

**EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SEL SURYA
BERBASIS PC**

**Skripsi diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains**

MARTIN JOWAN

0302020569




**PROGRAM SARJANA REGULER FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
2008**

**DEPOK
Mei 2008
LEMBAR PENGESAHAN**


Nama : MARTIN JOWAN
Nomor Pokok Mahasiswa : 0302020569
Jurusan : Fisika Reguler S1
Peminatan : Instrumentasi Elektronika
Tanggal Sidang : 12 Mei 2008
Judul Skripsi : EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SEL
SURYA BERBASIS PC

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh


Pembimbing I


Dr. Ing. Cuk Imawan

Pembimbing II


Adhi Harmoko S.Si, M.Kom

Penguji I


Dr. Agustinus Harsono

Penguji II


Djati Handoko, M.Si

KATA PENGANTAR

Sgala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasihNya yang sangat besar serta jawaban atas sgala doa yang telah dipanjatkan, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan. Semoga dengan ini namaNya dapat lebih dimuliakan dan kasihNya mengalir lebih lagi untuk setiap perbuatan dan kebaikan untuk hati yang beriman kepadaNya.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata satu (S1) di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Univesitas Indonesia dengan judul **Eksperimen Karakteristik Sel Surya Berbasis PC**.

Sangat disadari bahwa selama pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini banyak masalah-masalah yang menghadang. Namun hal tersebut dapat diatasi berkat bantuan dari banyak pihak. Oleh sebab itu pada kesempatan ini perkenankanlah penulis menyampaikan ungkapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ing. Cuk Imawan selaku pembimbing I atas perhatian, kesabaran, dan arahnya dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Bapak Adhi Harmoko S.Si, M.Kom selaku pembimbing II atas semua bantuan, petunjuk, dan bimbingan yang telah diberikan selama penelitian.
3. Bapak Dr. Agustinus Harsono selaku penguji I yang telah menyempatkan waktunya untuk berdiskusi tentang penelitian ini.

4. Bapak Dr. Budhy Kurniawan yang memberikan pengertian tentang masalah yang terjadi dalam penelitian.
5. Mba Lora yang sangat baik telah membantu dalam pengerjaan *software*.
6. Ivo, Bapak Untung, dan Bapak Nur di Lab Fisika Dasar (LFD) yang selalu siap membantu dalam penelitian ini.
7. Homi, Anky, Ikhwan, Doris, Dama, Eka, dan sahabat-sahabat di gereja yang memberikan bantuan, dukungan, dan semangat dalam mengerjakan penelitian ini.
8. Castria dan Ratna Juwita S yang menjadi salah satu motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini yang mungkin namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan dalam pengerjaan maupun penulisannya, oleh karena itu diharapkan perbaikan dari semua pihak. Akhir kata, besar harapan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan dapat memberikan sumbangsih yang bermanfaat bagi ilmu pengetahuan terutama bidang fisika.

Depok, 23 Mei 2008

Martin Jowan

ABSTRAK

Pembuatan sistem eksperimen karakteristik sel surya berbasis PC telah berhasil dilakukan. Eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya. Sistem ini terdiri dari modul eksperimen yang berisi modul rangkaian sel surya, instrumen tegangan, instrumen arus, SST DAQ, dan perangkat lunak eksperimen karakteristik sel surya. Karakteristik sel surya yang diamati adalah nilai tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh seperti; beban, intensitas cahaya, dan temperatur yang dapat mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya. Untuk itu instrumen tegangan dan instrumen arus dibuat untuk mengukur tegangan dan arus sel surya tersebut. SST DAQ, dengan fitur ADC yang dimilikinya untuk membaca nilai tegangan, dimanfaatkan untuk mengakuisisi *output* dari instrumen tegangan dan instrumen arus, sehingga instrumen arus yang terdiri dari solenoid, sensor Hall, dan pengkondisi sinyal dibuat untuk mengkonversi nilai arus sel surya menjadi tegangan supaya dapat dibaca oleh SST DAQ. Lampu halogen dipakai sebagai sumber cahaya untuk mengkarakterisasi arus dan tegangan sel surya. Perangkat lunak yang terdiri dari *visual basic* dan *flash* digunakan untuk memudahkan eksperimen dan memberikan penampilan yang menarik. Hasil pengujian eksperimen sel surya berukuran 6.0 cm x 9.0 cm pada intensitas 14 W m^{-2} memiliki daya maksimum yang dapat dihasilkan 55.9 mW dengan *fill factor* sebesar 0.67 sehingga efisiensi dari sel surya sekitar 7 %. Penurunan nilai tegangan dan arus terhadap temperatur yaitu 19 mV K^{-1} dan 1.35 mA K^{-1} . Saturasi tegangan *open-circuit* sel surya mulai tampak pada intensitas 9 W m^{-2} dan saturasi arus *short-circuit* didapat pada intensitas 70 W m^{-2} sehingga tegangan maksimum dan arus maksimum didapatkan dengan nilai 1.09 V dan 385 mA. Hal ini berlaku untuk nilai beban antara 0 sampai 100 k Ω pada eksperimen yang telah dilakukan.

Kata Kunci: arus, eksperimen sel surya, PC, tegangan, SST DAQ

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II TEORI DASAR.....	5
2.1 Fotovoltaik.....	5
2.2 Sel surya.....	8
2.3 Antarmuka dengan menggunakan SST DAQ.....	16
BAB III PERANCANGAN SISTEM EKSPERIMEN SEL SURYA.....	20
3.1 Perancangan modul rangkaian sel surya.....	21
3.2 Instrumen arus.....	25
3.3 Instrumen tegangan.....	29
3.4 Perangkat lunak eksperimen.....	30
3.5 Prosedur eksperimen.....	34
3.5.1 Pengujian komunikasi.....	34
3.5.2 Eksperimen karakteristik tegangan terhadap arus sel surya.....	34
3.5.3 Eksperimen pengaruh temperatur terhadap tegangan dan arus sel surya.....	36
3.5.4 Eksperimen pengaruh intensitas cahaya terhadap arus sel surya.....	36

3.5.5	Ekspirimen pengaruh intensitas cahaya terhadap te- tegan.....	37
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA.....		38
4.1	Pengujian pengukur tegangan.....	38
4.2	Pengujian dan kalibrasi pengukur arus.....	40
4.3	Pengujian modul eksperimen.....	45
4.3.1	Pengujian komunikasi.....	45
4.3.2	Pengujian eksperimen karakteristik tegangan-arus sel surya.....	46
4.3.3	Pengujian eksperimen pengaruh temperatur terhadap arus-tegan sel surya.....	50
4.3.4	Pengujian eksperimen pengaruh intensitas cahaya terhadap arus sel surya.....	53
4.3.5	Pengujian eksperimen pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan sel surya.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		58
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran.....	59
DAFTAR ACUAN.....		60

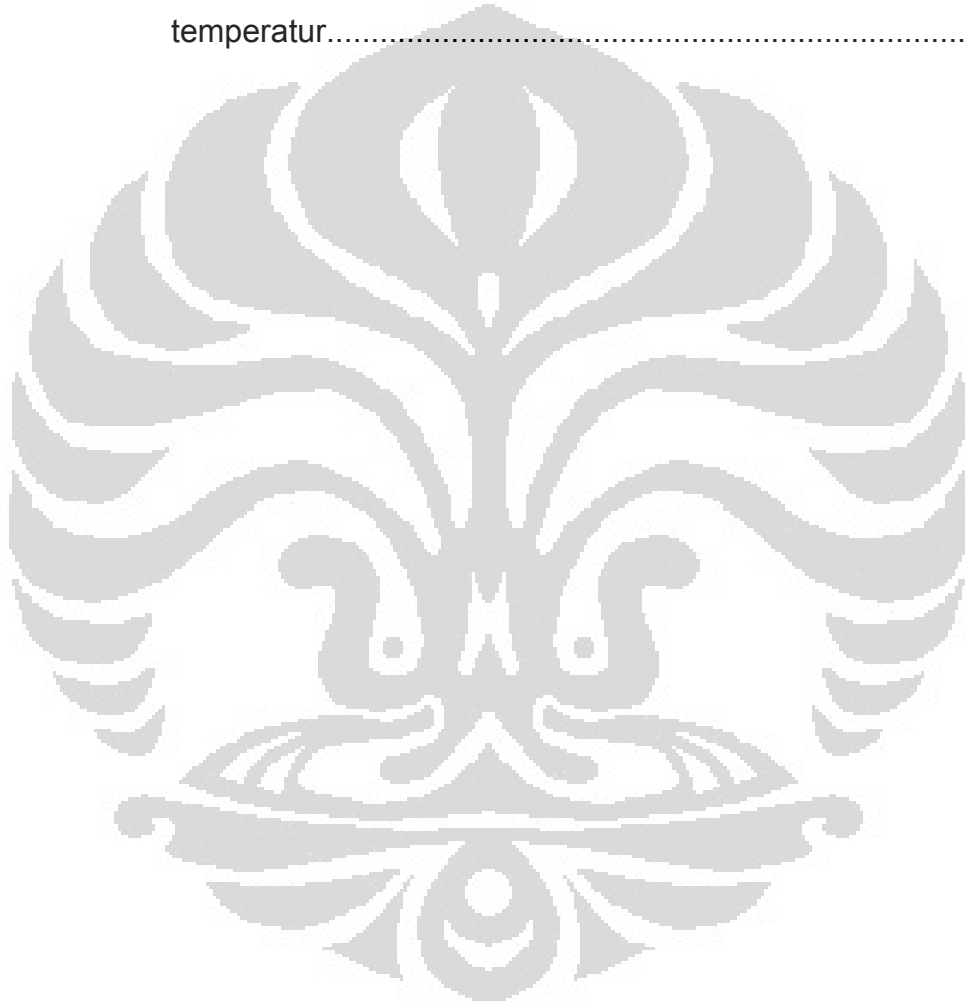
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Skema metodologi penelitian.....	4
Gambar 2.1	Medan listrik, muatan, dan beda potensial pada daerah <i>depletion layer</i> fotovoltaik.....	6
Gambar 2.2	Lapisan-lapisan sel surya I.....	9
Gambar 2.3	Rangkaian pengukur arus-tegangan sel surya.....	11
Gambar 2.4	Kurva karakteristik arus-tegangan sel surya.....	13
Gambar 2.5	Lapisan-lapisan sel surya II.....	14
Gambar 2.6	Konektor RS232 pada SST DAQ yang terhubung pada PC....	18
Gambar 2.7	Blok diagram SST DAQ.....	19
Gambar 3.1	Blok diagram sistem eksperimen.....	20
Gambar 3.2	Sel surya diberikan beban.....	23
Gambar 3.3	Skematik RSR.....	23
Gambar 3.4	Rangkaian pengukuran karakteristik arus-tegangan sel surya.	24
Gambar 3.5	<i>Rotary Switch Resistor</i> (RSR).....	24
Gambar 3.6	Blok diagram instrumen pengukur arus.....	25
Gambar 3.7	Solenoid.....	26
Gambar 3.8	Posisi sensor Hall pada solenoid.....	27
Gambar 3.9	Modul rangkaian sel surya dengan solenoid.....	28
Gambar 3.10	Skematik rangkaian pengkondisi sinyal instrumen pengukur arus.....	29
Gambar 3.11	Blok diagram instrumen pengukur tegangan.....	29
Gambar 3.12	Skematik rangkaian instrumen tegangan.....	30
Gambar 3.13	Rancangan GUI eksperimen.....	33
Gambar 3.14	Blok diagram prosedur eksperimen karakteristik sel surya.....	35
Gambar 4.1	Skematik rangkaian penguji instrumen tegangan.....	39
Gambar 4.2	Grafik pengujian instrumen tegangan.....	39
Gambar 4.3	Rangkaian penguji instrumen arus.....	41

Gambar 4.4	Grafik pengujian <i>output</i> sensor Hall terhadap arus yang melewati solenoid.....	41
Gambar 4.5	Grafik pengujian instrumen arus untuk jangkauan 400 mA.....	42
Gambar 4.6	Grafik pengujian instrumen arus untuk jangkauan 150 mA.....	43
Gambar 4.7	Grafik antara arus yang diukur multimeter dengan arus yang diukur PC dan implementasi dari fungsi transfer.....	44
Gambar 4.8	Uji komunikasi antara PC dengan SST DAQ yang berhasil dilakukan.....	45
Gambar 4.9	Plot data arus-tegangan sel surya dengan PC.....	47
Gambar 4.10	Kurva karakteristik arus-tegangan sel surya.....	48
Gambar 4.11	Perbandingan kurva karakteristik arus-tegangan pada temperatur lingkungan yang berbeda.....	52
Gambar 4.12	Perbandingan kurva karakteristik arus-tegangan sel surya dengan perbedaan jarak.....	53
Gambar 4.13	Perbandingan intensitas cahaya terhadap arus <i>short-circuit</i> di dalam ruang.....	54
Gambar 4.14	Perbandingan pengaruh intensitas cahaya yang diberikan matahari terhadap arus <i>short-current</i>	55
Gambar 4.15	Perbandingan antara pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan <i>open-circuit</i> sel surya.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Nilai beban pada RSR.....	25
Tabel 4.1	Daya beban pada pengukuran karakteristik arus-tegangan sel surya.....	48
Tabel 4.2	Perbandingan nilai arus dan tegangan terhadap perubahan temperatur.....	52



BAB 1

PENDAHULUAN

Sel surya atau fotovoltaik adalah semikonduktor yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Memanfaatkan energi foton pada cahaya sehingga panel surya menghasilkan listrik. Disebut sebagai sel surya karena yang menjadi sumber cahaya adalah matahari, sedangkan fotovoltaik dipakai jika sumber cahaya yang dipakai alat selain matahari.

Kemampuan sel surya yang dapat menghasilkan energi listrik dapat menjawab kebutuhan manusia akan energi. Sel surya akan selalu menghasilkan energi listrik selama adanya cahaya atau sinar matahari. Sumber energi yang terbesar di dalam sistem planet kita adalah matahari. Energi cahaya yang berasal dari matahari dapat digunakan selama cahaya tersebut dapat sampai ke permukaan bumi, walau demikian cahaya ini tidak selalu ada dikarenakan oleh rotasi bumi. Revolusi bumi terhadap matahari juga ikut mempengaruhi intensitas cahaya matahari.

