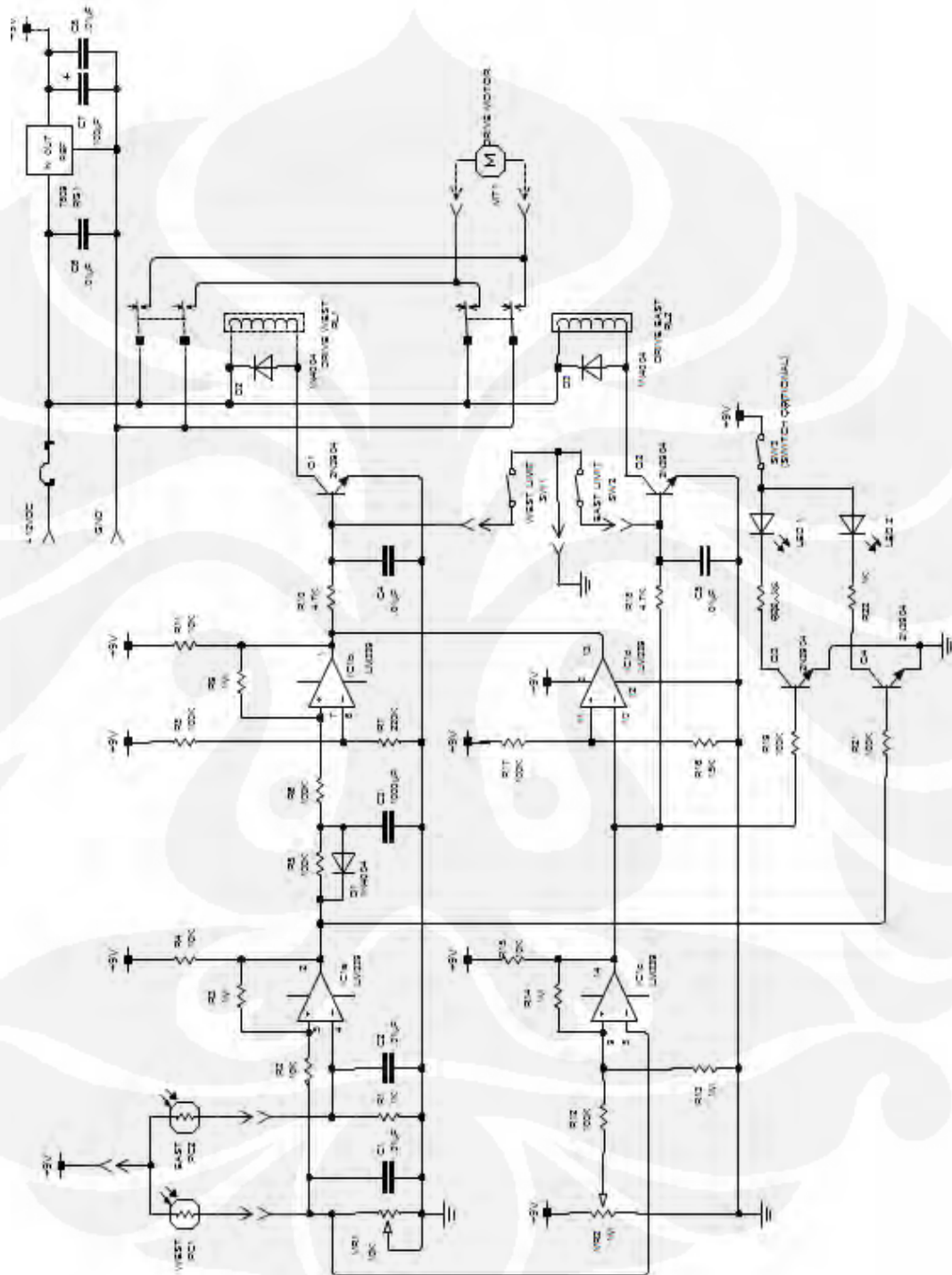
d. Unit untuk berhenti.

