



***PROTOTYPE* KONTROL OTOMATIS PERGERAKAN
PANEL SURYA MENGIKUTI SUMBER CAHAYA
MENGUNAKAN ARDUINO**

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

UNNES
oleh
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Imanda Fachruddin
4211411020

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

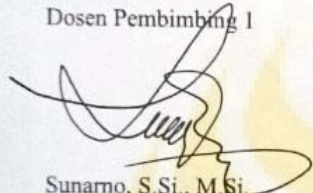
2017

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

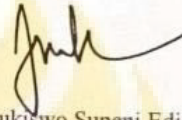
Semarang, 12 Oktober 2017

Dosen Pembimbing 1



Sunarno, S.Si., M.Si.
NIP. 197201121999031003

Dosen Pembimbing 2



Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.
NIP. 195610291986011001



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Prototype Kontrol Otomatis Pergerakan Panel Surya Mengikuti Sumber Cahaya Menggunakan Arduino

Disusun oleh

Imanda Fachruddin

4211411020

telah dipertahankan dihadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang pada tanggal 9 Oktober 2017



Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si, Akt.

NIP. 196412231988031001

Sekretaris

Dr. Suharto Limuwih, M.Si.

NIP. 196807141996031005

Ketua Penguji

Teguh Darsono, S.Pd, M.Si., Ph.D.

NIP. 197002112002121001

Anggota Penguji/

Pembimbing 1

Sunarno, S.Si., M.Si.

NIP. 197201121999031003

Anggota Penguji/

Pembimbing 2

Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.

NIP. 195610291986011001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

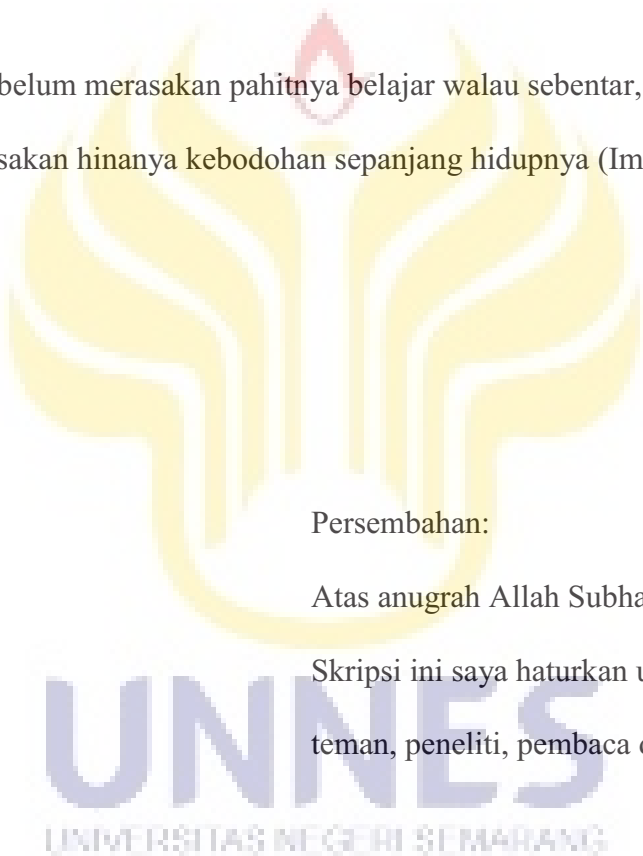
Demi massa. Sungguh, manusia berada dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan serta saling menasihati untuk kebenaran dan saling menasihati untuk kesabaran (Al-Qur'an Surah Al-'Asr 103: 1-3).

Barangsiapa belum merasakan pahitnya belajar walau sebentar,
Ia akan merasakan hinanya kebodohan sepanjang hidupnya (Imam Asy-Syafi'i).

Persembahan:

Atas anugrah Allah Subhanahu Wa Ta'ala,

Skripsi ini saya haturkan untuk keluarga,
teman, peneliti, pembaca dan almamaterku



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim,

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“Prototype Kontrol Otomatis Pergerakan Panel Surya Mengikuti Sumber Cahaya Menggunakan Arduino”** dapat diselesaikan dengan baik.

Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si., selaku Kepala Program Studi Fisika Universitas Negeri Semarang.
5. Sunarno, S.Si., M.Si., dosen pembimbing I yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan selalu memberikan arahan, saran, dan motivasi.
6. Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si., dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan saran kepada penulis selama penyusunan skripsi.
7. Teguh Darsono, S.Pd, M.Si., Ph.D., dosen penguji yang telah banyak memberikan pengetahuan dan saran – saran yang membangun.

8. Prof. Dr. SUTIKNO, S.T., M.T., selaku dosen wali atas bimbingan, motivasi, semangat dan arahan selama menempuh kuliah di tingkat sarjana.
9. Asisten Laboratorium Fisika: R. Muttaqin, S. Si., dan Wasi Sakti Wiwit P, S. Pd., yang telah membantu saya dalam pengerjaan skripsi.
10. Bapak dan Ibu yang senantiasa mendoakan serta memberikan dukungan baik secara moral maupun materiil yang tak henti-hentinya diberikan.
11. Teman-teman Robotika yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi mulai dari awal sampai akhir.
12. Sahabat Fisika 2011 yang selalu menyemangati dan memberikan doa kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
13. Sahabat Fisika Elins yang selalu menyemangati, mendukung, dan menjadi teman sharing selama kuliah dan penelitian.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan karena keterbatasan yang dimiliki penulis. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan bagi pembaca sekalian. Penulis juga mengharapkan saran dan kritik demi menyempurnakan penelitian ini. Semoga penelitian yang telah dilakukan dapat menjadikan sumbangsih bagi kemajuan dunia riset Indonesia.

Semarang, 9 Oktober 2017

Penulis

ABSTRAK

Fachruddin, I. 2017. *Prototype Kontrol Otomatis Pergerakan Panel Surya Mengikuti Sumber Cahaya Menggunakan Arduino*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Pertama Sunarno, S.Si., M.Si. dan Pembimbing Kedua Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.

Kata kunci: *Prototype*, Kontrol Otomatis, Panel Surya, Mikrokontroler Arduino

Energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem. Untuk memperoleh energi listrik yang optimal diperlukan panel surya yang menghadap ke arah datangnya sinar matahari dari pagi sampai sore hari. Oleh karena itu perlu dikembangkannya sistem kendali otomatis untuk mengatur posisi panel surya. Tujuan penelitian ini adalah rancang bangun prototype sistem kendali pergerakan panel surya otomatis dan melakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Penelitian ini menggunakan tiga tahapan yaitu pembuatan rangka panel surya, rangkaian sensor-sensor, dan prototype kontrol otomatis beserta pengujiannya. Panel surya dapat diatur secara otomatis oleh mikrokontroler Arduino dan selalu menghadap ke sumber cahaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel surya mampu menghasilkan daya rata-rata 2,150 Watt, tegangan rata-rata 20,28 Volt, dan arus rata-rata sebesar 0,106 Ampere. Sistem kontrol yang telah dibuat mampu bekerja dengan baik.



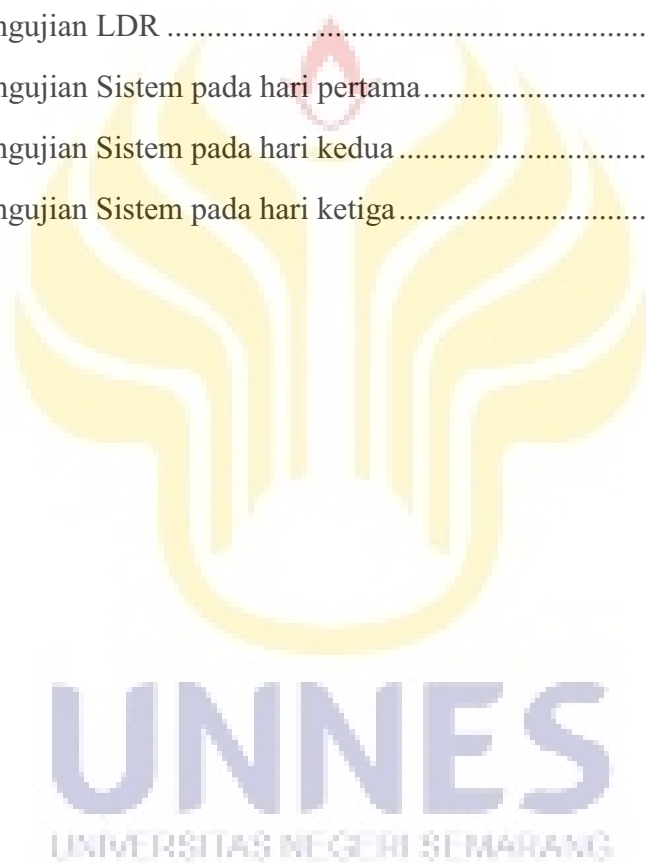
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PERNYATAAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB	
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Kontrol.....	6
2.1.1 Persyaratan dari sistem kontrol yang baik	7
2.2 Sel Surya.....	9
2.3 Arduino.....	14
2.4 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	19
2.5 Motor stepper	21
3. METODE PENELITIAN	28
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	28
3.2 Alat dan Bahan	28