Tidak seperti sumber energi lainnya, energi listrik yang dihasilkan sel surya dapat bertahan lama dan tidak akan habis selama matahari bersinar. Sumber energi yang berasal dari fosil yang suatu hari keberadaannya akan habis memaksa kita mencari alternatif lain. Dengan adanya sel surya tentu

kita dapat memanfaatkan energi yang berasal dari matahari untuk mendapatkan energi listrik.

Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya adalah energi yang sangat baik untuk digunakan. Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya adalah energi yang bebas dari polusi, tidak habis pakai, dan digunakan dimana saja. Beberapa daerah di Indonesia pun sebenarnya telah memanfaatkan sel surya sebagai sumber energi akibat tidak adanya jaringan listrik atau mahalnya pembuatan generator pembangkit tenaga listrik pada suatu daerah. Pemakaian sel surya tidak memerlukan lokasi khusus asalkan dapat menerima cahaya matahari dan biasanya diletakkan di tempat-tempat seperti pada atap bangunan dan dinding kaca gedung-gedung bertingkat. Sel surya merupakan teknologi yang telah lama digunakan sebagai sumber listrik oleh satelit-satelit di luar angkasa.

Energi listrik yang dihasilkan sel surya bergantung terhadap sinar yang dapat ditangkap oleh permukaan panel. Walaupun cahaya matahari hanya didapatkan pada pagi hingga sore hari, tidak menjadi hambatan untuk pemakaian energi listrik yang dihasilkan sel surya karena kita dapat memanfaatkan batere sebagai tempat penyimpanan.

Karakteristik sel surya perlu diketahui agar pemanfaatannya sebagai sumber energi listrik dalam suatu sistem peralatan dapat tepat. Untuk itu diperlukan adanya sebuah eksperimen untuk mengenali karakteristik sel surya. Eksperimen yang sederhana dan dapat dilakukan oleh semua orang.

Dengan memanfaatkan beberapa kecanggihan baik perangkat keras maupun perangkat lunak.

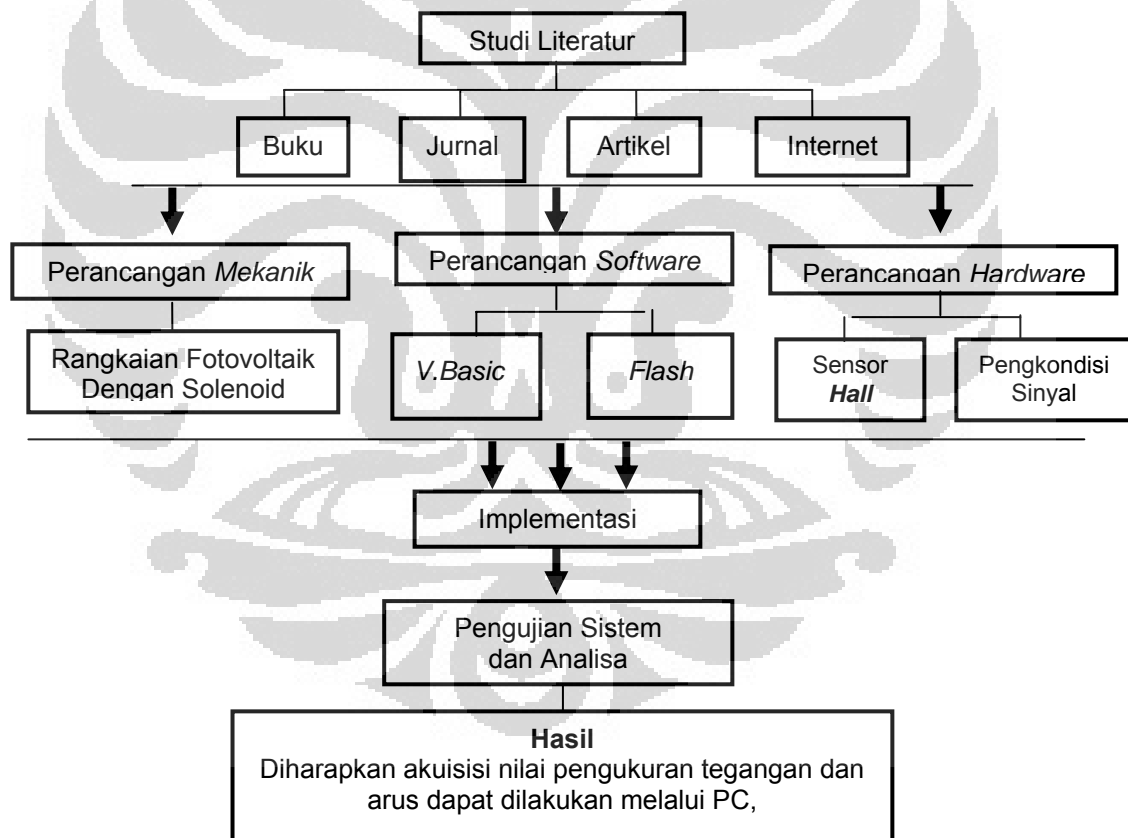
Untuk memanfaatkan sel surya sebagai sumber energi listrik hasil dari perubahan energi cahaya maka kita memerlukan informasi tentang kemampuan sel surya dalam mengubah energi. Kemampuan ini bergantung terhadap intensitas cahaya yang diterima sel surya, temperatur sel surya, serta penggunaannya terhadap berbagai peralatan yang akan terhubung dengan sel surya. Beberapa negara telah menerapkan beberapa cara yang cukup sederhana untuk dapat mendapatkan informasi kemampuan sel surya dalam sebuah eksperimen. Dan eksperimen ini dapat diterapkan di negara ini pada umumnya untuk menambah referensi dalam aplikasi sel surya, serta pada lingkungan pendidikan pada khususnya sebagai salah satu aplikasi teknologi yang berkembang saat ini dan mempelajari fenomena fisika yang dapat terjadi pada sel surya.

Pembuatan sistem eksperimen sebagai tugas akhir ini mempunyai tujuan :

1. Mengetahui fenomena fisika yang terjadi pada sel surya.
2. Sebagai sarana edukasi bagi mahasiswa untuk melakukan penelitian yang mudah dioperasikan.
3. Menampilkan hasil penelitian atau pengukuran dalam bentuk tabel dan grafik.
4. Mengajarkan praktikan untuk menentukan prioritas dalam menentukan pengambilan data terlebih dahulu.

Proses pendekatan ini diharapkan membantu praktikan memahami sistem eksperimen karakteristik tegangan-arus sel surya yang dimaksud. Oleh karena itu modul eksperimen ini, yang menggunakan sensor Hall dalam pengukurannya berbasis PC, dapat menjadi sistem *interface laboratory* berbasis digital sebagai aplikasi pengukuran

Untuk mendukung penelitian dan penulisan, digunakan beberapa metode yang secara rinci dijelaskan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1. Skema metodologi penelitian

BAB 2

TEORI DASAR

2.1 Fotovoltaik

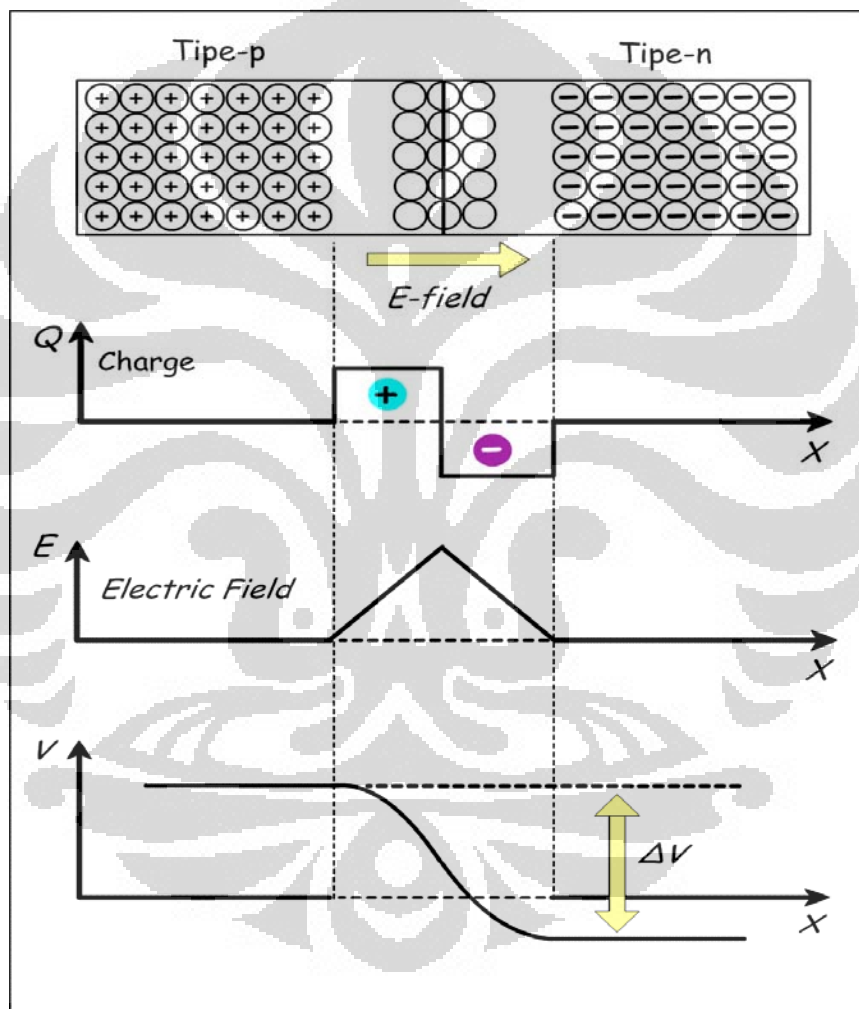
Fotovoltaik berasal dari bahasa Yunani, foto yang artinya cahaya dan voltaik yang artinya listrik. Dinamakan fotovoltaik oleh fisikawan Italia bernama Volta setelah satuan pengukuran volt ditetapkan. Istilah ini digunakan di negara Inggris sejak tahun 1849.

Fotovoltaik terdiri dari lapisan semikonduktor tipe-p yaitu bahan semikonduktor yang didalamnya terdapat *hole* sebagai pembawa muatan mayoritasnya dan lapisan semikonduktor tipe-n memiliki elektron sebagai pembawa muatan mayoritasnya. Keduanya didapatkan dari hasil pen-*doping*-an semikonduktor yang sama dengan bahan *doping* yang berbeda. Kedua lapisan ini merupakan lapisan pembentuk fotovoltaik.

Dalam fotovoltaik terdapat medan listrik. Medan listrik ini terdapat di daerah *depletion layer*. Tegangan yang dihasilkan oleh fotovoltaik sangat bergantung terhadap besarnya medan listrik (E) tersebut[1].

$$E = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \int \rho(x) dx \quad (2.1)$$

Dengan $\rho(x)$ adalah fungsi muatan total yang ada di dalam fotovoltaik yang bergantung terhadap jarak antara batas bertemunya kedua lapisan dengan batas terjauh dari *depletion layer*.



Gambar 2.1 Medan listrik, muatan, dan beda potensial pada daerah *depletion layer* fotovoltaik

Foton pada cahaya yang diserap fotovoltaiik menyebabkan elektron-elektron di dalam atom tereksitasi. Hasilnya terdapat fotogenerasi dari pembawa muatan yang berada di dalam lapisan semikonduktor tipe-p dan tipe-n fotovoltaiik. Arus yang dihasilkan adalah arus *direct current* (DC)[2]. Arus yang dihasilkan oleh fotovoltaiik adalah[1]

$$i = e \left(\exp \frac{e.V}{kT} - 1 \right) \left(\frac{n_o D_e t}{L_e^2} + \frac{p_o D_h}{L_h} \right) - e.g \quad (2.2)$$

Dengan g adalah banyaknya pasangan elektron dan *holes* per satuan luas dan V adalah nilai tegangan pada sambungan antara lapisan p dan n, e adalah muatan elementer pada fotovoltaiik, k adalah konstanta Boltzman, T adalah temperatur lapisan fotovoltaiik, L adalah panjangnya difusi dari elektron dan lubang, D adalah konstanta difusi dari elektron dan lubang, n dan p merupakan nilai konsentrasi permukaan sebagai pembawa muatan minoritas.

Tegangan yang dihasilkan oleh fotovoltaiik bergantung pada medan listrik pada daerah depletion layer. Medan listrik ini terjadi akibat interaksi muatan-muatan yang berada di dalamnya. Sehingga definisi dari tegangan yang dihasilkan adalah [1]

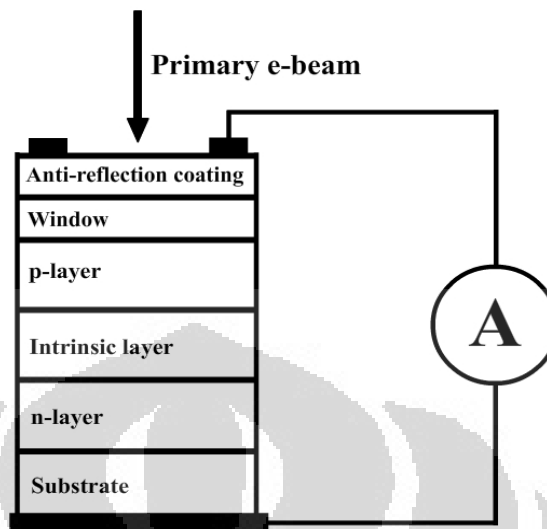
$$V = \left(\frac{e}{2 \epsilon_0 \epsilon_r} \right) \left(N_D d_n^2 + N_A d_p^2 \right) \quad (2.3)$$

Dengan e adalah besarnya muatan listrik, N_D dan N_A adalah banyaknya atom donor dan atom akseptor pada lapisan semikonduktor, d_p dan d_n adalah daerah lapisan yang berada diantara lapisan tipe-n dan tipe-p pada fotovoltaiik.

2.2 Sel surya

Sel surya pertama kali dibuat pada tahun 1839 oleh, seorang peneliti Perancis, Alexander Edmond Becquerel. Ia menemukan bahwa dengan memanfaatkan sinar matahari dapat menghasilkan arus listrik didalam material padat. Pada tahun 1905, Albert Einstein dapat menjelaskan tentang efek fotolistrik yang menjadi teknologi dasar untuk panel surya. Kemudian tahun 1954 para peneliti laboratorium Bell menciptakan panel surya tersebut dan untuk pertama kalinya digunakan sebagai sumber tenaga bagi satelit luar angkasa milik Amerika Serikat.