Fungsi unit ini adalah untuk memberhentikan motor pada saat intensitas cahaya yang diterima oleh kedua LDR adalah sama. Gambar 3.6 menunjukkan unit berhenti.



Gambar 3.6 Blok Unit pembatas

Jika keempat unit tersebut digabung, maka akan terbentuk unit *solar tracking system* dimana rangkaiannya dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rangkaian *Solar tracker*

Rangkaian *solar tracker* dapat dijelaskan sebagai berikut. Dengan asumsi kedua *photocell* menerima intensitas cahaya yang sama, VR1 diatur sehingga LED 2 mati. Hal ini mengindikasikan bahwa tegangan keluaran dari pembanding IC1 bernilai rendah. Selama intensitas cahaya yang diterima oleh kedua *photocell* sebanding maka rangkaian ini tidak akan merespon atau dengan kata lain kedua *drive (east dan west)* dalam kondisi mati.

Jika matahari bergerak ke arah barat, intensitas cahaya yang diterima oleh *west photocell* lebih kecil daripada *east photocell*, IC1a akan aktif, menhidupkan LED2, dan mulai mengisi C3 secara perlahan melalui R5.

Setelah C3 terisi penuh sesuai dengan nilai tegangan pembagi R6 dan R7, IC1b aktif. Hal ini menyebabkan transistor Q1 dalam kondisi on. Transistor Q1 mengaktifkan relay RL1 yang menyebabkan motor bergerak. Motor bergerak menyalakan kolektor sampai *west photocell* menerima intensitas cahaya yang sebanding dengan *east photocell*. Rangkaian akan menunggu pergerakan matahari untuk menggerakkan motor, hal ini akan terus berulang.

Tujuan delay waktu yang disebabkan oleh R5, C3 & D1 (D1 dipakai untuk mengkosongkan C3) adalah untuk menghindari nyala dan mati motor secara tiba-tiba.

Pada sore hari, setelah matahari tidak ada, *west photocell* bekerja lagi. *West photocell* mengirim tegangan ke IC1c dan dibandingkan dengan tegangan yang diatur oleh VR2. Tegangan keluaran dari IC1c akan tinggi sehingga LED1 menyala dan transistor Q2 aktif. Hal ini mengakibatkan relay RL2 aktif yang menyebabkan motor berputar ke arah timur dan akan berhenti bila *east limit switch* tertekan. Keluaran dari IC1c menuju IC1d, sehingga IC1d aktif. Hal ini mencegah Q2 aktif dan menjaga RL1 agar tetap mati, sehingga tidak akan terjadi *short circuit* jika RL1 dan RL2 aktif secara bersamaan.

Komponen yang dipakai pada rangkaian *solar tracker* dapat dilihat pada tabel 3.1.

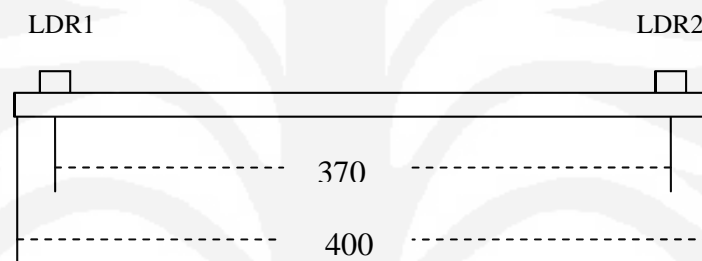
Tabel 3.1 : Komponen *Solar tracker*

No	Komponen	Jumlah
1	Kapasitor 0.01 μ F	6
2	Kapasitor Elektrolitik 100 μ F	1
3	Kapasitor 1000 μ F	1
4	Resistor 100K Ohm (1/4W)	7
5	Potentiometer 10K Ohm	1
6	Resistor10K Ohm (1/4W)	4
7	Resistor 15K Ohm (1/4W)	1
8	Resistor1K Ohm (1/4W)	3
9	Potentiometer 1M Ohm	1
10	Resistor 1M Ohm (1/4W)	4
11	Dioda 1N4004	3
12	Resistor 220K Ohm (1/4W)	1
13	Transistor NPN 2N3904	4
14	Resistor 4.7K Ohm (1/4W)	2
15	Voltage Regulator 7809 (9V, 1A)	1
16	DPDT Relay (12V)	2
17	LED (Red)	2
18	Operational Amplifier LM339	1
19	Motor (12V DC)	1
20	PHOTORESISTIVE CELL	2
21	SPST Switch	3