3.2.1 Alat	28
3.2.2 Bahan.....	28
3.3 Alur Penelitian.....	29
3.4 Pembuatan Sensor Tegangan.....	30
3.5 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan	31
3.6 Pembuatan Rangkaian Sensor LDR	32
3.7 Pengujian Rangkaian Sensor LDR.....	33
3.8 Pembuatan Rangkaian Penampil LCD	33
3.9 Pengujian Rangkaian Penampil LCD.....	36
3.10 Pengujian Arduino.....	36
3.11 Penggerak Sel Surya.....	37
3.12 Pengujian Alat Secara Keseluruhan	38
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Pembuatan Sensor Tegangan.....	42
4.2 Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan	43
4.3 Pengujian Rangkaian Sensor LDR.....	44
4.4 Pengujian Rangkaian Penampil LCD.....	44
4.5 Pengujian Arduino.....	45
4.6 Pengujian Alat Secara Keseluruhan	47
4.7 Prototype Kontrol Otomatis	48
5. PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Konfigurasi Pin LCD 16 X 2	20
3.1 Konfigurasi Pin LCD	35
4.1 Spesifikasi Sensor Tegangan	42
4.2 Pembacaan Nilai ADC Tegangan Baterai.....	43
4.3 Hasil Pengujian Sensor Level Tegangan.....	43
4.4 Hasil Pengujian LDR	44
4.5 Hasil Pengujian Sistem pada hari pertama.....	49
4.6 Hasil Pengujian Sistem pada hari kedua	49
4.7 Hasil Pengujian Sistem pada hari ketiga.....	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Blok diagram sistem kontrol industri, yang terdiri dari sebuah kontrol otomatis, aktuator, <i>plant</i> , dan sensor (Ogata, 2002: 62).....	8
2.2 Skema Sel Surya (Susandi, 2015: 5).....	10
2.3 Gambar 2.3 Sel surya jenis <i>Monocrystalline</i> (Saga 2010: 96).....	11
2.4 Gambar 2.4 Sel surya jenis <i>Poly-crystalline</i> (Saga 2010: 96).....	12
2.5 Gambar 2.5 Efisiensi sel surya yang dikembangkan di laboratorium (Malinowski et al 2017: 5).....	13
2.6 Hubungan Seri dan Tegangan Total.....	13
2.7 Hubungan Paralel.....	14
2.8 Arduino Severino.....	15
2.9 Komponen Pada Papan Arduino Severino.....	16
2.10 <i>Liquid Crystal Display</i> (Suyadhi, 2010).....	20
2.11 Penampang melintang dari motor stepper tipe <i>Permanent Magnet</i> (PM) (Jagoo, 2013: 33).....	23
2.12 (a) Simbol Motor Stepper <i>Variable Reluctance</i> (VR) tiga fasa (15 step) dan (b) penampang melintang (Kilian, 2000: 356).....	25
2.13 Bagian-bagian yang ada di dalam motor stepper tipe <i>hybrid</i> (Kilian, 2000: 359).....	26
2.14 Motor stepper dengan lilitan unipolar (Perdanazasa 2016: 17).....	27
2.15 Motor stepper dengan lilitan unipolar (Perdanazasa 2016: 18).....	27
3.1 Diagram alir proses penelitian.....	30
3.2 Rangkaian Sensor Tegangan.....	31
3.3 Rangkaian Sensor LDR.....	32
3.4 Skema Rangkaian Penampil LCD.....	34
3.5 Flowchart Program LCD.....	36
3.6 Flowchart Penggerak Sel Surya.....	38

3.7 Desain Prototype Tampak Atas.....	39
3.8 Desain Prototype Tampak Samping	40
3.9 Blok Diagram Prinsip Kerja Rangkaian.....	41
4.1 Tampilan Karakter pada LCD 16x2.....	45
4.2 Skema Rangkaian LED	46
4.3 Hasil Pengujian LED Berkedip (<i>Blink</i>).....	46
4.4 Pengujian Alat Secara Keseluruhan	47
4.5 Grafik Perbandingan Tegangan terhadap Waktu	50
4.6 Grafik Perbandingan Arus terhadap Waktu	51
4.7 Grafik Perbandingan Daya terhadap Waktu	52



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Desain Sistem Kontrol.....	56
2. Koding Arduino IDE	57
3. Dokumentasi alat	61
4. Surat Keputusan Pembimbing Skripsi.....	62
5. Surat Tugas Panitia Ujian Skripsi	63
6. Surat Permohonan Izin Observasi di BMKG Ahmad Yani	64
7. Data Evaluasi dan Prakiraan Cuaca Semarang dan Sekitarnya.....	65



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini bahan bakar fosil masih digunakan di seluruh dunia. Bahan bakar fosil termasuk sumber daya yang tidak terbarukan dan dapat menghasilkan efek gas rumah kaca ke lingkungan. Hal ini telah menyebabkan dampak lingkungan dan kesehatan yang serius. Ada beberapa alternatif sumber daya yang dapat memberikan energi bersih, kontinu, dan terbarukan seperti tenaga air, tenaga surya, angin, biomassa, dan panas bumi. Sumber energi terbarukan mendapat perhatian signifikan di seluruh dunia sebagai jenis pasokan energi alternatif yang berkelanjutan dan menjadi sektor penting dari pembangkit energi global (Malinowski *et al*, 2017: 1). Salah satunya upaya yang telah dikembangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Komponen utama PLTS yaitu modul yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya (fotovoltaik). Modul surya tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri dan paralel. Teknologi ini cukup canggih dan keuntungannya adalah harganya murah, bersih, mudah dipasang dan dioperasikan serta mudah dirawat (Salman, 2013). Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5 - 4,8 KWh/m² / hari. Energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem (Bien, dkk, 2013).

Untuk memperoleh energi listrik yang optimal diperlukan panel surya yang menghadap ke arah datangnya sinar matahari dari pagi sampai sore hari. Jika panel surya yang digunakan dipasang secara permanen atau tidak bergerak maka penerimaan sinar matahari hanya akan maksimal pada jam-jam tertentu saja. Oleh karena itu perlu dikembangkannya sistem kendali otomatis untuk mengatur posisi panel surya. Panel Surya tersebut dilengkapi dengan sensor cahaya yang digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya yang masuk dan mikrokontroler Arduino yang digunakan untuk mengatur putaran motor stepper pada panel serta melakukan pengolahan datanya. Dengan dikembangkannya sistem kendali otomatis ini, maka permasalahan untuk mendapatkan intensitas cahaya matahari secara optimal dapat diatasi dan dapat meningkatkan daya listrik dari panel surya.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang menjadi fokus kajian dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana *prototype* sistem ini bekerja menggerakkan panel surya ?
2. Bagaimana mengontrol pergerakan panel surya untuk mendapatkan intensitas cahaya matahari yang optimal menggunakan arduino ?

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah agar ruang lingkup masalah yang akan diteliti tidak meluas. Pembatasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Kontrol otomatis pergerakan panel surya ini menggunakan motor stepper yang dikontrol oleh mikrokontroler arduino.

2. Pengujian kontrol otomatis akan dilakukan dibawah sinar matahari dari pagi sampai sore hari.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Rancang bangun *prototype* sistem kendali pergerakan panel surya secara otomatis menggunakan Arduino.
2. Melakukan pengujian sistem secara keseluruhan.