Sel surya terdiri dari banyak lapisan. Lapisan-lapisan tersebut memiliki fungsinya masing-masing. Lapisan utama dari sel surya adalah lapisan fotovoltaiik. Lapisan lainnya adalah lapisan pelengkap yang membantu kinerja fotovoltaiik. Lapisan-lapisan tersebut memiliki fungsi antara lain sebagai lapisan konduktif yang menyambungkan sel surya dengan rangkaian listrik, lapisan pelindung yang melindungi permukaan dari benda-benda keras, dan lain sebagainya.



Gambar 2.2 Lapisan-lapisan dari sel surya I

Foton di dalam cahaya yang jatuh pada permukaan sel surya, diserap oleh material semikonduktor tipe-n dan tipe-p. Pada daerah ini terjadi perubahan energi cahaya menjadi energi listrik. Besarnya energi cahaya yang dapat diserap oleh sel surya adalah bergantung terhadap besarnya energi foton dari sumber cahaya. Besar energi cahaya yang mungkin dapat diserap oleh sel surya[3]:

$$E = h \cdot f \quad (2.4)$$

Dengan h adalah konstanta Planck dan f adalah frekuensi gelombang sumber cahaya.

Semakin besar frekuensi gelombang cahaya yang diberikan, maka semakin besar energi cahaya yang mungkin dapat diserap oleh sel surya. Contoh sumber cahaya yang dapat dipakai adalah matahari, cahaya api, dan cahaya lampu. Cahaya matahari memiliki energi yang terbesar dari yang lainnya, akan tetapi semua bergantung juga terhadap intensitas energi yang mungkin dapat diserap oleh sel surya. Intensitas energi suatu sumber cahaya terhadap sel surya[3]

$$J \sim \frac{1}{R^2} \quad (2.5)$$

J adalah intensitas energi (W/m^2) dan R adalah jarak sumber cahaya terhadap sel surya (m)

Intensitas cahaya ini menentukan besarnya daya dari energi sumber cahaya yang sampai pada seluruh permukaan sel surya. Jika luas permukaan sel surya (A) dengan intensitas tertentu, maka daya input pada sel surya adalah

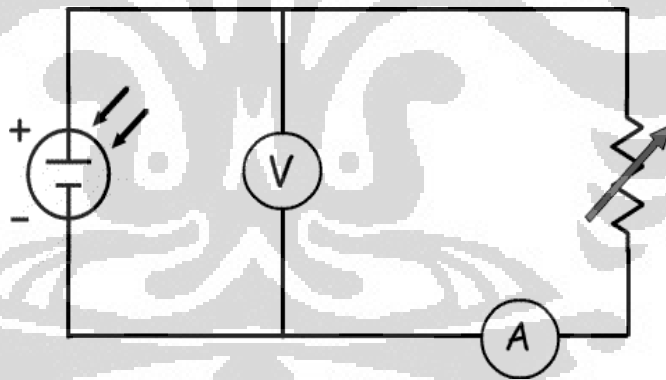
$$P_{in} = J \cdot A \quad (2.6)$$

Dengan demikian intensitas cahaya yang dapat diukur merupakan nilai dari energi cahaya yang mungkin diterima oleh sel surya. Daya *input* (P_{in}) ini

yang kemudian menentukan daya listrik sel surya. Semakin besar daya input yang diberikan, maka daya listrik yang dapat dihasilkan oleh sel surya semakin besar.

Daya listrik adalah besaran yang diturunkan dari nilai tegangan dan arus sehingga nilai tegangan dan arus yang dihasilkan merupakan bagian dari kelistrikan yang dimiliki oleh sel surya. Daya listrik yang diberikan oleh sel surya adalah

$$P_{sel} = V_{sel} \cdot I_{sel} \quad (2.7)$$



Gambar 2.3. Rangkaian pengukur arus-tegangan sel surya

Energi merupakan daya yang dipakai selama waktu pemakaian. Energi cahaya yang diterima oleh sel surya tidak sempurna dapat diubah menjadi energi listrik. Semakin besar energi cahaya yang diserap maka semakin

besar energi listrik yang dapat dihasilkan. Maka konversi energi ini pun memiliki nilai efisiensi didalamnya. Efisiensi energi tersebut adalah

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.8)$$

Dengan

$$P_{out} = P_{sel} = I_{mp} \cdot V_{mp} = I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF \quad (2.9)$$

Fill Factor (FF) nilai rasio antara tegangan dan arus pada keadaan daya maksimum dan tegangan *open-circuit* (V_{oc}) dan arus *short-circuit* (I_{sc})[4]. Hal ini berarti bahwa daya yang dimiliki oleh sel surya belum tentu dapat diberikan kepada beban sepenuhnya.

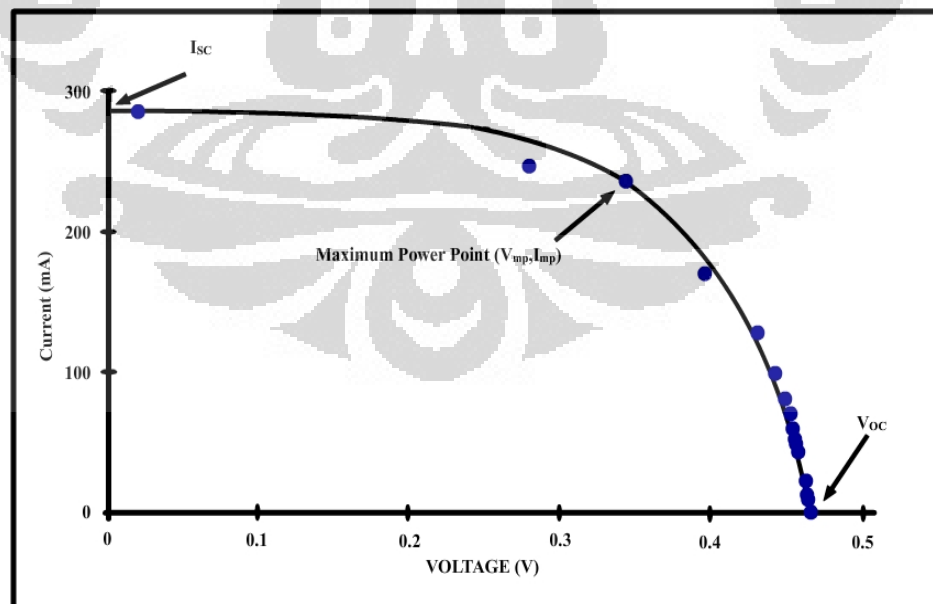
Elektron-elektron yang mengalami fotoregenerasi di dalam atom-atom pada lapisan semikonduktor sel surya bergerak seperti fluks yang sedang melewati medan listrik. Persamaan berikut menjelaskan hubungan antara tegangan dengan temperatur pada sel surya[4]

$$e \cdot V = \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{n_n}{n_p} \right) \quad (2.10)$$

Pada semikonduktor berbahan Silikon (Si) pada sel surya, tegangan yang dihasilkan dipengaruhi oleh temperatur tersebut. Dan pada V_{oc} menurun sekitar 2.3 mV/K[5].

Untuk mengukur besar tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya diperlukan sebuah rangkaian. Pada rangkaian tersebut, sel surya digunakan sebagai sumber daya listrik pada dan variabel resistor sebagai beban daya listrik. Pengukuran tegangan dan arus pada rangkaian dilakukan seperti pada gambar 2.3.

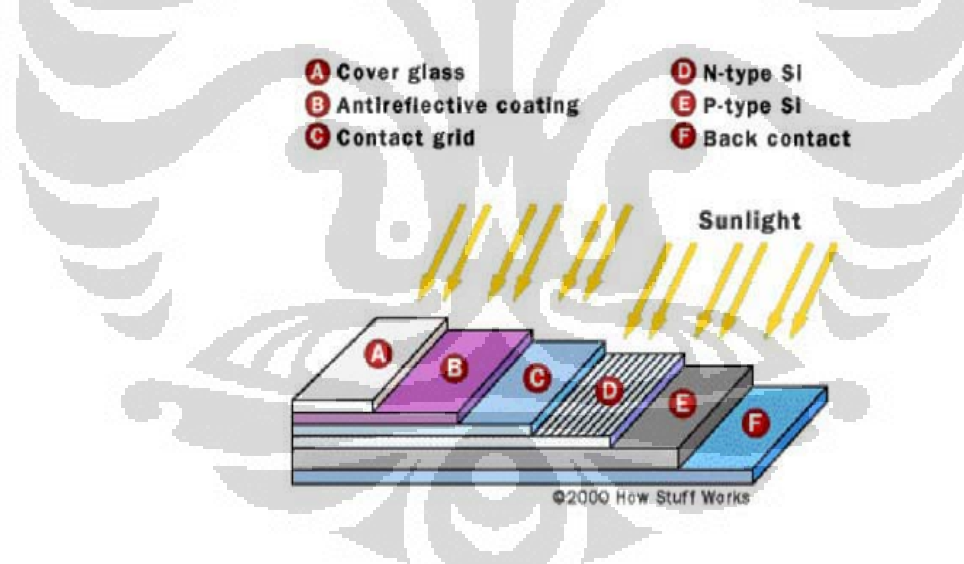
Dengan memvariasikan nilai beban yang ada, kita dapat menghitung daya sel surya yang dapat diberikan pada beban tersebut. Arus *short-circuit* didapatkan ketika nilai beban sangat kecil ($R_L \sim 0$). Dan tegangan *open-circuit* bisa didapatkan jika nilai beban dipasang sangat besar ($R_L \sim 100k\Omega$). Tipikal hubungan antara tegangan dan arus yang dihasilkan dengan memvariasikan nilai beban, tergambar dalam grafik karakterisasi dari sel surya pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Kurva karakteristik arus-tegangan sel surya[4]

Pada dasarnya sebuah sel surya adalah sebuah semikonduktor yang terdiri material yang disebut dengan tipe-p dan tipe-n. Namun dalam pembuatannya diperlukan beberapa lapisan tambahan untuk memberikan fungsi tambahan.

Konstruksi dari sel surya merupakan perlengkapan yang dibuat agar sel surya dapat dengan efektif dan mudah untuk digunakan. Konstruksi itu terdiri dari lapisan-lapisan yang antara lain lapisan kaca, lapisan *anti-reflection*, lapisan kontak atas dan lapisan kontak bawah, serta lapisan utama dari sel surya yaitu lapisan tipe-n dan tipe-p.



Gambar 2.5. Lapisan-lapisan sel surya II

Semikonduktor berbahan silikon memiliki sifat permukaan yang sangat licin sehingga cahaya yang jatuh pada permukaan bahan ini akan terpantul. Untuk itu diperlukan lapisan lain yang dapat membantu penyerapan cahaya

pada fotovoltaik. Salah satu caranya adalah dengan memberikan lapisan *Anti-Reflection Coating*. Fungsinya adalah sebagai perangkap cahaya yang jatuh pada permukaan sel. Hasilnya adalah penyerapan dapat berlangsung secara maksimal.

Lapisan semikonduktor ini juga merupakan bahan yang tidak kuat terhadap benturan fisik yang sangat keras. Untuk itu biasanya lapisan ditambahkan dengan lapisan lain yang lebih kuat pada permukaan luar. Namun lapisan ini tidak boleh menghalangi sinar jatuh pada permukaan sel surya.

Untuk mencegah terjadinya proses kimiawi antara tiap lapisan maka biasanya pada daerah antara permukaan lapisan tipe-p dan tipe-n diberikan lapisan pemisah yang stabil dan sulit untuk bereaksi dengan bahan atau cairan apapun. Selanjutnya adalah lapisan yang menghubungkan fotovoltaik dengan rangkaian. Lapisan ini bersifat konduktif sesuai dengan fungsinya yaitu untuk menghantarkan arus listrik atau elektron yang bergerak.

Lapisan tipe-p dan tipe-n merupakan daerah lapisan tempat berubahnya energi cahaya menjadi energi listrik. Diantara lapisan tersebut terdapat suatu lapisan pembatas antara daerah tipe-p dan tipe-n yang disebut sebagai lapisan intrinsik atau dikenal sebagai *depletion layer*. Lapisan terakhir adalah lapisan yang menghubungkan antara fotovoltaik dengan suatu peralatan yang membutuhkan energi listrik darinya

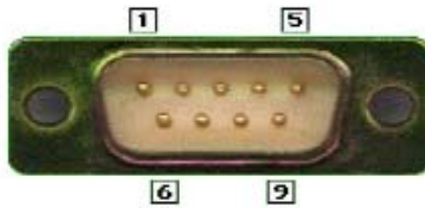
Diharapkan dengan konstruksi yang demikian, sel surya yang ada saat ini dapat langsung digunakan. Dan dengan tujuan penggunaan yang berbeda, konstruksi ini dapat saja berbeda.

2.2 Antarmuka dengan menggunakan SST DAQ

DAQ adalah suatu metode pengambilan besaran fisis untuk kemudian diubah menjadi data yang dapat dimanipulasi oleh PC. Biasanya DAQ mengakuisisi data suatu sinyal dan memprosesnya sinyal tersebut untuk mendapatkan suatu informasi yang dibutuhkan. Komponen dari sistem akuisisi data mencakup sensor yang tugasnya mengkonversi suatu parameter menjadi sebuah sinyal listrik. DAQ berbasis elektronika yang dibuat dengan *hardware* dan *software*. Di dalam DAQ banyak *utility-utility* yang dapat digunakan untuk konfigurasi logika atau memindahkan data dari memori DAQ ke komputer. Di bawah ini adalah beberapa contoh fitur yang dimiliki oleh DAQ yang dapat digunakan untuk beberapa keperluan, yaitu :

1. Fungsi *initDAQ* yang digunakan untuk menginisialisasi DAQ, fungsi ini harus dilakukan sebelum melakukan fungsi yang lain.
2. Fungsi *getADC*, digunakan untuk mengambil data analog tunggal. Memiliki 8 channel (0 – 7) masukan untuk *single ended mode* yaitu pada port AI0 – AI7 dan 8 – 11 untuk *differential mode*.
3. Fungsi *getStreamADC*, digunakan untuk mengambil data tegangan dalam bentuk *array* sejumlah nilai samplingnya, fungsi ini mengambil data di DAQ terlebih dahulu dan kemudian dikirim.