BAB IV

HASIL PENGUJIAN

Dalam bab ini akan dibahas tentang pengujian berdasarkan perencanaan dari sistem yang telah dibuat. Pengujian ini dilaksanakan untuk mengetahui unjuk kerja dari rangkaian dan untuk mengetahui apakah rangkaian yang dibuat sudah sesuai dengan perencanaan atau belum. Papan *solar tracker* yang dibuat mempunyai dimensi panjang 400 mm dan lebar 400 mm, dan jarak antara LDR adalah 370 mm serta sudut yang dibentuk LDR terhadap garis normal adalah nol seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Dimensi papan *solar cell*

Hasil pengujian dimulai dengan pengujian *solar tracker* dengan metoda *solar tracker* diletakkan diluar ruangan dan didalam ruangan. Metoda *solar tracker* diletakkan pada luar ruangan dengan cara meletakkan *solar tracker* pada atap rumah dari pagi hari hingga sore hari. Penguji selalu mengatur kedua potensiometer untuk menjaga agar papan *solar tracker* bergerak sesuai dengan perencanaan. Metoda *solar tracker* diletakkan dalam ruangan dengan cara memakai dua buah senter dan menembakkan cahaya senter tersebut ke kedua buah LDR. Pergerakan senter hanya memakai tangan penguji yang bertujuan membandingkan intensitas cahaya yang diterima oleh kedua LDR. Karena hasil pengujian tidak sesuai dengan perencanaan maka dilanjutkan dengan melakukan pengukuran intensitas cahaya pada kedua LDR dengan menggunakan papan alternatif yang panjangnya 1 meter.

4.1 Pengujian *Solar tracker* pada luar ruangan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah papan pada *solar tracker* bergerak mengikuti arah pergerakan matahari. Untuk menguji hal

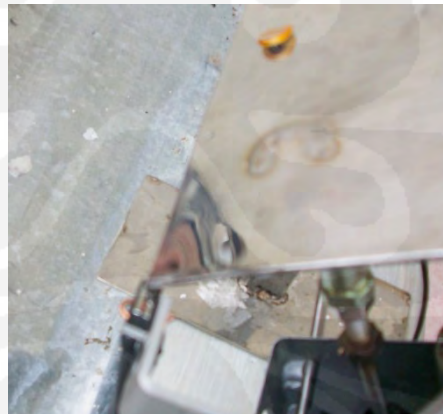
tersebut, *solar tracker* unit diletakkan pada genteng rumah. *Solar tracker* unit terdiri dari :

- a. *Power Supply* 220 VAC / 12 VDC
- b. *Input/Output (I/O)* modul
- c. Rangkaian *solar tracker*
- d. Motor DC 12V
- e. Papan dan support

Pengujian dilakukan dari pagi hari sampai sore hari. Gambar 4.2 menunjukkan kondisi awal *solar tracker* unit. Pada kondisi awal yaitu pada pagi hari, *east limit switch* tertekan seperti ditunjukkan paada Gambar 4.3, hal ini menjaga agar papan tidak berputar ke arah timur.



Gambar 4.2 *Solar tracker* pada pagi hari



Gambar 4.3 *East limit switch* tertekan

Pada siang hari posisi papan pada *solar tracker* tepat ditengah, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Posisi papan pada siang hari

Pada sore hari, posisi papan menekan *west limit switch* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5, sehingga motor tidak akan berputar lagi kearah barat. Selanjutnya, papan akan bergerak kearah timur dan berhenti bila menyentuh *east limit switch* berdasarkan settingan trimpot VR2.