1.5. Manfaat Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang dan tujuan yang telah disebutkan di atas dapat diperoleh manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi dan pengetahuan tentang perancangan, pembuatan sistem yang menggunakan mikrokontroler arduino dan motor stepper.
2. Memberi tambahan pemahaman tentang *prototype* kontrol otomatis dan teknologinya yang dapat diterapkan.
3. Menjadi acuan dan referensi dalam penelitian mikrokontroler pada bidang terkait.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini secara garis besar dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian awal skripsi, bagian isi skripsi dan bagian akhir skripsi. Bagian awal skripsi terdiri dari halaman judul, persetujuan pembimbing, pengesahan pembimbing, pernyataan, halaman pengesahan, motto dan persembahan, prakata, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi terdiri dari 5 bab yaitu Bab 1 Pendahuluan, Bab 2 Landasan Teori, Bab 3 Metode Penelitian, Bab 4 Hasil dan Pembahasan serta Bab 5 Kesimpulan dan Saran.

Bab 1. Pendahuluan, berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2. Landasan Teori, berisi teori-teori yang mendukung penelitian.

Bab 3. Metode Penelitian, berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, dan langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian.

Bab 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan, dalam bab ini berisi pembahasan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran, berisi simpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian.

Pada bagian akhir skripsi terdapat daftar pustaka dan lampiran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kontrol

Kontrol otomatis telah memainkan peran yang penting dalam kemajuan teknik dan ilmu pengetahuan. Selain sangat pentingnya kontrol otomatis dalam sistem *space-vehicle* (misal: *Unmanned Aerial Vehicle* dan *Unmanned Ground Vehicle*), sistem *guided-missile*, sistem *robotic* dan sejenisnya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian penting dan tidak terpisahkan dari manufaktur modern dan proses industri. Misalnya, kontrol otomatis sangat penting dalam kontrol numerik pada mesin perkakas di industri manufaktur, dalam desain sistem autopilot di industri kedirgantaraan dan dalam desain mobil dan truk di industri otomotif. Kontrol otomatis juga penting dalam operasi industri, seperti mengendalikan tekanan, suhu, kelembaban dan viskositas (Ogata, 2002: 1).

Sejak kemajuan dalam teori dan penerapannya, kontrol otomatis memberikan sarana untuk mencapai kinerja yang optimal dari suatu sistem dinamis, meningkatkan produktivitas, mengurangi banyak kesulitan pada operasi manual rutin yang berulang, dan banyak lagi. Sebagian besar insinyur dan ilmuwan sekarang harus memiliki pemahaman yang baik tentang bidang ini.

Sebelum memahami sistem kontrol, beberapa dasar terminologi harus diketahui.

Controlled variable dan ***Manipulated variable***. *Controlled variable* adalah kuantitas atau kondisi yang diukur dan dikontrol. *Manipulated variable* adalah kuantitas atau kondisi yang dirubah oleh kontroler sehingga dapat

mempengaruhi nilai dari *controlled variable*. Biasanya, *controlled variable* merupakan keluran dari sistem. Kontrol berarti mengukur nilai *controlled variable* dari sistem dan menerapkan *manipulated variable* pada sistem untuk memperbaiki atau membatasi nilai deviasi yang diukur dari nilai yang diinginkan.

Plants. *Plant* boleh jadi sebuah bagian dari peralatan, yang bertujuan untuk melakukan operasi tertentu. Dalam hal ini objek fisik yang akan dikontrol (seperti alat mekanik, tungku pemanas, reaktor kimia, atau sebuah pesawat ruang angkasa) dinamakan plant.

Process. *Process* dapat didefinisikan sebagai operasi yang terdiri dari serangkaian tindakan yang dikendalikan secara sistematis dan diarahkan menuju hasil tertentu.

Systems. *System* adalah kombinasi dari serangkaian komponen yang bertindak bersama-sama dan melakukan tujuan tertentu.

Kontrol. Kontrol menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah: pengawasan; pemeriksaan; pengendalian.

Disturbances. *Disturbance* adalah sinyal gangguan yang cenderung mempengaruhi nilai keluaran dari sistem. Jika *disturbance* dihasilkan oleh sistem, maka disebut internal *disturbance*, sementara eksternal *disturbance* dihasilkan dari luar sistem dan merupakan masukan untuk sistem.

Feedback Control. *Feedback control* mengacu pada suatu operasi yang mana dengan adanya gangguan, cenderung untuk mengurangi perbedaan antara keluaran dari sistem dengan referensi masukan pada sistem dan melakukan operasi (kontrol) atas dasar perbedaan ini.

Sistem Kontrol (*Control System*). Sistem kontrol adalah proses pengaturan atau pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variabel atau parameter) sehingga berada pada suatu harga atau *range* tertentu.

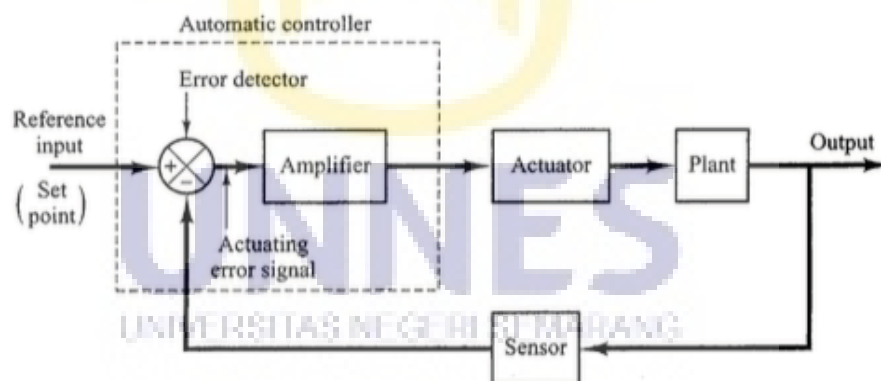
2.1.1 Persyaratan dari sistem kontrol yang baik

Ada beberapa persyaratan yang harus ada bahwa sistem kontrol itu dikatakan baik yaitu (Kailani et al 2015: 5-6):

- Akurasi: Akurasi adalah toleransi pengukuran instrumen dan menentukan batasan kesalahan yang dibuat saat instrumen digunakan dalam kondisi operasi normal. Akurasi dapat ditingkatkan dengan menggunakan elemen umpan balik. Untuk meningkatkan akurasi detektor kesalahan sistem kontrol harus hadir dalam sistem kontrol.
- Sensitivitas: Parameter sistem kontrol selalu berubah dengan perubahan kondisi sekitarnya, gangguan internal atau parameter lainnya. Perubahan ini bisa dinyatakan dalam hal sensitivitas. Setiap sistem kontrol harus tidak sensitif terhadap parameter seperti itu tapi sensitif terhadap sinyal input saja.
- Kebisingan: Sinyal input yang tidak diinginkan dikenal sebagai *noise*. Sistem kontrol yang baik harus bisa mengurangi efek *noise* untuk performa yang lebih baik.
- Stabilitas: Merupakan karakteristik penting dari sistem kontrol. Untuk sinyal input yang dibatasi, *output* harus dibatasi dan jika *input* nol maka *output* harus nol maka sistem kontrol tersebut dikatakan sistem yang stabil.

- Kecepatan: Ini adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem kontrol untuk mencapai *output* stabilnya. Sistem kontrol yang baik memiliki kecepatan tinggi. Periode sementara untuk sistem semacam itu sangat kecil.
- Osilasi: Sejumlah kecil osilasi atau osilasi konstan keluaran cenderung ke sistem agar stabil.

Kontrol otomatis membandingkan nilai sebenarnya dari sebuah keluaran sistem dengan referensi masukan (nilai yang ditentukan), menentukan deviasi, dan menghasilkan sinyal kontrol yang akan mereduksi deviasi ke nilai nol atau ke nilai kecil. Cara dimana pengendali otomatis menghasilkan sinyal kontrol yang disebut tindakan kontrol. Gambar 2.1 disebut diagram blok dari sistem kontrol industri, yang terdiri dari kontrol otomatis, aktuator, plant, dan sebuah sensor (elemen pengukur).