4. Fungsi *getContinuous*, sama seperti fungsi *get StreamADC*, digunakan untuk mengambil data tegangan dalam bentuk *array* sejumlah nilai sampling yang diinginkan, fungsi ini mengambil setiap data yang langsung dikirim dari DAQ dan disimpan dalam bentuk *array* di RAM PC sejumlah nilai samplingnya.
5. Fungsi *getTime*, digunakan untuk mengambil data waktu antara pulsa naik yang berurutan dalam bentuk *array* sejumlah nilai samplingnya, fungsi ini bekerja dengan mengambil data di DAQ, menunggu sampai sampling selesai baru kemudian dikirim ke PC.
6. Fungsi *getTimeIO*, digunakan untuk mengambil data waktu antara pulsa naik dan pulsa turun yang berurutan dalam bentuk *array* sejumlah nilai samplingnya. Memiliki besar *array outputnya* dua kali samplingnya.
7. Fungsi *setIO*, fungsi yang digunakan untuk mengeset IO menjadi *true* (1) atau *false* (0). Port yang digunakan 1:A, 2:B, 3:C, 4:D, *channel* yang digunakan 0-7.
8. Fungsi *getIO*, untuk mengetahui status dari IO, fungsi dapat mengambil status IO secara langsung dengan memberikan nilai sampling =1. Atau dapat juga mengambil status IO dengan sejumlah sampling tertentu, data sampling satu dengan yang lainnya akan dikenakan operasi OR [6].



Gambar 2.6 Konektor RS232 pada SST DAQ yang terhubung pada PC

Komunikasi serial adalah pengiriman data secara serial (pengiriman data secara bergantian satu per satu secara berurutan). Komunikasi serial dikenal untuk berkomunikasi antar dua komputer yang hanya dihubungkan dengan kabel serial. Personal Komputer (PC) yang berbasis IBM, saat ini telah dilengkapi dengan beberapa *port* komunikasi serial, diantara port-port tersebut adalah *port* PS2 *mouse*, *port* serial RS232, *port* USB, *port network*, dan *port* modem. Dari beberapa jenis *port-port* komunikasi serial, jenis *port* yang dibahas dan yang digunakan pada penelitian ini adalah *port* komunikasi serial RS232.

Komunikasi serial RS232C, dimana RS merupakan kependekan dari *Recommended Standard* dan huruf C merupakan indikasi yang menyatakan standar revisi terakhir, yang merupakan seperangkat alat yang distandarisasi oleh EIA (*Electrical International Association*) yang berfungsi sebagai antar muka dalam penundaan data melalui cara serial. Proses pemindahan data dengan menggunakan RS232C memerlukan sebuah DTE (*Data Terminal Equipment*) yaitu *port serial*, dan untuk yang lebih kompleks membutuhkan DCE (*Data Communication Equipment*) yaitu *modem*.



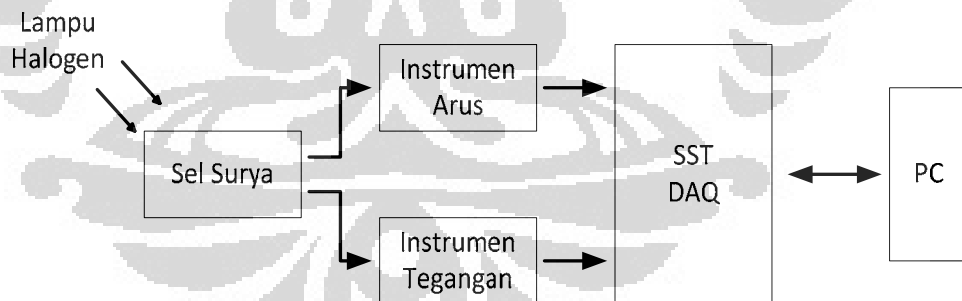
Gambar 2.7 Blok diagram SST DAQ

Setelah RS232 terpasang, SST DAQ akan menerima perintah untuk membaca tegangan pada *channel* yang diminta. Tegangan itu sesuai dengan yang diberikan oleh perangkat keras dari rangkaian eksperimen. Dan pada eksperimen ini menggunakan dua *channel* yang dipakai sebagai pengakuisisi data.

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

Pada Bab 3 ini akan dibahas mengenai perancangan sistem *interfacing* PC untuk aplikasi eksperimen karakteristik sel surya yang terdiri atas perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras dibuat untuk membantu pengambilan informasi arus dan tegangan, sedangkan akuisisi data untuk intensitas cahaya dilakukan secara manual yaitu dengan luxmeter. Sedangkan perangkat lunak dirancang sebagai *driver* dan pengontrol perangkat keras dengan tujuan untuk memudahkan pengambilan data serta keperluan untuk menganalisa.



Gambar 3.1 Blok diagram sistem eksperimen

Perangkat keras terdiri dari beberapa bagian yaitu rangkaian sel surya, instrumen arus, dan instrumen tegangan. Tegangan dan arus sel surya yang dihasilkan saat disinari oleh sumber cahaya akan diukur oleh masing-masing

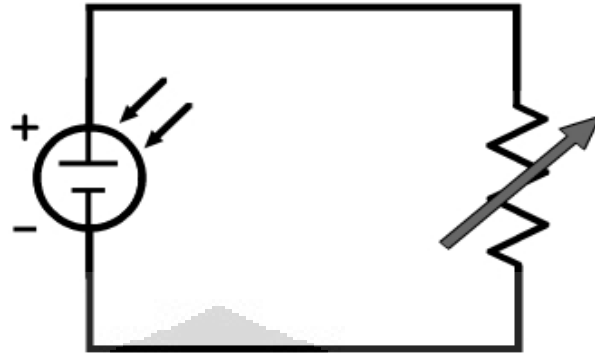
instrumen yang telah dibuat. Akuisisi data dari tegangan sel surya sebenarnya dapat langsung dilakukan oleh SST DAQ, namun untuk menjaga agar nilai tegangan yang diukur menjadi *drop* maka perlu dibuat instrumen tegangan. Instrumen arus yang didalamnya terdapat solenoida dengan medium ferit, sensor Hall UGN3503, dan pengkondisi sinyal diperlukan untuk pengukuran arus sel surya. Pembuatan perangkat keras sangat berperan penting didalam sebuah eksperimen karena mutu dari hasil eksperimen yang akan ditampilkan bergantung pada kualitas dari perangkat keras tersebut. Program *visual basic* dan *flash* membuat eksperimen ini menjadi lebih baik. Penampilan yang diberikan sangat menarik dan menjadikan eksperimen ini menjadi lebih mudah untuk penggunaannya. SST DAQ memiliki peran yang sangat penting yaitu sebagai pengakuisisi data yang sebenarnya dan sebagai antarmuka rangkaian eksperimen serta perangkat keras dengan perangkat lunak yang ada di dalam PC sehingga semuanya tergabung menjadi modul eksperimen.

3.1 Perancangan modul rangkaian sel surya

Modul rangkaian sel surya adalah modul yang dirancang agar sel surya berukuran 6.0 x 9.0 cm dapat menghasilkan tegangan dan arus. Sumber cahaya yang dipakai dalam eksperimen ini adalah lampu halogen 100W dan matahari . Pada gambar 3.2 sebuah sel surya dirangkakan dengan beban variabel. Beban variabel ini, yang kemudian akan digantikan dengan *Rotary Switch Resistor* (RSR), akan merubah arus yang dihasilkan

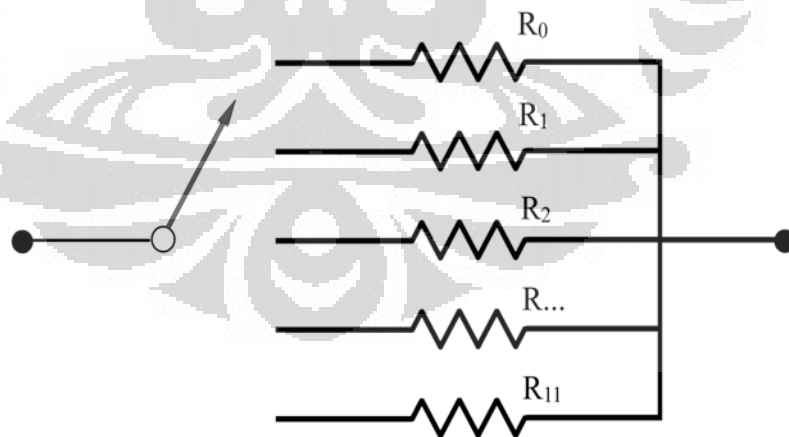
oleh sel surya. Besar beban yang berubah akan mengakibatkan arus ikut berubah. Selain tegangan dan arus, dari cara ini juga dapat diamati besar daya pada beban tersebut. Cara pengukuran tegangan dan arus sel surya ditunjukkan oleh gambar 3.4. Selain untuk mengetahui pengaruh perubahan arus terhadap tegangan sel surya, modul rangkaian ini juga digunakan juga untuk mengamati pengaruh intensitas cahaya dan temperatur terhadap nilai tegangan dan arus sel surya; dengan catatan bahwa pengukuran ini dilakukan pada nilai beban yang tetap dalam rangkaian serta cara pengukuran intensitas cahaya dan temperatur yang berbeda dengan pengukuran tegangan dan arus.

Komponen beban variabel yang dapat digunakan adalah potensiometer dan *multiturn*. Tetapi jika digunakan dalam eksperimen ini terdapat kelemahan pada komponen tersebut, misalnya: tidak dapat menentukan nilai beban dengan tepat dan tidak dapat memberikan nilai beban dengan nilai yang sangat rendah. Untuk itu dibuat sebuah komponen yang memudahkan hal tersebut yaitu RSR. *Rotary Switch Resistor* (RSR) adalah komponen yang didalamnya terdapat banyak variasi beban yang dapat dipilih dengan prinsip saklar. Dengan jangkauan nilai beban dari 0 sampai 100k Ω diharapkan cukup untuk mengetahui karakteristik dari sel surya ini[4].

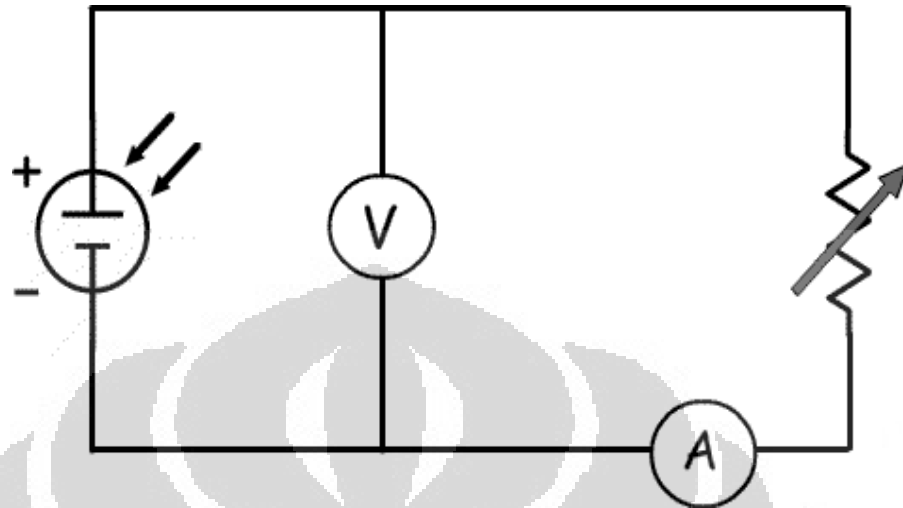


Gambar 3.2 Rangkaian sel surya dengan beban variabel

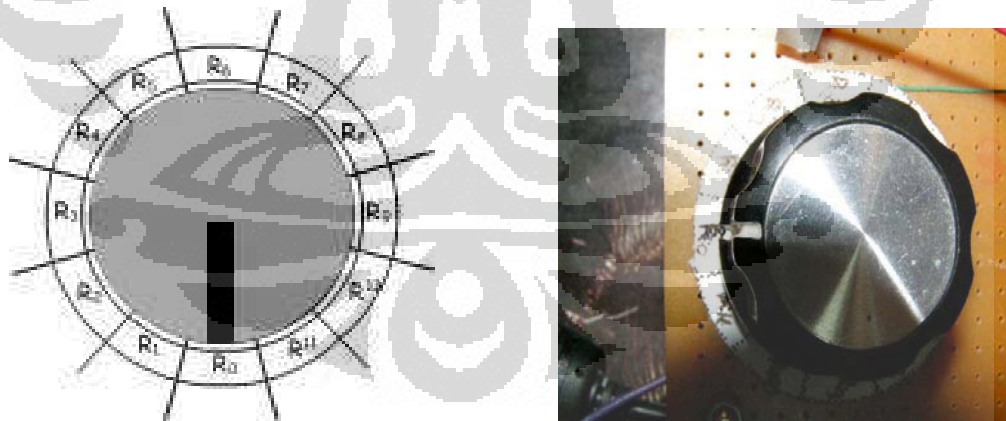
Skematik sederhana dari RSR yang ditunjukkan oleh gambar 3.3. Pada RSR tertera beban dengan simbol R_0 sampai R_{11} , yang nilainya dapat dilihat dari tabel 3.1. R_0 dipakai saat mengukur arus *short-circuit* dan R_{11} dipakai saat mengukur tegangan *open-circuit*.