Gambar 4.4 Posisi papan pada sore hari

Pada pengujian ini terdapat kelemahan utama yaitu papan *solar tracker* tidak stabil. Kedua potensiometer baik VR1 maupun VR2 harus selalu diatur agar papan bergerak sesuai dengan perancangan.

4.2 Pengujian *Solar tracker* dalam ruangan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah motor penggerak papan *solar tracker* bergerak sesuai dengan intensitas yang diterima oleh photocell baik *west* maupun *east*. Untuk menguji hal tersebut, *solar tracker* unit diletakkan dalam ruangan. Pengujian dilakukan dengan memakai senter yang cahayanya ditembakkan ke *photocell* secara bergantian. Pengujian dilakukan masing-masing sebanyak 15 kali. Bila cahaya senter ditembakkan kearah *west photocell* maka motor penggerak papan *solar cell* akan bergerak searah jarum jam, sedangkan bila cahaya senter ditembakkan kearah *east photocell* maka

motor penggerak papan akan bergerak berlawanan arah jarum jam. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

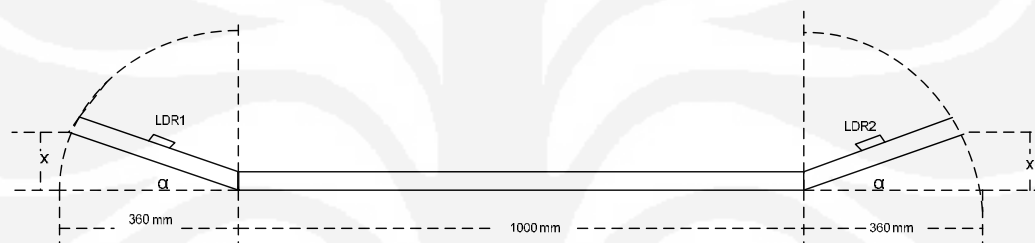
Tabel 4.1 Hasil pengujian menggunakan senter

NO	Arah Cahaya Senter			
	East Photocell		West Photocell	
	Gerakan Motor CCW		Gerakan Motor CW	
	Ya	Tidak	Ya	Tidak
1	Ya	-	Ya	-
2	Ya	-	-	Tidak
3	Ya	-	Ya	-
4	Ya	-	Ya	-
5	-	Tidak	-	-
6	Ya	-	Ya	-
7	Ya	-	-	Tidak
8	Ya	-	Ya	-
9	Ya	-	-	Tidak
10	Ya	-	Ya	-
11	Ya	-	Ya	-
12	Ya	-	Ya	-
13	Ya	-	Ya	-
14	-	Tidak	-	-
15	Ya	-	Ya	-
Akurasi (%)	86,67		80	

Hasil pengujian ini tidak *valid* karena intensitas cahaya yang diterima oleh LDR baik *west* maupun *east* tidak terukur. Dan yang paling utama adalah prosedur pengujian salah karena penguji tidak memperhitungkan masalah yang timbul karena kedua senter tidak sama merknya, lampu senter tidak sama, semua baterai tidak sama-sama baru dan yang terakhir jarak senter terhadap LDR tidak terukur.

4.3 Pengukuran intensitas cahaya pada papan alternatif

Karena kedua pengujian sebelumnya tidak sesuai dengan perancangan, maka dilanjutkan dengan pengukuran intensitas cahaya papan alternatif. Pengukuran intensitas cahaya yang diterima oleh LDR baik *west* maupun *east* dilakukan dengan menggunakan digital lux meter merk Takemura Electric Work seri DX-100 milik PT. ABBOTT Indonesia dengan *due date* kalibrasi 05/09. Dengan asumsi panjang papan yang lurus 1 meter dan posisi kedua LDR tepat ditengah-tengah papan yang miring yaitu 180 mm seperti terlihat pada Gambar 4.6 dan sudut kemiringan LDR dapat diubah-ubah maka didapat hasil pengukuran yang ditampilkan pada Tabel 4.2, 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.6 Papan *Solar Cell* alternatif