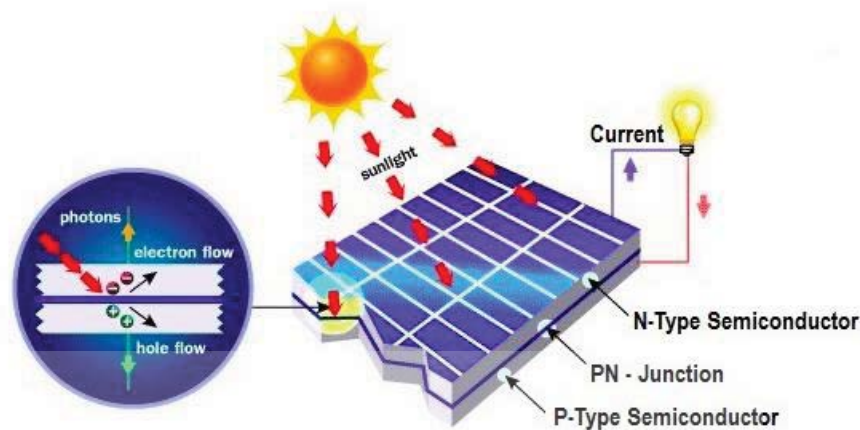
Gambar 2.1 Blok diagram sistem kontrol industri, yang terdiri dari sebuah kontrol otomatis, aktuator, *plant*, dan sensor (Ogata, 2002: 62)

Kontroler mendeteksi sinyal kesalahan penggerak, yang biasanya pada tingkat daya yang sangat rendah, dan menguatkan ke tingkat yang cukup tinggi. Keluaran dari sebuah kontrol otomatis diumpankan ke aktuator, seperti motor listrik, motor hidrolik, atau motor pneumatik atau katup. (Aktuator adalah

perangkat listrik yang menghasilkan masukan ke plant sesuai dengan sinyal kontrol sehingga sinyal keluaran akan mendekati sinyal masukan referensi.) Sensor adalah alat yang mengubah variabel keluaran ke variabel lain yang cocok, seperti perpindahan, tekanan, atau tegangan, yang dapat digunakan untuk membandingkan keluaran dengan sinyal input referensi. Elemen ini berada di jalur umpan balik dari sistem lup tertutup. *Set point* dari kontroler harus dikonversi ke referensi masukan dengan satuan yang sama dengan sinyal umpan balik dari sensor.

2.2 Sel Surya

Sel surya terbuat dari bahan *solid state* yang mengubah energi cahaya (foton) menjadi bentuk listrik dengan menggunakan efek fotovoltaik. Sel surya juga disebut sel PV dan sel fotolistrik (Malinowski *et al* 2017: 3-4). *Photovoltaic* (PV) adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi listrik yang pertama kali diamati oleh Henri Becquerel pada tahun 1839 (Goetzberger & Hoffmann, 2005: 1). PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek *Photovoltaic*. Sel surya mulai populer akhir-akhir ini, selain mulai menipisnya cadangan energi fosil dan isu *Global Warming* (Indra, 2015: 8). Skema sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.2.



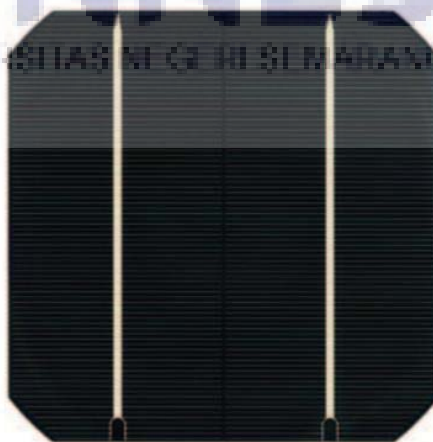
Gambar 2.2 Skema Sel Surya (Susandi, 2015: 5)

Efek Photovoltaik merupakan fenomena fisika dimana energi cahaya datang, yang mengenai permukaan sel surya akan diubah menjadi energi listrik. Arus listrik dapat timbul, karena energi foton cahaya datang berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semi-konduktor tipe n dan tipe p untuk dapat mengalir. Semi-konduktor silikon murni (intrinsik) merupakan isolator yang tidak bisa menimbulkan arus listrik. Namun ketika bahan silikon ini dicemari dengan bahan lain misalnya unsur Fosfor dan Boron melalui suatu proses yang disebut doping, maka semi-konduktor silikon ini menjadi konduktor yang bisa memberikan elektron bebas untuk menimbulkan aliran listrik. Pada dasarnya, sel surya yang berbasis semi-konduktor silikon cara kerjanya sama dengan perilaku sebuah dioda silikon. Dengan kata lain, sel surya silikon ada sebuah dioda yang besar.

Sel surya photovoltaik terdiri dari wafer tipis lapisan silikon tipe-n ($n =$ Negatif) yang dicemari unsur fosfor (*phospor-doped*) dan lapisan tebal silikon tipe-p ($p =$ Positif) yang tercemar unsur Boron (*borondoped*). Lapisan silikon jenis N merupakan semi-konduktor yang berkelebihan elektron sehingga

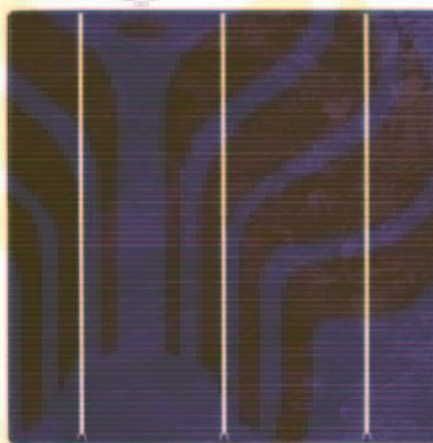
kelebihan muatan negatif. Sedangkan lapisan silikon jenis p merupakan semikonduktor yang berkelebihan proton (*hole*) sehingga kelebihan muatan positif. Medan listrik timbul dekat permukaan atas sel dimana kedua lapisan p-n tersebut bersentuhan. Ketika foton sinar matahari menyentuh permukaan sel surya tersebut, medan listrik ini memberikan momentum dan pergerakan elektron bebas yang dirangsang oleh photon matahari, sehingga menimbulkan aliran arus ketika sel surya dihubungkan ke beban listrik (Fortienawati, 2015: 8).

Ada berbagai jenis bahan yang digunakan untuk perancangan sel PV. Bahan kristal yang digunakan untuk desain sel adalah *single crystalline* (sc-Si) dengan teknologi *float zone Czochralski* (CZ), *multicrystalline* (mc-Si) dengan cetakan, lembaran, teknologi pertumbuhan pita, *polycrystalline* (pc-Si) Dengan teknologi deposisi uap kimia, dan *microcrystalline* (mc-Si) dengan deposisi plasma. Satu perbedaan utama antara bahan-bahan tersebut adalah tingkat keteraturan dan struktur, yang mempengaruhi ukuran kristal yang membuat bahan semacam itu. Ada sel surya jenis lain seperti film tipis, termasuk *amorphous silicon* (a-Si), cadmium telluride (CdTe), dan copper indium gallium selenide (CI (G) S) (Malinowski *et al* 2017: 4).



Gambar 2.3 Sel surya jenis *Monocrystalline* (Saga 2010: 96)

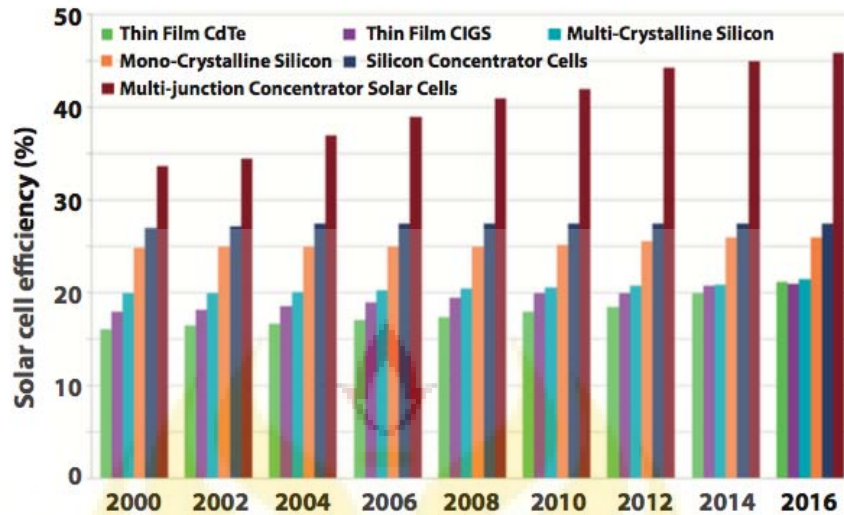
Efisiensi sel surya silikon komersial *crystalline silicon* dengan struktur sel standar berada pada kisaran 16-18% untuk *monocrystalline substrates* dan sedangkan *polycrystalline substrates* sekitar 15-17%. Ketebalan *substrate* yang digunakan pada kebanyakan sel kristal standar sekitar 160-240 μm . Sel surya dirakit menjadi modul dengan menyolder dan melaminasi ke panel kaca depan menggunakan *ethylene vinyl acetate* sebagai *encapsulant*. Efektivitas konversi energi dari modul sel surya standar kira-kira 2% lebih rendah dari efisiensi sel individu, turun dalam kisaran 12-15% (Saga 2010: 97).