Gambar 3.3 Skematik RSR



Gambar 3.4 Rangkaian pengukuran karakteristik arus-tegangan sel surya



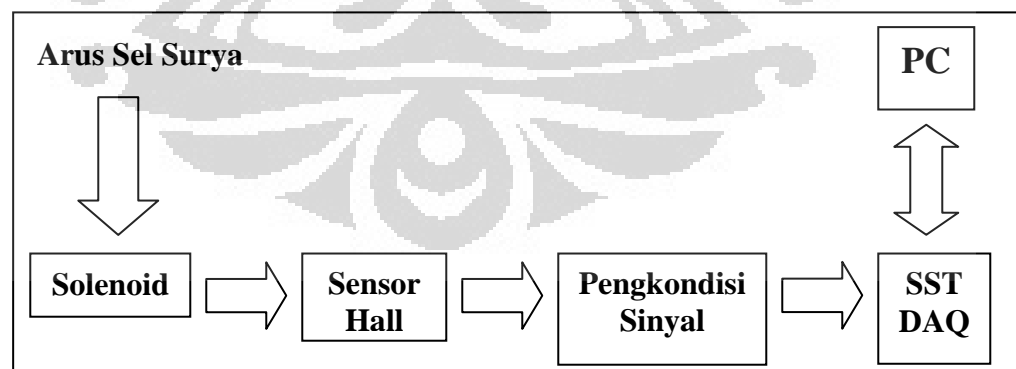
Gambar 3.5 *Rotary Switch Resistor (RSR)*

Tabel 3.1 Nilai-nilai beban di dalam RSR

Switch	Beban (Ω)	Switch	Beban (Ω)
R ₀	0	R ₆	15,5
R ₁	1,5	R ₇	22,2
R ₂	2,2	R ₈	40,1
R ₃	3	R ₉	70
R ₄	5	R ₁₀	100
R ₅	10	R ₁₁	100k

3.2 Instrumen arus

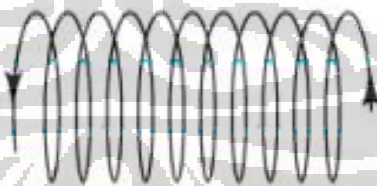
Instrumentasi pengukur arus adalah instrumentasi yang dibuat khusus untuk membantu dalam mengukur arus. Instrumen arus terdiri dari sebuah solenoid dengan medium lilitan besi ferit, sebuah sensor Hall, dan pengkondisi sinyal.



Gambar 3.6 Blok diagram instrumen pengukur arus

Arus yang dihasilkan oleh sel surya dilewatkan pada sebuah solenoid sehingga di dalam solenoid tersebut timbul daerah medan magnet yang dihasilkan oleh arus tersebut. Kemudian besarnya medan magnet ini dideteksi oleh sensor Hall. Keluaran dari sensor ini berupa nilai tegangan yang akhirnya dapat diakuisisi oleh SST DAQ. Jadi semakin besar arus di dalam solenoid, maka semakin besar medan magnet yang ditimbulkan dan nilai output dari sensor Hall akan berubah sesuai dengan arah medan magnet yang dideteksi.

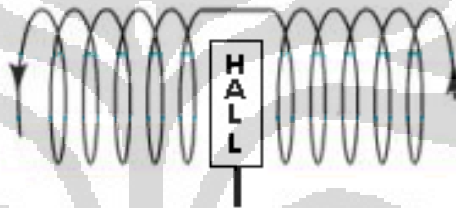
Karena data yang diakuisisi dari instrumen arus oleh SST DAQ berupa nilai tegangan maka nilai ini harus diubah kembali menjadi nilai arus yang sebenarnya. Melalui tahap pengujian instrumen arus akan ditentukan nilai fungsi transfer yang akan menjadi nilai konversi secara matematis di dalam program yang digunakan.



Gambar 3.7 Solenoid

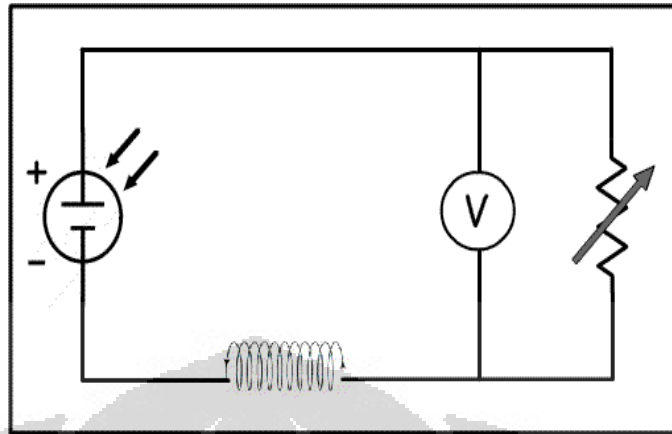
Solenoid, yang panjangnya 6 cm; diameter 1 cm; 300 lilitan kawat email 1 mm dililitkan pada silinder pejal ferit, diharapkan mampu untuk mengukur arus dengan jangkauan yang diperlukan sehingga medan magnet

yang dihasilkan dapat dideteksi oleh sensor Hall. Sebelum diakuisisi oleh SST DAQ, keluaran dari sensor Hall harus masuk ke dalam pengkondisi sinyal. Hal ini dilakukan karena keluaran sensor Hall yang berupa nilai tegangan mempunyai nilai *offset*. Nilai tegangan *offset* ini akan mengurangi kemampuan jangkauan akuisisi data yang dimiliki oleh SST DAQ. Untuk mendapatkan besar medan magnet yang maksimum, sensor Hall ditempatkan pada bagian tengah solenoid.



Gambar 3.8 Posisi sensor Hall pada solenoid

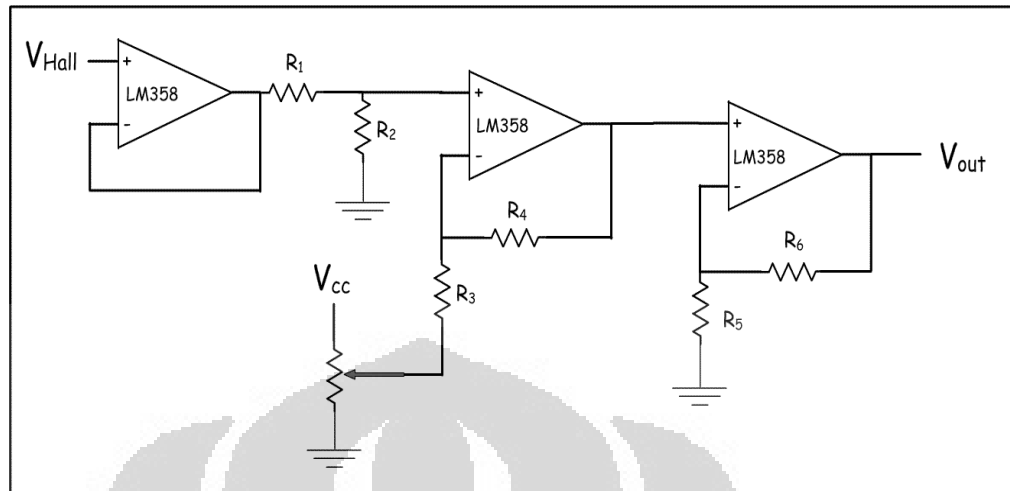
Agar arus yang dihasilkan sel surya melewati solenoid maka solenoid dirangkakan dengan sel surya menurut rangkaian pada gambar 3.9. Posisi solenoid tidak boleh diletakkan secara sembarang terhadap sel surya. Hal ini untuk menjaga kepastian dari nilai pengukuran yang akan dilakukan. Nilai resistansi yang dimiliki oleh solenoid dapat menjadi beban tambahan bagi sel surya, sehingga jika diletakkan pada posisi selain seperti pada gambar akan mempengaruhi pengukuran dari nilai tegangan dan arus.



Gambar 3.9 Modul rangkaian sel surya dengan solenoid

Pengondisi sinyal yang dibutuhkan adalah rangkaian *differential amplifier* dan *gain amplifier*. *Differential amplifier* digunakan untuk mengondisikan nilai tegangan *offset* dari sensor Hall. Nilai tegangan *offset* yang cukup besar akan menjadi masalah jika terjadi penguatan sinyal oleh *gain amplifier* karena pembacaan tegangan oleh SST DAQ yang terbatas hanya sampai 5 V sesuai dengan tegangan referensi yang digunakannya. Skematik rangkaian pengondisi sinyal instrumen arus ditunjukkan oleh gambar 3.10.

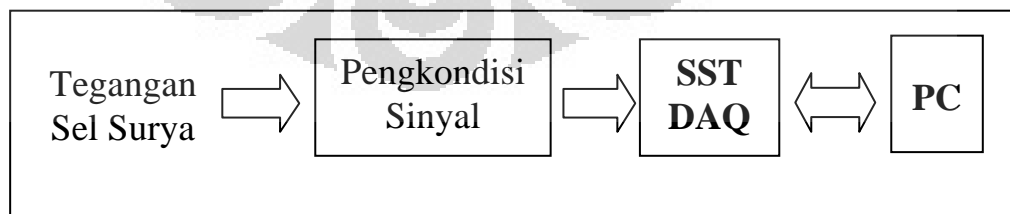
Selain untuk mengondisikan tegangan *offset* sensor Hall menjadi 0 V, *differential amplifier* juga digunakan untuk mengkalibrasi tegangan tersebut akibat faktor luar yang mengganggu. Sinyal dikuatkan hingga 100 kali oleh *gain amplifier*.



Gambar 3.10 Skematik rangkaian pengkondisi sinyal instrumen arus

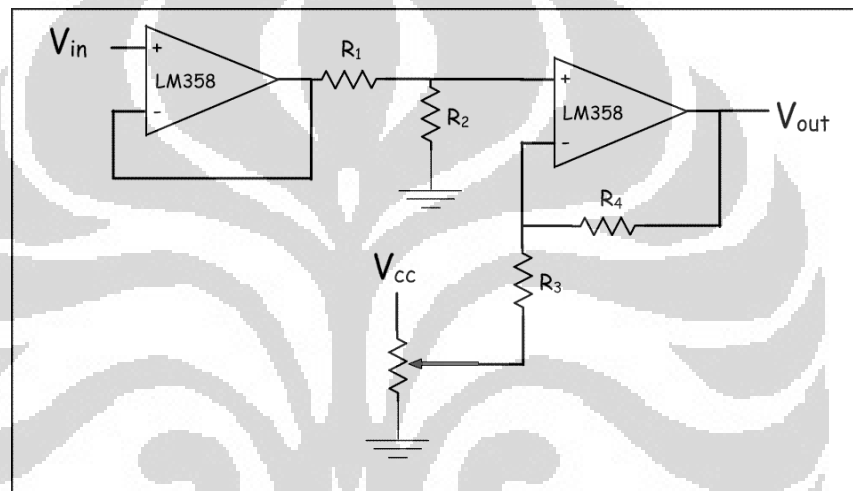
3.3 Instrumen tegangan

Instrumen tegangan adalah instrumen yang dibuat untuk membantu mengukur tegangan. Pada dasarnya tegangan yang dihasilkan oleh sel surya sebenarnya dapat langsung dibaca oleh SST DAQ, namun untuk menghindari faktor-faktor yang dapat mengganggu maka dibuat instrumen pengukur tegangan. Instrumen pengukur tegangan terdiri dari *buffer amplifier* dan *differential amplifier*.



Gambar 3.11. Blok diagram instrumen pengukur tegangan

Buffer amplifier berfungsi untuk menjaga nilai tegangan yang akan diukur agar tidak terpengaruh terhadap adanya impedansi dari luar rangkaian. Sedangkan *differential amplifier* berfungsi untuk mengkalibrasi nilai tegangan yang akan diukur. Skematik rangkaian instrumen pengukur tegangan ditunjukkan oleh gambar 3.12.



Gambar 3.12 Skematik rangkaian instrumen tegangan

3.4 Perangkat lunak eksperimen

Perangkat lunak terdiri dari 2 bagian yaitu pemrograman pada program *visual basic* dan program *flash*, yang semuanya saling berhubungan satu sama lain. Perangkat lunak berfungsi sebagai *interface* antara manusia dengan komputer. Pemrograman *visual basic* lebih digunakan pada pengontrolan *hardware* sedangkan *flash* berfungsi sebagai tampilan pada PC. Pada DAQ digunakan untuk mengkonversi tegangan analog menjadi

digital dan kemudian data konversi tersebut akan dikirimkan ke komputer jika ada perintah pengambilan data dari sensor dan kemudian data tersebut ditampilkan pada PC.

Sistem eksperimen melibatkan beberapa komponen yang saling terkait, yaitu *user*, dan sensor. *User* yang akan memulai sistem eksperimen. Aliran data sensor akan diproses pada eksperimen berbasis PC. PC eksperimen memiliki beberapa fitur-fitur seperti prinsip fisika, pengaturan, eksperimen, cara pengambilan data eksperimen, grafik, dan pengolahan data. Fitur-fitur tersebut dapat dijalankan oleh *user* untuk melakukan eksperimen.

Pada *Personal Computer* (PC) terdapat empat hal yang saling berkaitan, yaitu :

a. Komponen VB GUI,

VB GUI berfungsi untuk menampilkan flash, komponen yang digunakan yaitu *shockwaveFlash*.

b. Komponen *Flash*,

Flash dipakai dengan tujuan sebagai animasi dan mempercantik tampilan. Desain flash yang dipakai telah dirubah kedalam sebuah tipe *.swf* yang akan dipanggil oleh VB.

c. VB *Control*,

VB *Control* dipakai agar PC dapat terkoneksi dengan *hardware interface*. Beberapa fungsi komponen pada *flash* juga akan dikontrol oleh VB, adapun kontrol dilakukan terhadap tombol-tombol yang

memiliki masing-masing fungsi dengan memanfaatkan perintah *fscommand* pada *Flash* dan VB. Pada *fscommand* terdapat *command* dan *argumen*.

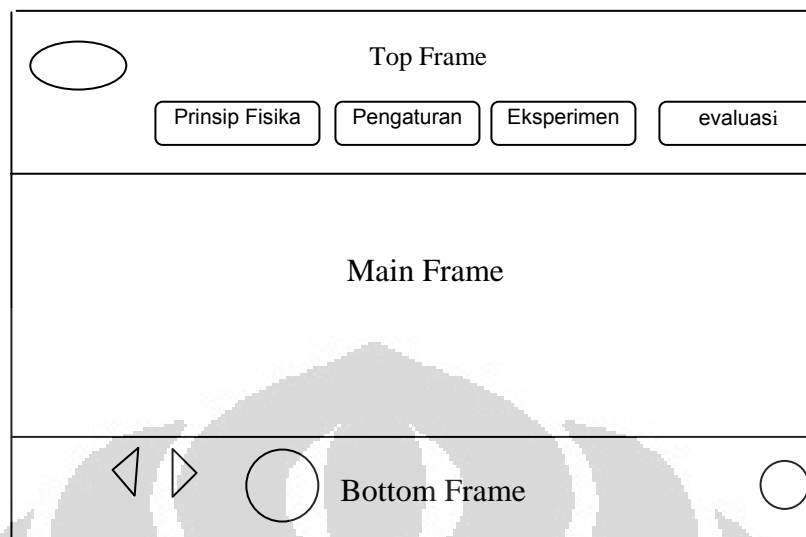
d. *Hardware Interface*

Digunakan untuk berkomunikasi secara serial dengan mikro menggunakan RS232 memanfaatkan *mscomm* pada *library Windows*.