Tabel 4.2 Pengukuran Intensitas Cahaya pada pukul 08.30 WIB

X(mm)	α (°)	ILD1/East(Lux)	ILD2/West(Lux)	ΔI
3600	90	108	375	267
3000	56.44	142	454	312
2400	41.85	165	492	327
1800	29.98	225	520	295
1200	19.5	281	513	232
600	9.59	335	493	158
0	0	362	362	0

Tabel 4.3 Pengukuran Intensitas Cahaya pada pukul 11.30 WIB

X(mm)	α (°)	ILD1/East(Lux)	ILD2/West(Lux)	ΔI
3600	90	176	206	30
3000	56.44	220	330	110
2400	41.85	893	1024	131
1800	29.98	975	1040	65

1200	19.5	1100	1463	63
600	9.59	1220	1255	35
0	0	186	186	0

Tabel 4.4 Pengukuran Intensitas Cahaya pada pukul 14.30 WIB

X(mm)	α (°)	ILDR1/East(Lux)	ILDR2/West(Lux)	ΔI
3600	90	666	153	513
3000	56.44	905	262	643
2400	41.85	970	304	666
1800	29.98	960	472	488
1200	19.5	947	612	335
600	9.59	905	680	225
0	0	845	845	0

Dari ketiga tabel diatas dapat kita lihat bahwa ΔI terbesar terjadi pada sudut 41.85° dan pada sudut 0° , nilai ΔI mendekati nol. Jadi sudut ideal untuk penempatan LDR terhadap garis normal adalah 41.85° . Dari pengukuran ini dapat diambil kesimpulan bahwa ketidakstabilan pada pengujian pertama adalah karena sudut yang dibentuk oleh posisi LDR adalah nol sehingga ΔI yang dihasilkan hampir mendekati nol, seharusnya sudut yang dibentuk oleh posisi LDR adalah 41.85° .

BAB V

KESIMPULAN dan SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan perencanaan dan pembuatan sistem kemudian dilakukan pengujian, maka dapat diambil beberapa kesimpulan tentang *solar system* yang dibuat, yaitu sebagai berikut :

1. Rangkaian *solar tracking* belum berfungsi dengan baik.
2. Sudut ideal untuk penempatan LDR terhadap garis normal adalah 41.85° .

5.2 Saran

Karena *solar system* yang dibuat merupakan *prototipe*, maka sebaiknya untuk yang akan datang:

1. Penempatan LDR pada sudut 41.85° .
2. Dimensi Papan *Solar Cell* dicari yang ideal.
3. Adanya *solar charging*.

Semoga apa yang telah kami sampaikan disini dapat berguna untuk para pembaca sekalian. Segala kritik, saran serta masukan yang bersifat membangun sangat kami harapkan untuk kesempurnaan proyek ini nantinya.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Shepperd, L & Richards, E. Solar Photovoltaics for Development Applications. Florida Solar Energy Center. Available at <http://www.fsec.ucf.edu/~pv/>
- [2] U.S. Department of Energy Photovoltaics Program (1998). Turning Sunlight Into Electricity History: The PV Effect [_http://www.eren.doe.gov/pv/text_frameset.html](http://www.eren.doe.gov/pv/text_frameset.html)
- [3] Centre for Alternative Technology, Machynlleth. History of photovoltaic cells (PV). <http://www.cat.org.uk/>
- [4] Solarex Pty. Ltd. <http://www.solarex.com//>
- [5] Zahedi, A (1998). Solar photovoltaic energy system: Design and use. The New World Publishing.
- [6] Department of Primary Industries and Energy (DPIE) (1993). Rural and remote area power supplies for Australia. Australian Government Publishing Service
- [7] Tony, van Roon. 741 Op-amp tutorial. <http://www.opamp.com.htm//>
- [8] Wahyudi, Purnomo. Rangkaian Elektronika 2. Politeknik Manufaktur Bandung
- [9] Dick Smith Electronics. Data Sheet Cat : Z 4801.
- [10] Paul, Hatfield. Low Cost Solar Tracker. Curtin Department Of Electrical and Computer Engineering.