Gambar 2.4 Sel surya jenis *Poly-crystalline* (Saga 2010: 96)

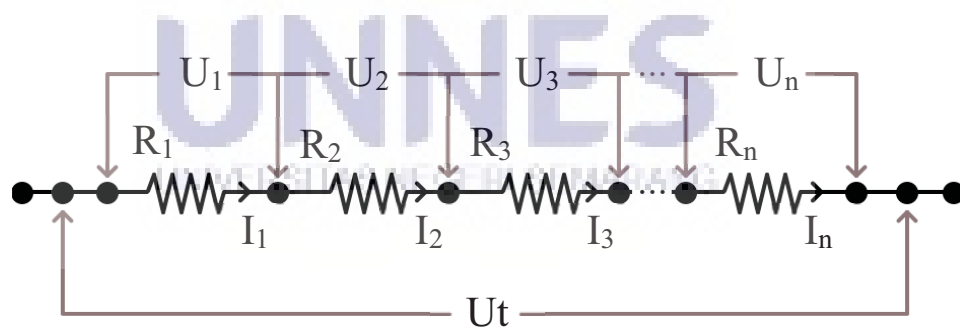
Namun, daya keluaran panel PV sensitif terhadap kondisi lingkungan seperti intensitas penyinaran matahari, suhu lingkungan, dan debu. Efisiensi panel PV komersial masih relatif rendah namun dalam dekade terakhir efisiensi modul silikon berbasis wafer komersial rata-rata meningkat sekitar 5% (dari sekitar 12% sampai 17%). Sel surya film tipis komersial telah meningkat secara signifikan. Sebagai contoh, efisiensi modul CdTe meningkat dari 9% menjadi 18,6% (dikomersialkan oleh First Solar pada tahun 2015). Di laboratorium, PV model *monocrystalline silicon* efisiensinya sekitar 25,6% sedangkan sel surya

high concentration multi-junction mampu mencapai efisiensi hingga 46,0% (Malinowski *et al* 2017: 4).



Gambar 2.5 Efisiensi sel surya yang dikembangkan di laboratorium (Malinowski *et al* 2017: 5)

Hubungan seri suatu sel surya didapat apabila bagian depan (+) sel surya utama dihubungkan dengan bagian belakang (-) sel surya kedua (Owen Bishop : 2004). Hubungan seri dan tegangan total dari sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hubungan Seri dan Tegangan Total

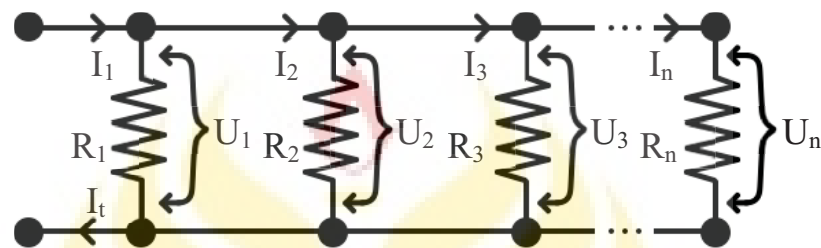
Tegangan sel surya dijumlahkan apabila dihubungkan seri satu sama lain.

$$U_{total} = U_t = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Arus sel surya sama apabila dihubungkan seri satu sama lain.

$$I_{total} = I_1 = I_2 = I_3 = I_n$$

Rangkaian paralel sel surya didapat terminal kutub positif dan kutub negatif sel surya dihubungkan satu sama lain (Owen Bishop : 2004). Hubungan paralel sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Hubungan Paralel

Tegangan sel surya yang dihubungkan Paralel sama dengan satu sel surya.

$$U_{total} = U_1 = U_2 = U_3 = U_n$$

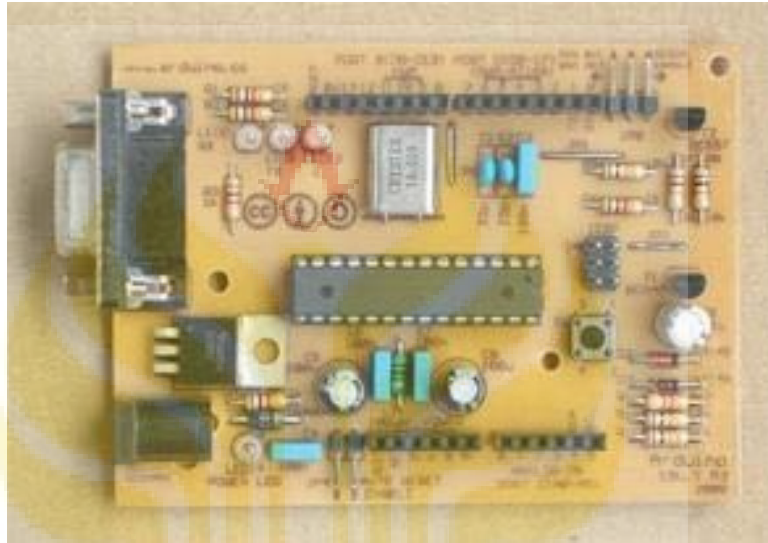
Arus yang timbul dari hubungan ini langsung dijumlahkan.

$$I_{total} = I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

2.3 Arduino

Arduino adalah suatu perangkat prototipe elektronik berbasis fleksibel dan *open-source*, dengan kata lain Arduino merupakan suatu perangkat keras dan perangkat lunak yang mudah digunakan. Perangkat ini ditujukan bagi siapapun yang tertarik atau memanfaatkan mikrokontroler secara praktis dan mudah. Arduino dapat digunakan untuk mendeteksi lingkungan dengan menerima masukan dari berbagai sensor. Misalnya, cahaya, suhu, inframerah, ultrasonik, jarak, tekanan, kelembaban dan dapat mengendalikan peralatan sekitarnya. Misalnya, lampu, berbagai jenis motor, dan aktuator lainnya (Savitri, 2014: 14).

Arduino Severino seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8, didisain oleh Adilson Akashi (telah mengalami revisi ke 3) dan merupakan rangkaian yang *open-source* dan bebas. Sedangkan perangkat lunaknya dapat digunakan pada berbagai platform sistem operasi (Windows, Mac OS, linux) dan dapat diunduh gratis di web.



Gambar 2.8 Arduino Severino

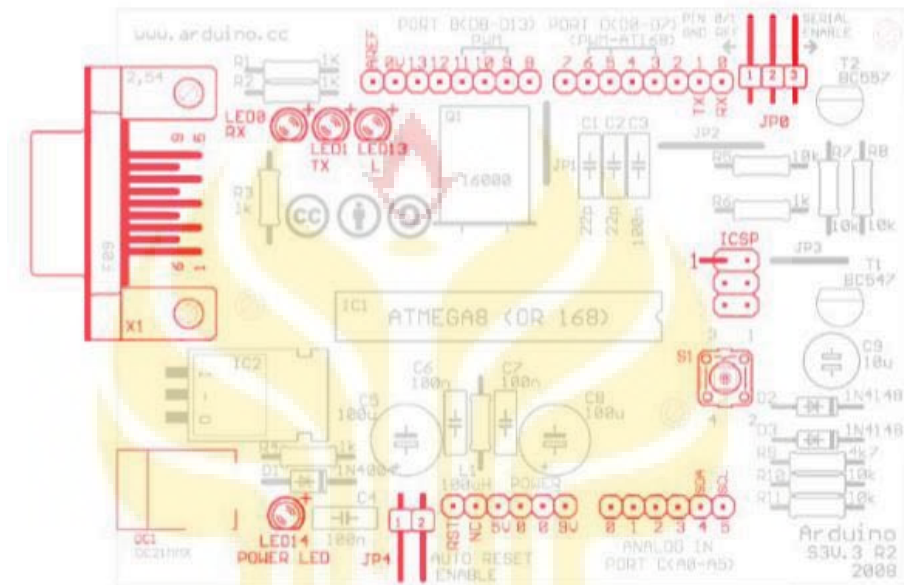
(<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardSerialSingleSided3>)