Software macromedia flash digunakan untuk perancangan GUI (*Graphical User Interface*), dengan membuat tampilan dengan jenis file *flash* yang kemudian di *convert* menjadi jenis file (.swf). *Visual basic 6.0* akan memanggil jenis file (.swf) ini yang melalui *tools add-ins Resources Editor*.

Tujuan penggunaan *flash* ini dibuat agar tampilan menjadi interaktif dan menarik. Tetapi *flash* tidak dapat berkomunikasi dengan *hardware interface*, sehingga diperlukan suatu *software* yang dapat menjadi kontrol bagi *flash* tersebut dalam hal ini *software* yang digunakan adalah *visual basic 6.0*.

GUI pada gambar 3.13 dirancang dengan pembagian *frameset* yaitu bagian atas (*Top Frame*), bagian bawah (*Bottom Frame*), dan bagian tengah (*Main Frame*).



Gambar 3.13 Rancangan GUI sistem eksperimen

Bagian atas terdapat judul eksperimen dengan empat buah *tab* yaitu, prinsip fisika, pengaturan, eksperimen, dan evaluasi. Pada *tab* prinsip fisika dijelaskan bagaimana pengertian dan pemahaman eksperimen karakteristik arus-tegangan sel surya, pada *tab* pengaturan berisi uji komunikasi dan kalibrasi, dan pada *tab* eksperimen terdapat prosedur eksperimen, pengambilan data, grafik, dan tabel. Bagian bawah terdiri dari tombol navigasi yang berfungsi untuk mengakses *frame* yang lain. Bagian utama terdiri dari isi dari empat buah *tab* yang telah disebutkan diatas. Rancangan GUI terdiri dari tiga buah *background* dengan warna yang berbeda.

Sistem eksperimen dirancang untuk memudahkan *user* dalam melakukan eksperimen. Sebelum melakukan eksperimen maka user disarankan untuk membaca terlebih dahulu prosedur eksperimen yang ada pada *software*.

3.5 Prosedur eksperimen

3.5.1 Pengujian komunikasi

Pengujian komunikasi dilaksanakan agar akuisisi data yang akan dilakukan dapat berjalan dengan baik, berikut prosedurnya:

1. Menghubungkan kabel serial RS232 pada SST DAQ dengan PC, hubungkan juga SST DAQ dengan instrumen arus dan tegangan serta sel surya yang akan dipakai dalam eksperimen.
2. Menghubungkan lampu halogen, SST DAQ, dan PC dengan *power supply* masing-masing.
3. Menghidupkan SST DAQ dan menjalankan *software* pada PC.
4. Ikuti petunjuk pada *software*, lihat halaman uji komunikasi kemudian klik tombol uji komunikasi. *Software* akan menunjukkan tanda keberhasilan komunikasi dan siap menjalankan eksperimen.

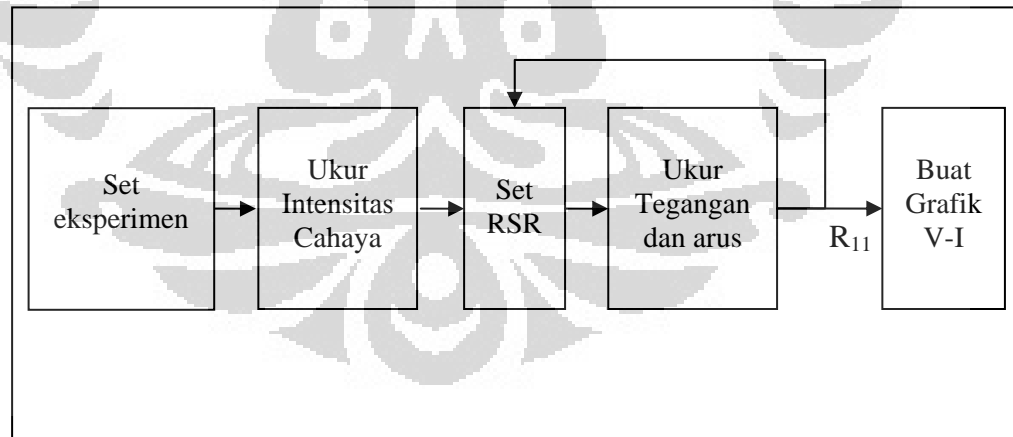
3.5.2 Eksperimen karakteristik tegangan terhadap arus sel surya

Dalam eksperimen ini, jarak antara lampu dengan sel surya konstan. Jarak atau intensitas yang diberikan menentukan akuisisi data yang baik, berikut adalah prosedurnya:

1. Setelah melalui halaman uji komunikasi, pindah ke halaman eksperimen karakteristik sel surya bagian pertama.
2. Siapkan alat ukur luxmeter untuk menghitung intensitas cahaya dan set RSR pada R_0

3. Menentukan jarak lampu terhadap sel surya dan menghidupkan lampu tersebut, mengukur jarak dan intensitas cahaya terhadap sel surya, dan mencatat nilainya pada PC.
4. Klik tombol ukur pada layar halaman tersebut, setelah muncul nilai tegangan dan arus, simpan dalam tabel pada baris R_0
5. Lakukan prosedur yang sama untuk R_1, R_2, \dots, R_{11}
6. *Print screen* plot data yang dihasilkan, dan simpan data dalam tabel tersebut dengan klik tombol simpan. (Data kemudian akan tersimpan dalam *microsoft excel*)

Untuk selanjutnya prosedur ini disebut dengan 'prosedur karakteristik sel surya'.



Gambar 3.14 Blok diagram prosedur eksperimen karakteristik sel surya

3.5.3 Eksperimen pengaruh temperatur terhadap karakteristik tegangan dan arus sel surya

Eksperimen ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur pada lingkungan sel surya terhadap karakteristik tegangan dan arus yang dihasilkan.

1. Menyalakan *blower*, melakukan 'prosedur karakteristik sel surya'
2. Simpan data dan membuat grafik tegangan dan arus.
3. Mematikan *blower*, memasang plat kaca yang telah disediakan dan tempatkan diantara lampu dan sel surya
4. Melakukan 'prosedur karakteristik sel surya'
5. Simpan data tersebut dan membuat kembali grafik tegangan dan arus
6. Membandingkan grafik pada eksperimen 3.5.2 dengan kedua grafik yang dihasilkan.

3.5.4 Eksperimen pengaruh intensitas cahaya terhadap arus tegangan sel surya

Dalam eksperimen ini, arus yang diukur adalah arus pada keadaan *short-circuit*. Untuk merubah intensitas dilakukan perubahan jarak lampu terhadap sel surya, berikut prosedurnya:

1. RSR pada posisi R_0 , menempatkan posisi lampu pada jarak yang telah ditentukan.
2. Pada PC, pindahkan *software* pada halaman eksperimen selanjutnya yaitu eksperimen bagian kedua

3. Ukur jarak, ukur intensitas cahaya lampu terhadap sel surya, dan ukur arus dengan meng-*click* tombol pada halaman tersebut.
4. Catat semuanya di dalam tabel pada halaman *software*
5. Ulangi prosedur no.3 untuk jarak 5 cm lebih jauh dan kelipatannya.
6. *Print screen* plot data yang telah dihasilkan, simpan data tabel tersebut.

3.5.5 Eksperimen pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan sel surya

Dalam eksperimen ini, tegangan yang diukur adalah tegangan pada keadaan *open-circuit*. Untuk merubah intensitas dilakukan perubahan jarak lampu terhadap sel surya, berikut prosedurnya:

1. RSR pada posisi R_{11} , menempatkan posisi lampu pada jarak yang telah ditentukan.
2. Pada PC, pindahkan *software* pada halaman eksperimen selanjutnya yaitu eksperimen bagian ketiga
3. Ukur jarak, ukur intensitas cahaya lampu terhadap sel surya, dan ukur tegangan dengan meng-*click* tombol pada halaman tersebut.
4. Catat semuanya di dalam tabel yang telah tersedia pada halaman *software* .
5. Ulangi prosedur no.3 untuk jarak 5 cm lebih jauh dan kelipatannya.
6. *Print screen* plot data yang telah dihasilkan, simpan data tabel tersebut.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

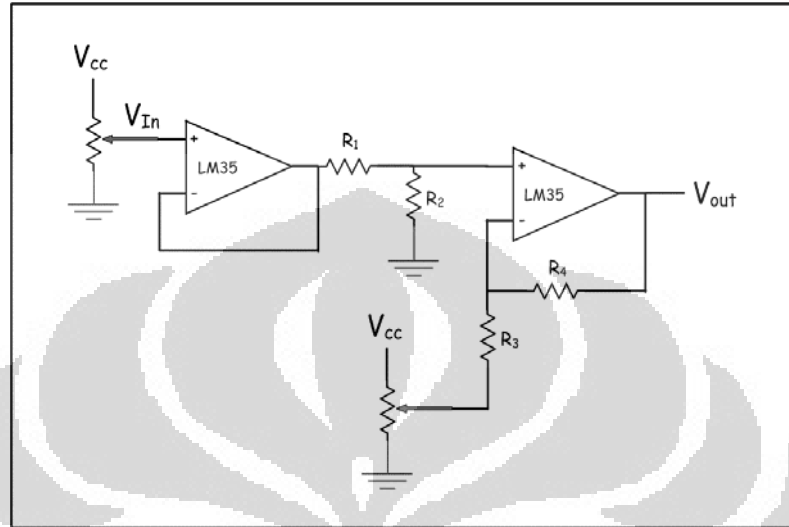
Setelah pembuatan sistem selesai, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian yang meliputi pengujian perangkat keras dan perangkat lunak. Pengujian perangkat keras dilakukan untuk mengkalibrasi dan mengetahui linearitas masing-masing rangkaian dalam sistem. Dengan demikian kita dapat mengetahui fungsi transfer yang dipakai dan memberikan kita informasi nilai *output* yang dihasilkan oleh masing-masing rangkaian.

4.1 Pengujian instrumentasi tegangan

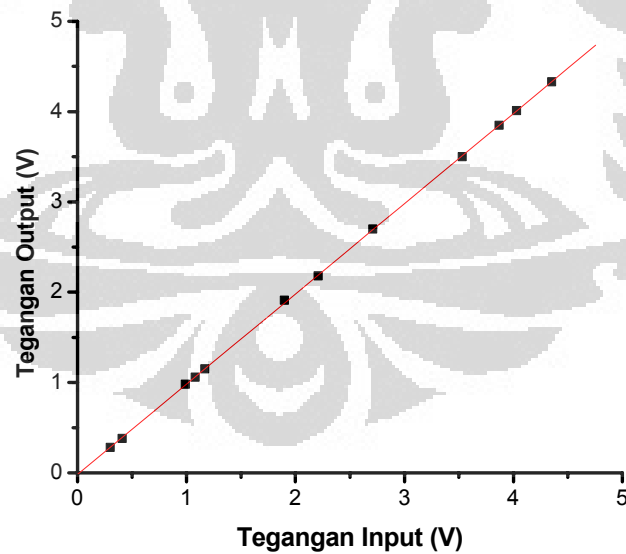
Pengujian instrumentasi tegangan ditujukan untuk mengamati linearitas dari pengukuran terhadap tegangan sel surya, jangkauan pengukuran yang dapat dilakukan, dan kalibrasi untuk pengukuran tegangan itu sendiri. Sehingga pengukuran yang dilakukan sesuai dengan kemampuan dari alat ukur tersebut.

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan variasi tegangan pada input rangkaian dan mengukur tegangan keluaran yang dihasilkan pada terminal *output* pada gambar rangkaian instrumen tegangan. Potensiometer *multiturn* digunakan dalam pengujian ini untuk memvariasikan tegangan

inputnya. Besarnya tegangan *input* dan *output* diukur dengan multimeter digital.



Gambar 4.1 Skematik rangkaian pengujian instrumen tegangan



Gambar 4.2. Grafik pengujian instrumen tegangan

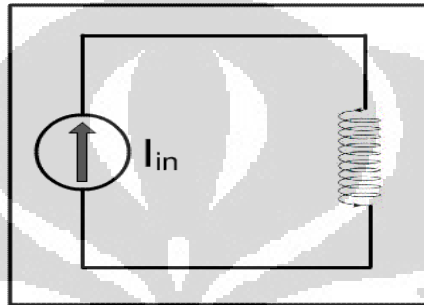
Dengan memberikan nilai tegangan *input* didapatkan nilai tegangan *output* yang cukup baik dengan *noise* yang cukup kecil. Jangkauan pengukuran yang dapat dilakukan dari 0 s.d. 5 V bahkan lebih. Dari grafik pengujian terlihat bahwa rangkaian pengkondisi sinyal penghasil tegangan memiliki linearitas yang baik dan bekerja sehingga dapat digunakan. Fungsi transfer tidak begitu diperlukan karena nilai *input* dan *output* tidak terpaut sangat jauh sehingga nilainya dapat dianggap sama. Perbedaan nilai yang sangat kecil ini dapat dimasukkan sebagai kesalahan pengukuran di dalam eksperimen.

4.2 Pengujian dan kalibrasi instrumentasi arus

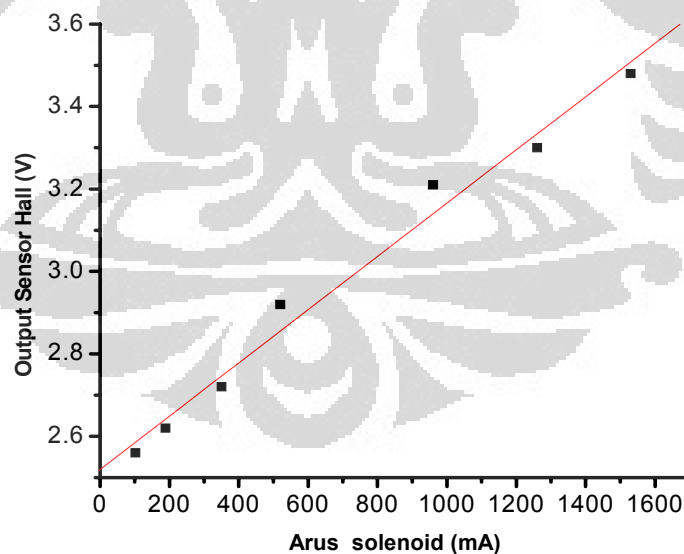
Pengujian instrumen arus dilakukan untuk mengetahui jangkauan pengukuran arus yang mampu diukur, mengetahui fungsi transfer antara nilai arus yang diukur dengan tegangan yang dibaca oleh SST DAQ, dan proses kalibrasi sistem ini. Pengujian dilakukan dengan cara mengganti posisi sel surya dalam modul rangkaian dengan suatu sumber arus seperti yang ditunjukkan gambar di bawah ini.