Berikut merupakan spesifikasi Arduino Severino dengan ATmega 8:

1. Mikrokontroler ATmega 8
2. Beroperasi pada tegangan 5V
3. Maksimum tegangan masukan DC 9V (batas tegangan masukan 6-18V) via *jack* DC1 Digital I/O Pins 14. 3 Pin dapat menghasilkan output PWM (*Pulse Width Modulator*)
4. Jumlah Pin analog 6 buah
5. Maksimum arus DC per I/O Pin 40 mA
6. *Flash Memory* sebesar 8 KB , 1 KB digunakan oleh *bootloader*
 .SRAM (*Static Random Access Memory*) sebesar 1 KB

7. EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) sebesar 512 *byte* dan *Clock Speed* sebesar 16 MHz

Arduino Severino seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8, didisain oleh Adilson Akashi (telah mengalami revisi ke 3) dan merupakan rangkaian yang *open-source* dan bebas.



Gambar 2.9 Komponen Pada Papan Arduino Severino
(<https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoSeverinoManual2.pdf>)

Gambar 2.9 menunjukkan komponen yang terdapat pada papan Arduino Severino. Komponen tersebut antara lain:

1. *Serial Connector (X1)*

Digunakan untuk menghubungkan komputer atau perangkat lainnya menggunakan standar RS-232. Dibutuhkan kabel serial yang terhubung dengan Pin 2, 3, 4 dan 5. *Serial connector* hanya bekerja jika JP0 disetel ke posisi 2 dan 3.

2. *Power Jack (DC1)*

Digunakan untuk menghubungkan sumber daya eksternal. Terminal positif terdapat pada sentral *jack* ini. Regulator tegangan bekerja dengan

tegangan 7 Volt sampai 20 Volt DC. Tetapi sebaiknya tegangan yang digunakan adalah 9 Volt sampai 12 Volt.

3. ICSP (*In Circuit Serial Programming*)

Terdiri atas 2x3 *Pin header*. Digunakan untuk memprogram ATmega 8 dengan *bootloader*. Angka satu pada papan menunjukkan posisi Pin1.

4. JP0

Berupa 3 Pin *jumper*. Saat posisi Pin yang digunakan adalah 2-3, *jumper* ini mengaktifkan koneksi serial melewati *serial connector X1* dari atau ke komputer. Posisi ini merupakan posisi *default*.

5. JP4

Berupa 2 Pin *jumper*. Saat posisi Pin yang digunakan 1-2, *jumper* ini mengaktifkan fitur *auto reset*. Posisi ini berguna saat proses *upload sketch* ke Arduino dan *me-reset* ATmega secara otomatis.

6. S1

Berupa tombol yang digunakan untuk mereset ATmega dan untuk *me-restart sketch* yang telah *ter-upload*.

7. Indikator LED

Terdiri atas LED untuk *power*, TX, RX dan L. LED *power* hidup saat Arduino disuplai melalui DC1, Pin +9V atau +5V. LED RX berkedip saat menerima data dari komputer melalui *serial connector*. LED TX berkedip saat mengirim data dari komputer melalui *serial connector*. Sedangkan LED L dihubungkan dengan Pin digital 13 dengan resistor pembatas arus. LED L berfungsi untuk mengecek *sketch*.

8. Pin Daya

Pin Daya terdiri atas Pin +9V, +5V dan 0V (GND). Pin +9V hanya dapat digunakan sebagai V_{in} apabila DC1 tidak diberi suplai. Dengan cara menghubungkannya ke sumber tegangan teregulasi eksternal dan hubungkan juga Pin 0 Volt ke *ground* dari sumber tegangan teregulasi eksternal. Pin +5V hanya dapat digunakan sebagai V_{in} apabila DC1 tidak diberi suplai. Untuk kasus ini pin +9V tidak aktif.

9. D Pin Digital IN/OUT

Berupa 8 pin *header* sebanyak dua buah. Terdiri atas 8 digital pin *input-output* untuk port D (0-7). Pin0 (RX) dan Pin1 (TX) dapat digunakan sebagai pin untuk berkomunikasi. Untuk port B (8-13), Pin10 (SS, *Slave Select*), Pin11 (MOSI, *Master Output Slave Input*), Pin12 (MISO, *Master Input Slave Output*), dan Pin13 (SCK, *Serial Clock*) dapat digunakan untuk SPI (*Serial Peripheral Interface*). Pin9, Pin10 dan Pin11 dapat digunakan sebagai Pin PWM.

10. Pin Input Analog

Terdiri atas 6 pin analog (0-5) pada port C. Pin4 (SDA, *Serial Data Line*) dan Pin5 (SCL, *Serial Clock Line*) dapat digunakan untuk komunikasi I2C (*Inter IC Bus*).

Arduino Severino dapat diprogram dengan *software* Arduino (*download*). ATmega8 pada Arduino Severino hadir dengan sebuah *bootloader* yang memungkinkan kita untuk *upload* kode baru ke ATmega8 tanpa menggunakan pemrogram *hardware* eksternal. IDE Arduino adalah *software* yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan java. IDE Arduino terdiri dari:

1. *Editor* program, sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*.
2. *Compiler*, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa *Processing*) menjadi kode biner. Bagaimanapun sebuah mikrokontroler tidak akan bisa memahami bahasa *Processing*. Yang bisa dipahami oleh mikrokontroler adalah kode biner. Itulah sebabnya *compiler* diperlukan dalam hal ini.
3. *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam *memory* di dalam papan Arduino.

2.4 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah perangkat output yang dapat menampilkan karakter dan grafis berbasis dot. Dalam operasi, LCD terdiri dari dua lembar lembaran kaca terpolarisasi dengan sumbu polarisasi tegak lurus terjepit di antara lapisan kristal dalam keadaan cair. Bergantung pada arus yang dipasok, *liquid crystal* memutar dan mengubah bidang terpolarisasi, mengendalikan jumlah cahaya yang melewati dua *polarizer* (Jagoo, 2013: 30).

Penggunaan perangkat LCD sebagai peraga pada alat ini karena LCD banyak memiliki kelebihan :

1. Pemakaian arusnya kecil
2. Dapat menampilkan semua simbol ASCII maupun simbol yang dibuat sendiri
3. Pengendaliannya sangat mudah karena sudah dilengkapi dengan unit pengendali di dalam
4. Mudah dirangkaikan ke sistem mikrokomputer



Gambar 2.10 Liquid Crystal Display (Suyadhi, 2010)

Berikut ini adalah tabel yang menjelaskan mengenai konfigurasi pin dari LCD 16 x 2 :

Tabel 2.1 Konfigurasi Pin LCD 16 X 2

Pin	Simbol	Level	Tujuan	Fungsi
1	V _{SS}	-	Power Supply	Ground
2	V _{DD}	-	Power Supply	Tegangan Supply (+ 5 Volt)
3	V _{LL}	-	Power Supply	Power supply untuk mendrive LCD guna mengatur kontrasnya
4	RS	H/L	uC	H : Data ; L : Instruction Code
5	R/W	H/L	uC	H : Read ; L : Write
6	E	H/L	uC	Enable
7	DB0	H/L	uC	Data Bus Line
8	DB1	H/L	uC	
9	DB2	H/L	uC	
10	DB3	H/L	uC	
11	DB4	H/L	uC	
12	DB5	H/L	uC	
13	DB6	H/L	uC	
14	DB7	H/L	uC	
15	V+BL	-	Back Ligh Supply	Tegangan Supply (+ 5 Volt)
16	V-BL	-	Back Ligh Supply	Ground

Karakteristik yang ada pada LCD antara lain:

- a. Mempunyai 16 karakter dengan 2 baris tampilan yang terbentuk dari matrik titik (*dot matrix*).

- b. *Duty ratio* : 1/16
- c. ROM pembangkit karakter untuk 192 jenis karakter dengan bentuk karakter huruf : 5 x 7 matrik titik.
- d. Mempunyai 8 tipe RAM pembangkit karakter.
- e. RAM data tampilan dan RAM pembangkit karakter dapat dibaca dari unit Mikrokontroller.
- f. Dilengkapi dengan beberapa perintah yaitu penghapusan tampilan , posisi awal kursor, tampilan karakter kedip (*display clear*), posisi awal kursor (*cursor home*), tampilan karakter kedip (*display character blink*), dan penggeseran tampilan (*display shift*).
- g. Rangkaian pembangkit detak (*clock*) internal.
- h. Catu daya tunggal + 5V.
- i. Rangkaian otomatis *reset* saat daya dihidupkan.
- j. Pemrosesan dengan CMOS.
- k. Jangkauan suhu 0° C sampai 50° C.

2.5 Motor stepper

Motor stepper adalah aktuator elektromagnetik yang menerima *input* pulsa tepat waktu dan sebagai responsnya mengubah poros *output*-nya searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam dengan sudut langkah / *step* atau beberapa sudut setengah langkah tergantung pada urutan yang diterima dan jenis perangkat. Biasanya semua gulungan motor stepper ada di stator, bagian silinder luar yang statis, sedangkan silinder rotasi bagian dalam yang disebut rotor memiliki bilangan tetap (24, 48, 72, 96, dll) dari posisi ekuilibrium. Karena induktansi, gulungan tidak langsung menarik arus penuhnya dan

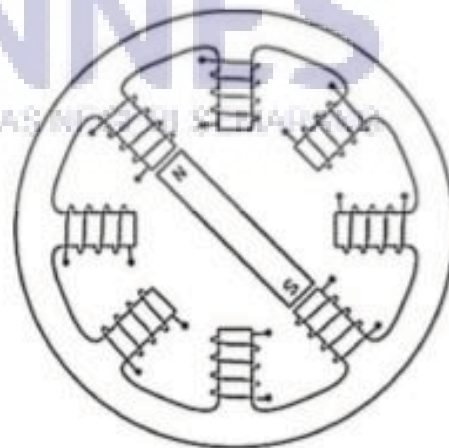
sebenarnya tidak akan pernah mencapai arus penuh pada frekuensi melangkah tinggi. Medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh gulungan secara langsung berhubungan dengan jumlah arus yang mereka tarik. Semakin besar bidang elektromagnetik, semakin banyak torsi motor yang memiliki potensi menghasilkan. Solusi untuk meningkatkan torsi adalah untuk memastikan bahwa gulungan mencapai tangkapan arus penuh selama setiap langkah. Motor stepper memiliki keuntungan bahwa baik sensor maupun sistem umpan balik positif tidak diperlukan bagi motor untuk membuat respons keluaran mengikuti perintah masukan (Jagoo, 2013: 31-32). Penggunaan motor stepper memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan penggunaan motor DC biasa (Perdanazasa 2016: 14). Keunggulannya antara lain adalah :

1. Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur.
2. Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak.
3. Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi.
4. Memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, stop dan berbalik (perputaran).
5. Sangat realibel karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC.
6. Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya.
7. Frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada range yang luas.

Pada dasarnya terdapat 3 tipe motor stepper yaitu:

1. Motor stepper tipe *Magnet Permanen*

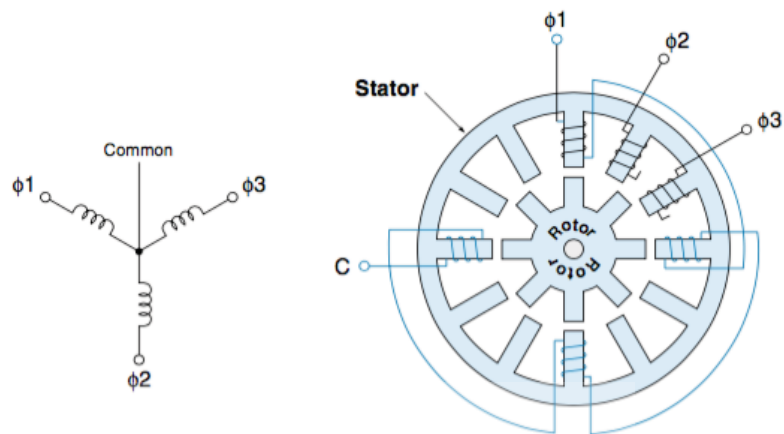
Motor stepper jenis ini memiliki sejumlah besar magnet permanen yang dimagnetkan tegak lurus terhadap sumbu dan disusun sedemikian rupa sehingga polaritasnya bergantian dari satu segmen ke segmen berikutnya. Motor magnet permanen umumnya memiliki sudut langkah besar dan langkah pada tingkat yang relatif rendah, namun dapat menunjukkan torsi tinggi dan karakteristik redaman yang baik (Jagoo, 2013: 32). Pada stepper tipe ini, magnet permanen berada pada rotor. Gerakan magnet rotor disebabkan oleh medan magnet gulungan koil stator. Saat istirahat (*rest*) dan tidak menerima pulsa, stepper memiliki *holding torque* yang cenderung mempertahankan posisi terakhir, meski tidak ada daya yang diaplikasikan (Liptak, 2006: 1337). Motor ini memiliki langkah (*step*) yang rendah yaitu antara $7,5^0$ hingga 30^0 per langkah atau 48 hingga 12 langkah setiap putarannya.



Gambar 2.11 Penampang melintang dari motor stepper tipe *Permanent Magnet* (PM) (Jagoo, 2013: 33).

2. Motor stepper tipe *Variable Reluctance* (VR)

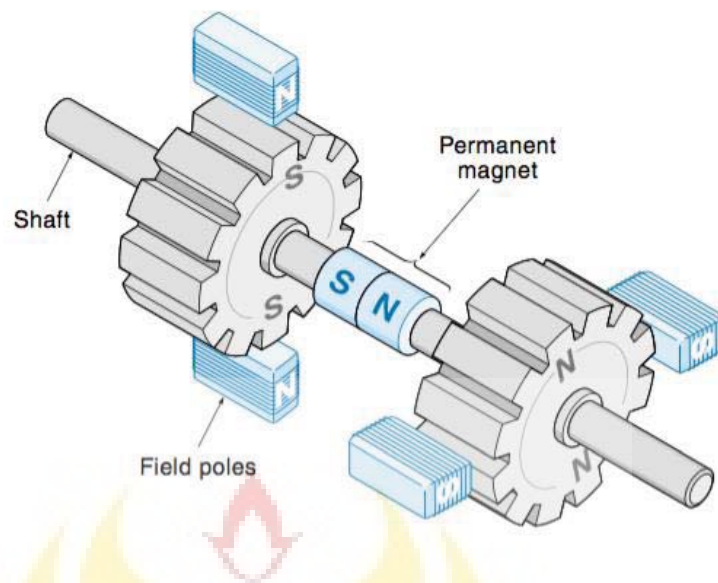
Motor stepper jenis ini memiliki memiliki banyak rotor (blok bergigi dari beberapa bahan yang lembut secara magnetis) dan stator. Umumnya beroperasi dengan sudut langkah kecil pada tingkat langkah yang relatif tinggi, dan tidak memiliki torsi penahan (Jagoo, 2013: 32). Motor stepper VR tidak menggunakan magnet untuk rotor, tetapi menggunakan roda besi berotot. Keuntungan dari tidak memerlukan rotor untuk dimagnetisasi adalah dapat dibuat dalam bentuk apapun. Masing-masing gigi rotor tertarik ke tiang medan berenergi terdekat di stator, tapi tidak dengan gaya yang sama seperti pada motor PM. Ini memberi motor VR kurang torsi dibanding motor PM. Motor VR biasanya memiliki tiga atau empat fase. Gambar 2.12 (a) menunjukkan motor stepper tiga fasa. Stator memiliki tiga sirkuit medan kutub: $\emptyset 1$, $\emptyset 2$, dan $\emptyset 3$. Gambar 2.12 (b) menunjukkan bahwa motor sebenarnya memiliki 12 medan kutub, di mana setiap rangkaian memberi energi pada empat lilitan yang terlihat pada kawat $\emptyset 1$ pada Gambar 2.12 (b). Rotor hanya memiliki 8 gigi dan stator sebanyak 12 gigi. Oleh karena itu, gigi rotor tidak pernah bisa berpas-pasan dengan gigi stator, sebuah fakta yang memainkan bagian penting dalam operasi motor (Kilian, 2000: 356).