Kemudian dengan mengukur tegangan yang dihasilkan pada instrumen arus terhadap besar arus yang diberikan pada rangkaian. Didapatkan hasil seperti pada grafik pengujian instrumen arus. Dari grafik tersebut didapatkan hasil linearitas dari instrumen arus cukup baik, walaupun masih terdapat *noise*. *Noise* tersebut mungkin terjadi akibat sumber arus yang kurang baik dalam pengujian ini. Atau mungkin saja akibat dari solenoida yang dapat

menangkap sinyal lain dalam lingkungan pengujian. Sensitivitas sensor dalam mendeteksi perubahan medan magnet yang ditimbulkan oleh arus cukup baik, response yang cepat mempengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam eksperimen.

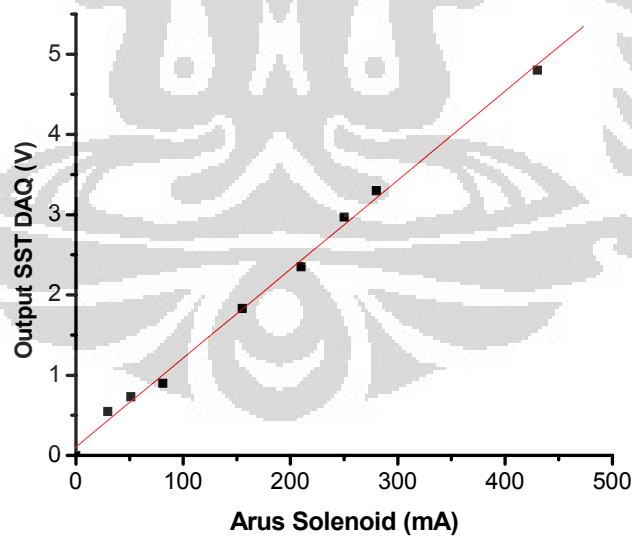


Gambar 4.3 Rangkaian pengujian instrumen arus

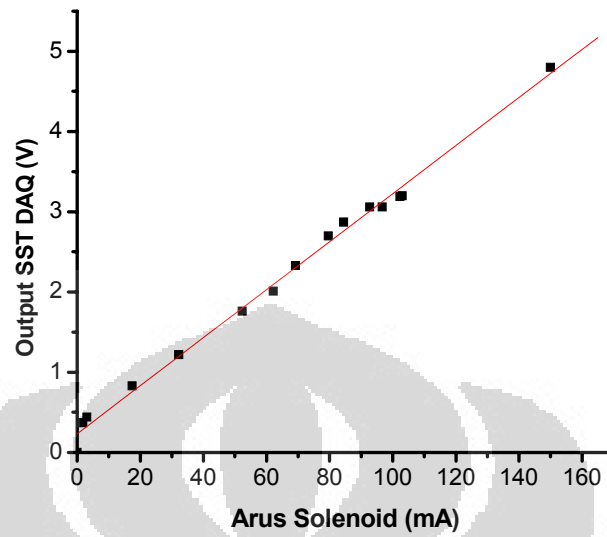


Gambar 4.4 Grafik pengujian *output* sensor Hall terhadap arus yang melewati solenoid

Pengujian *output* dari sensor Hall langsung diukur oleh SST DAQ tanpa melewati rangkaian pengkondisi sinyal. Arus yang melewati solenoid adalah arus yang berasal dari sumber arus yang diukur oleh *digital* multimeter. Pengujian dilakukan tanpa menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal yang berarti belum adanya penguatan sinyal bertujuan untuk menguji linearitas dan kemampuan dari bagian instrumen arus yaitu solenoid dan sensor Hall. Pada arus yang cukup besar penyimpangan nilai yang tidak begitu besar. Hal ini mungkin diakibatkan oleh sumber arus tidak begitu baik menghasilkan arus pada nilai yang tinggi. Walau demikian pengukuran masih dapat dilakukan karena pada nilai arus yang rendah linearitas dari bagian instrumen arus ini cukup baik.



Gambar 4.5 Grafik pengujian instrumen arus untuk jangkauan hingga 400 mA



Gambar 4.6 Grafik pengujian instrumen arus untuk jangkauan hingga 150 mA

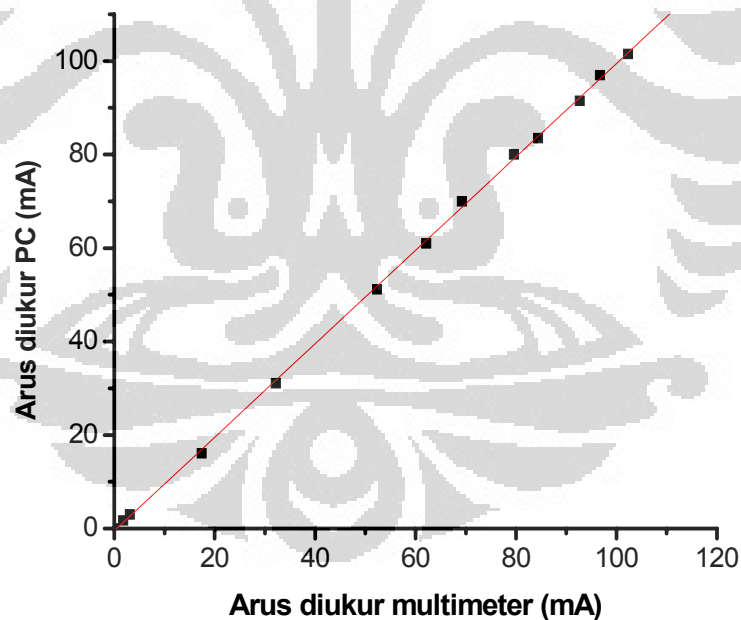
Dengan menggunakan metode *leastsquare* maka dari grafik gambar 4.4 tersebut didapatkan persamaan fungsi antara tegangan yang dibaca oleh SST DAQ dengan arus yang melewati solenoid adalah

$$V \text{ (volt)} = 0.03 I \text{ (mA)} + 0.3 \quad (4.2)$$

Sehingga fungsi transfer yang digunakan pada program untuk menghasilkan nilai arus pengukuran adalah

$$I \text{ (mA)} \cong \frac{V \text{ (volt)} - 0.3}{0.03} \quad (4.3)$$

Kemudian fungsi transfer tersebut diimplementasikan terhadap pengukuran yang dilakukan oleh PC yang sebelumnya masih merupakan nilai tegangan. Nilai tegangan yang dibaca oleh SST DAQ kemudian diproses secara matematis dengan menggunakan fungsi transfer arus terhadap tegangan yang dihasilkan dari pengujian. Setelah itu diuji kembali dengan membandingkan nilai arus yang dibaca oleh multimeter yang dipasang terhadap rangkaian dengan nilai arus yang telah diproses oleh program dan menghasilkan besaran nilai yang tampil pada layar pengukuran pada PC.



Gambar 4.7 Grafik antara arus yang diukur multimeter dengan arus yang diukur PC, implementasi dari fungsi transfer

4.3 Pengujian modul eksperimen

4.3.1 Pengujian komunikasi

Ketika menjalankan *software* pelaksana eksperimen ini dapat dijalankan dengan baik. Saat pengujian komunikasi dapat berhasil dilakukan, walaupun terkadang masih terdapat kegagalan.



Gambar 4.8 Contoh uji komunikasi antara PC dengan SST DAQ yang berhasil dilakukan

Kegagalan ini mungkin saja terjadi akibat perintah yang diberikan oleh PC tidak sampai dengan baik. Pemakaian kabel serial RS232 dengan kualitas yang bagus dapat mengurangi kegagalan komunikasi. Karena pada

dasarnya komunikasi adalah penyampaian sinyal yang berupa tegangan. Ketika hambatan suatu konduktor cukup besar, mungkin sinyal ini tidak dapat diterjemahkan dengan baik oleh SST DAQ. Kemampuan mikrokontroler pada SST DAQ dalam menjawab komunikasi juga sangat penting. Hal ini berpengaruh tidak hanya dalam pengujian komunikasi, tetapi juga dalam kecepatan pengambilan dan pengiriman data. Pengujian komunikasi pada data ini cukup baik seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.8

4.3.2 Pengujian eksperimen karakteristik tegangan dan arus sel surya

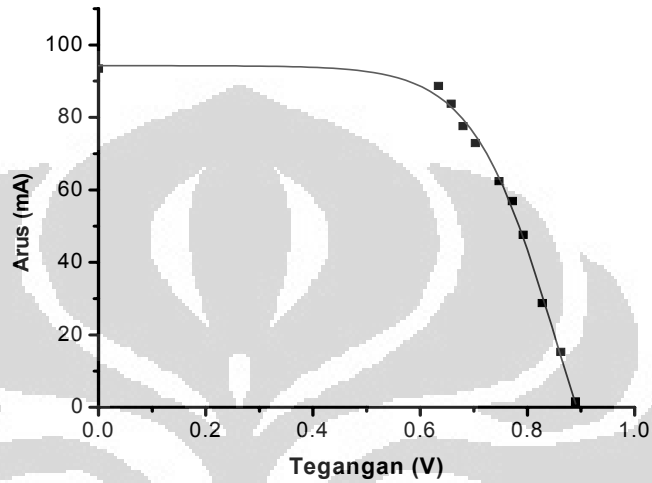
Pada saat pengambilan data terdapat beberapa sumber cahaya yaitu antara lain cahaya yang datang dari jendela yang tidak tertutup rapat, cahaya dari monitor PC, dan cahaya dari sumber lampu yang akan digunakan. Walaupun demikian ketika sumber cahaya untuk sel surya tidak dinyalakan, alat ukur tidak mendeteksi adanya pengaruh dari cahaya-cahaya tersebut ditandai dengan tidak adanya perubahan nilai tegangan dan arus dari sel surya. Dengan kata lain, sumber cahaya selain lampu halogen yang dipakai dalam eksperimen ini tidak memiliki pengaruh apapun terhadap sel surya. Hal ini mungkin saja terjadi karena cahaya yang datang tidak sampai pada permukaan sel surya, intensitas cahaya tersebut sangat lemah, dan frekuensi cahaya tersebut sangat kecil sehingga energinya pun juga kecil tidak sanggup mengeksitasi elektron yang ada di dalam sel surya.



Gambar 4.9 Plot data karakteristik arus-tegangan sel surya dengan PC

Pemakaian dan pemilihan beban variabel yang digunakan masih belum cukup untuk menganalisa karakteristik sel surya secara keseluruhan. Selain itu nilai beban yang dipakai harus disesuaikan dengan intensitas cahaya yang digunakan dalam eksperimen ini. Akan tetapi untuk mengamati pengaruh dari perubahan arus terhadap tegangan sel surya sudah dapat dilakukan dan mungkin diperlukan analisa lebih lanjut dengan pendekatan kuantum. Beban variabel yang digunakan sudah tepat karena pada nilai-nilai tersebut dapat terlihat dengan jelas perubahan yang dihasilkan dari tegangan dan arus. Regenerasi dari elektron didalam atom-atom semikonduktor tipe-p dan tipe-n mempengaruhi medan listrik yang dihasilkan pada daerah *pn-junction*. Difusi antara elektron dan *holes* mengubah jarak deplesi yang ada.

Hal ini ditunjukkan dengan adanya perubahan nilai tegangan ketika arus yang merupakan pergerakan dari elektron yang bervariasi.



Gambar 4.10 Kurva karakteristik arus-tegangan sel surya

Tabel 4.1 Daya pada beban pada pengukuran karakteristik arus-tegangan sel surya

R (Ω)	V (Volt)	I (mA)	P (mW)
R ₀	0	93.5	0
R ₁	0.63	88.7	55.9
R ₂	0.66	83.8	55.3
R ₃	0.68	77.6	52.8
R ₄	0.7	72.9	51
R ₅	0.75	62.4	46.8
R ₆	0.77	56.9	43.8
R ₇	0.79	47.6	37.6
R ₈	0.83	28.8	23.9
R ₉	0.86	15.3	13.2
R ₁₀	0.89	1.6	1.4
R ₁₁	0.89	0	0

Beban maksimum didapatkan pada nilai R_1 yaitu $1,5 \Omega$. Hal ini berlaku pada intensitas cahaya yang diberikan lampu dengan jarak 15 cm. Dengan intensitas mendekati nilai $14,6 \text{ W/m}^2$. Dari data ini didapatkan nilai fill factor yang dimiliki sel surya adalah

$$FF = \frac{0.63 \cdot 88.7}{0.89 \cdot 93.5} = 0.67$$

Dari nilai FF ini diamati bahwa tidak semua daya yang dimiliki oleh sel surya dapat diberikan pada beban. Mungkin sebagian daya yang lain dipakai sebagai daya yang harus tetap berada pada sel surya untuk menjaga kemampuannya untuk mengkonversi energi cahaya. Sedangkan efisiensi yang dimiliki oleh sel surya pada eksperimen ini melalui data tersebut adalah

$$\eta = \frac{55.9}{756} \cdot 100\% = 7\%$$

Mungkin saja dengan memberikan nilai beban variabel yang lebih tepat dapat diamati pengaruh arus terhadap tegangan sel surya. Hal ini pun ternyata memiliki dampak yang lain yaitu daya yang dihasilkan oleh sel surya menjadi berbeda walaupun intensitas cahaya yang diberikan bersifat tetap. Beban maksimum didapatkan pada nilai beban yang sangat rendah. Namun semakin besar intensitas cahaya yang diberikan, nilai beban mungkin dapat

ditingkatkan. Dengan demikian jika kita mengetahui nilai hambatan suatu peralatan yang dirangkaikan, maka kita dapat mengetahui besar intensitas cahaya yang diperlukan untuk mendapatkan daya maksimum dari sel surya.