Gambar 2.12 (a) Simbol Motor Stepper Variable Reluctance (VR) tiga fasa (15 *step*) dan (b) penampang melintang (Kilian, 2000: 356)

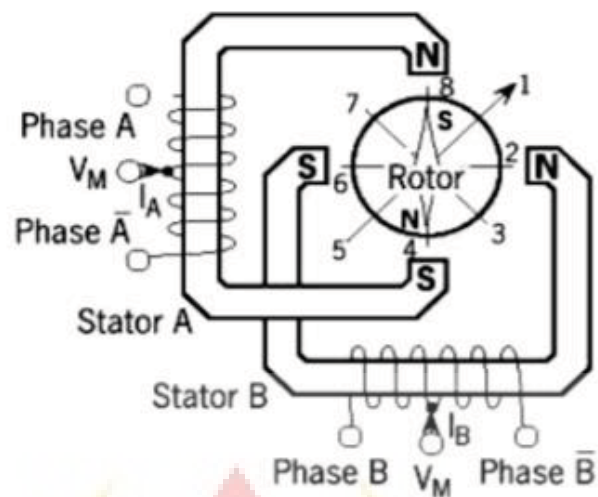
3. Motor stepper tipe *Hybrid* (HB)

Motor stepper tipe *hybrid* menggabungkan fitur motor stepper PM dan VR dan merupakan tipe yang paling umum digunakan saat ini. Rotor bergigi, yang memungkinkan sudut langkah yang sangat kecil (biasanya $1,8^\circ$), dan memiliki magnet permanen yang memberikan torsi tahanan kecil bahkan saat daya dimatikan (Kilian, 2000: 358). Motor stepper tipe HB memiliki gigi-gigi seperti pada motor tipe VR dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti motor tipe PM. Motor tipe ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena memiliki kinerja yang lebih baik. Dapat menghasilkan langkah yang tinggi yaitu antara $3,6^\circ$ hingga $0,9^\circ$ per langkah atau 100-400 langkah setiap putarannya.



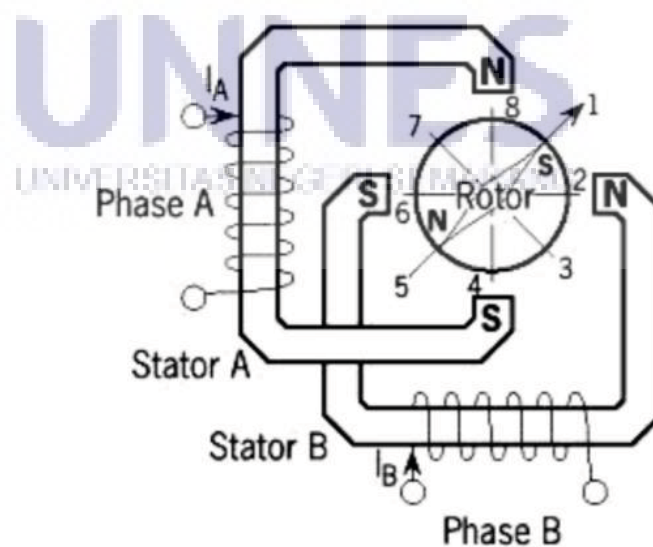
Gambar 2.13 Bagian-bagian yang ada di dalam motor stepper tipe *hybrid* (Kilian, 2000: 359)

Berdasarkan metode perancangan rangkaian pengendalinya, motor stepper dapat dibagi menjadi jenis unipolar dan bipolar. Rangkaian pengendali motor stepper unipolar lebih mudah dirancang karena hanya memerlukan satu *switch* / transistor setiap lilitannya. Untuk menjalankan dan menghentikan motor ini cukup dengan menerapkan pulsa digital yang hanya terdiri atas tegangan positif dan nol (*ground*) pada salah satu terminal lilitan (*wound*) motor sementara terminal lainnya dicatu dengan tegangan positif konstan (V_M) pada bagian tengah (*center tap*) dari lilitan.



Gambar 2.14 Motor stepper dengan lilitan unipolar (Perdanazasa 2016: 17)

Untuk motor stepper dengan lilitan bipolar, diperlukan sinyal pulsa yang berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Jadi pada setiap terminal lilitan (A & B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun dari positif ke negatif dan sebaliknya. Karena itu dibutuhkan rangkaian pengendali yang agak lebih kompleks daripada rangkaian pengendali untuk motor unipolar. Motor stepper bipolar memiliki keunggulan dibandingkan dengan motor stepper unipolar dalam hal torsi yang lebih besar untuk ukuran yang sama.



Gambar 2.15 Motor stepper dengan lilitan unipolar (Perdanazasa 2016: 18)

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat *Prototype* Kontrol Otomatis dari Rangkaian sistem elektronik yang didalamnya terdapat rangkaian sensor tegangan dengan pembacaan tegangan maksimal 30 Volt DC dan penampil data yang berbasis mikrokontroler Arduino Severino.
2. Sistem kontrol yang telah dibuat mampu bekerja dengan baik.

5.2 Saran

Mengacu pada hasil penelitian dan pembahasan saran peneliti adalah sebagai berikut:

1. Untuk pengembangan selanjutnya dapat menggunakan dua buah motor stepper dan empat buah sensor LDR yang dapat memutar panel secara vertikal dan horizontal sehingga panel surya dapat mengikuti sumber cahaya dan selalu tegak lurus terhadap sinar matahari.
2. Memerlukan penambahan sensor arus untuk monitoring data dengan lebih mudah lewat penampil LCD.

DAFTAR PUSTAKA

- Bien L. E., Ishak, K., & Wahyu, W. 2013. *Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan jala-jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan. Jurnal Teknik Elektro* 8.1.
- Goetzberger, A. & Hoffmann, V.U., 2005. *Photovoltaic Solar Energy Generation (Vol. 112)*. Heidelberg: Springer Science & Business Media.
- Heryanto, A. M. 2008. *Pemrograman Bahasa C Untuk Mikrokontroler Atmega 8535*, Yogyakarta: ANDI.
- Indra, M. 2015. *Rancang Bangun Sistem Pengisian Daya Pada Mobil Listrik Solar Cell*. Laporan Akhir. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Jagoo, Z., 2013. *Tracking Solar Concentrators: A Low Budget Solution*. Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Kailani, M.A.O., El-siddig, A.M.E.M.E.T. & Alseed, M.S.M.K.G., 2015. *Control of DC Motor Using Android*. Doctoral dissertation. Sudan: Sudan University of Sciences and Technology.
- Kilian, C.T., 2000. *Modern Control Technology (2nd ed)*. New York: Delmar Thomson Learning.
- Liptak, B.G. 2006. *Process Control and Optimization. Instrument Engineers' Handbook (4th ed.)*. Florida: CRC Press.
- Malinowski, M., Leon, J.I. & Abu-Rub, H., 2017. *Solar Photovoltaic and Thermal Energy Systems: Current Technology and Future Trends*. Proceedings IEEE 99:1.
- Mandarani, P. & Zaini, Z., 2015. *Pengembangan Sistem Monitoring Pada Building automation system (BAS) Berbasis Web di Fakultas Teknik Universitas ANDALAS*. Jurnal Teknik Elektro-ITP, 4(2): 14.
- Perdanazasa, D. P. 2016. *Rancangan Sistem Penerangan dan Pengamanan Pintu Rumah Menggunakan Gsm Berbasis Atmega 8535*. Medan: Skripsi. Universitas Sumatera Utara.
- Ponniran, A., Hashim, A. & Joret, A., 2011. *A design of low power single axis solar tracking system regardless of motor speed*. International Journal of Integrated Engineering, 3(2): 5.
- Saga, T., 2010. *Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production*. NPG Asia Materials, 2(3): 96-102.

- Salman, R. 2013. *Analisis perencanaan penggunaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk perumahan (solar home system)*. Majalah Ilmiah Bina Teknik 1.1.
- Savitri, N. 2014. *Analisa Penggunaan Motor Dc 12 Volt Pada Robot Pengintai Dengan Komunikasi Wireless Berbasis Mikrokontroller Arduino Severino*. Laporan Akhir. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Wulandari, T. I. 2010. *Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air Dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari*. Surabaya: Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November.