4.3.3 Pengujian eksperimen pengaruh temperatur terhadap karakteristik arus-tegangan sel surya

Eksperimen ini mengacu kepada tiga jenis keadaan temperatur yang berbeda yaitu dengan *blower*, tanpa *blower*, dan dengan plat kaca. Secara khusus temperatur permukaan sel surya tidak dapat langsung diukur. Namun dengan mengamati keadaan lingkungan disekitarnya yang dapat mempengaruhi temperatur dari sel surya tersebut kita dapat menggambarkan temperatur sel surya berdasarkan temperatur dari lingkungannya. Dalam pengambilan data di eksperimen ini, suhu ruangan dijaga konstan yaitu sebesar suhu kamar.

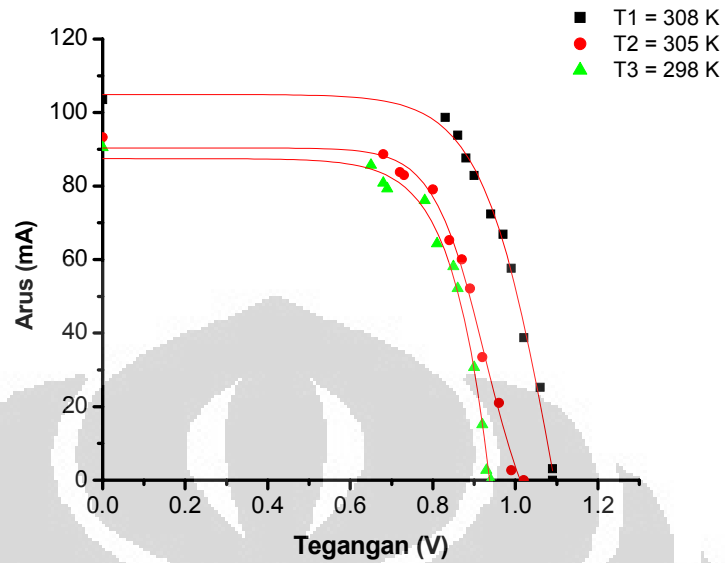
Ketika pengukuran dilakukan tanpa menghidupkan *blower*, suhu sekitar sel surya meningkat. Mungkin saja temperatur permukaan sel surya ikut berubah. Hasilnya adalah karakteristik arus-tegangan sel surya yang kurang baik. Namun hal ini diatasi dengan cara menyinari lampu untuk beberapa lama hingga kenaikan temperatur akibat radiasi dari sinar lampu halogen tersebut tidak terlalu cepat, maka segera dilakukan pengukuran.

Pengukuran dengan menggunakan *blower* dirasakan bahwa *blower* cukup membantu untuk membuang suhu panas yang berkeliaran di sekitar

permukaan sel surya. Tentunya temperatur pada pengukuran ini lebih rendah dibandingkan dengan pengukuran tanpa *blower*. Hal ini dapat diamati dengan besarnya perbedaan karakteristik arus-tegangan antara tanpa *blower* dan dengan memakai *blower*.

Plat kaca bertujuan untuk menahan panas yang terkonveksi melalui udara. Ternyata peningkatan suhu permukaan sel surya sebagian besar disebabkan oleh radiasi cahaya yang ditimbulkan oleh lampu halogen tersebut. Pengamatan ini berdasarkan data grafik yang diperoleh antara eksperimen yang tidak menggunakan *blower* dan dengan menggunakan kaca. Nilai antara keduanya tidak terpaut terlalu jauh.

Temperatur lingkungan saat pengukuran dengan *blower* adalah 25°C , temperatur saat *blower* dimatikan 35°C , dan ketika dipasang kaca temperatur sekitar sel surya adalah 32°C . Pada grafik diamati bahwa semakin tinggi temperatur, karakteristik arus-tegangan pada sel surya bergeser turun. Dari pengolahan data dapat diamati bahwa perubahan tegangan bernilai 12 mV K^{-1} hingga 19 mV K^{-1} . Arus juga mengalami penurunan 0.04 mA K^{-1} hingga 1.35 mA K^{-1} . Namun pengaruh temperatur tidak begitu besar pada arus yang dihasilkan dibandingkan dengan tegangan. Mungkin ini berhubungan dengan energi Fermi dari material semikonduktor yang berhubungan dengan temperatur. Namun demikian pengukuran temperatur yang ada belum akurat karena hanya berdasarkan temperatur lingkungan terdekat dari sel surya.



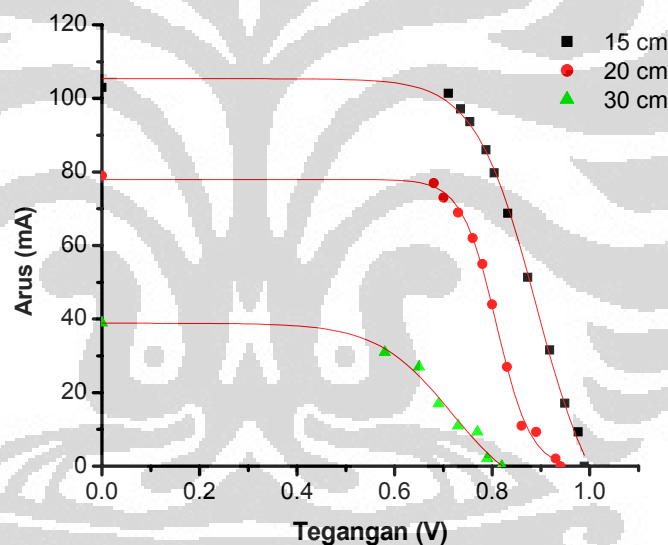
Gambar 4.11 Perbandingan kurva karakteristik arus-tegangan pada temperatur lingkungan yang berbeda

Tabel 4.2 Perbandingan nilai arus dan tegangan terhadap perubahan temperatur

R	V_{T1}	I_{T2}	V_{T2}	I_{T2}	V_{T3}	I_{T3}	$\Delta V/\Delta T$	$\Delta I/\Delta T$
R ₀	0	103.5	0	93.3	0	90.5	0	1.35
R ₁	0.83	98.7	0.68	88.7	0.65	85.7	0.018	1.3
R ₂	0.86	93.8	0.72	83.8	0.68	80.8	0.018	1.3
R ₃	0.88	87.6	0.73	83	0.69	79.3	0.019	0.8
R ₄	0.9	82.9	0.8	79.1	0.78	76.1	0.012	0.68
R ₅	0.94	72.4	0.84	65.3	0.81	64.3	0.013	0.81
R ₆	0.97	66.9	0.87	60.1	0.85	58.1	0.012	0.88
R ₇	0.99	57.6	0.89	52.1	0.86	52.1	0.013	0.55
R ₈	1.02	38.8	0.92	33.5	0.9	30.7	0.012	0.81
R ₉	1.06	25.3	0.96	21	0.92	15.1	0.014	1.02
R ₁₀	1.09	3.1	0.99	2.7	0.93	2.7	0.016	0.04
R ₁₁	1.09	0	1.02	0	0.94	0	0.015	0

4.3.4 Pengujian eksperimen pengaruh intensitas cahaya terhadap arus sel surya

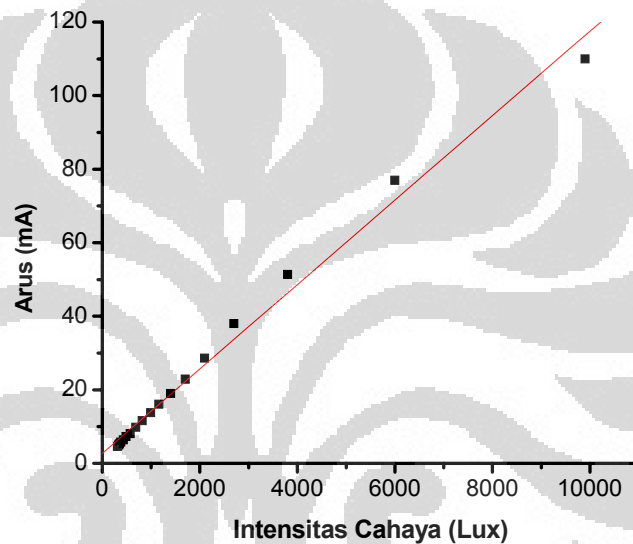
Dengan merubah jarak antara lampu halogen dengan sel surya maka didapatkan intensitas yang berbeda yang didapatkan oleh sel surya. Hal ini berpengaruh terhadap arus yang dihasilkan oleh sel surya. Pada pengukuran ini, arus yang diukur adalah arus *short-circuit*. Tujuannya adalah agar perubahan nilai arus nantinya tidak akan mempengaruhi besar tegangan sel surya.



Gambar 4.12 Pengaruh perubahan intensitas cahaya terhadap karakterisasi arus-tegangan sel surya

Dengan merubah jarak sumber cahaya dengan sel surya, maka intensitas yang diterima oleh sel surya akan berubah. Intensitas akan berkurang ketika jarak sumber cahaya semakin jauh. Hal ini berpengaruh terhadap karakteristik arus-tegangan yang dihasilkan sel surya. Intensitas

yang berkurang mengakibatkan pergeseran kurva karakteristik menjadi turun. Dampaknya adalah ketika intensitas menjadi sangat kecil, pengukuran yang dilakukan harus semakin kecil. Untuk itu kemampuan dari alat ukur harus semakin ditingkatkan.

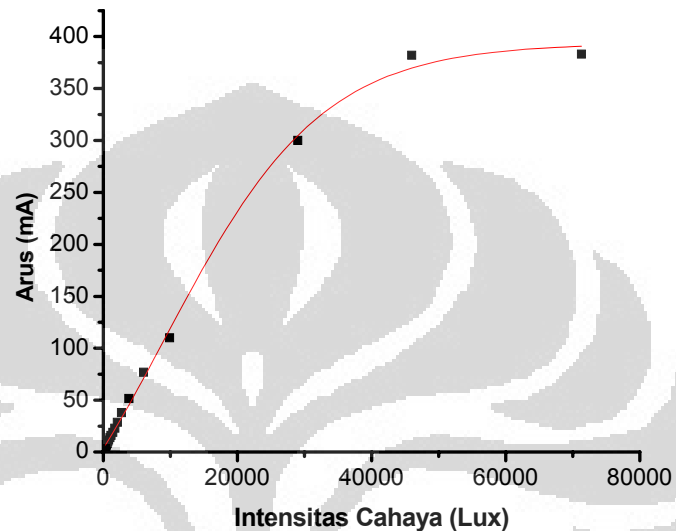


Gambar 4.13 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap arus *short-circuit* sel surya pada pengukuran didalam ruang

Pengaruh dari perubahan intensitas cahaya terhadap arus sel surya dapat diamati pada grafik diatas, bahwa perubahan intensitas cahaya berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan oleh sel surya.

Ketika intensitas cahaya yang diberikan lebih besar lagi yaitu dengan matahari sebagai sumber cahaya, arus yang dihasilkan oleh sel surya akan mengalami keadaan saturasi seperti yang terlihat pada grafik 4.13. Suatu keadaan dari sel surya dimana intensitas cahaya tidak lagi mempengaruhi

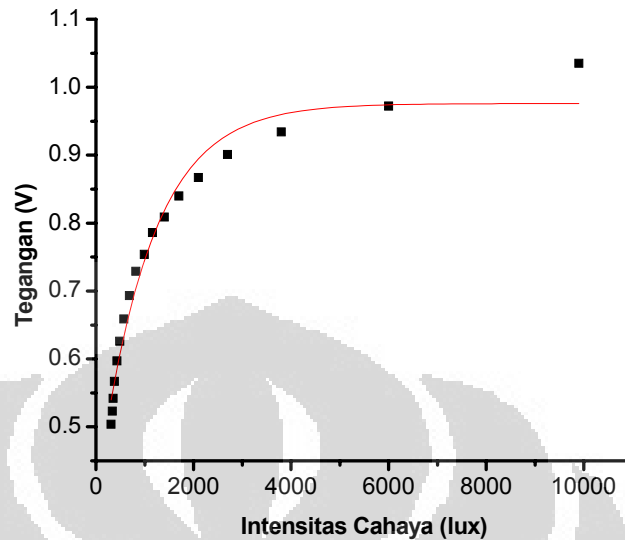
arus. Intensitas tidak menambah besar arus yang dihasilkan oleh sel surya sehingga ini merupakan nilai maksimum yang dimiliki sel surya.



Gambar 4.14 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dengan memasukkan nilai intensitas matahari

4.3.5 Pengujian eksperimen pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan sel surya

Hal yang hampir serupa dilakukan pada eksperimen ini, pengaruh besarnya intensitas cahaya terhadap tegangan dapat dijelaskan melalui hasil pengambilan data. Tegangan yang diukur adalah tegangan *open-circuit*. Tentu saja alasan yang sama digunakan agar perubahan arus tidak mempengaruhi nilai tegangan.



Gambar 4.15 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan *open-circuit* sel surya

Dengan pengamatan pada grafik tersebut bahwa perubahan intensitas cahaya tidak berbanding lurus dengan perubahan tegangan. Kenaikan intensitas cahaya tidak selalu diiringi dengan kenaikan tegangan oleh sel surya. Kenaikan tegangan seperti mengalami saturasi terhadap kenaikan intensitas cahaya.

Tegangan lebih dulu mencapai keadaan saturasi dibandingkan dengan arus. Pada keadaan intensitas cahaya yang rendah, sel surya sudah dapat mencapai nilai tegangan maksimum. Hal ini dapat disebabkan oleh lapisan *depletion layer* yang terdapat di dalam sel surya mengalami titik jenuh untuk meningkatkan daerah medan listrik. Dapat juga dikarenakan jumlah atom-atom penghasil medan listrik yaitu elektron dan *holes* yang terbatas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengembangan sistem eksperimen karakteristik sel surya berbasis PC dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sistem eksperimen karakteristik sel surya berbasis PC berhasil dilakukan.
2. Beban maksimum pada eksperimen menggunakan sel surya ukuran 6.0 cm x 9.0 cm dengan intensitas 14 W m^{-2} didapatkan pada R_1 (1.5Ω) dengan nilai 55.9 mW.
3. *Fill factor* dari sel surya yang dipakai dalam eksperimen bernilai antara 0.67 hingga 0.8 dan efisiensi sel surya mencapai 7%
4. Perubahan arus dan tegangan terhadap temperatur mencapai nilai 19 mV K^{-1} dan 1.35 mA K^{-1} .
5. Saturasi arus *short-circuit* dan tegangan *open-circuit* mulai dicapai saat intensitas cahaya 70 W m^{-2} dan 9 W m^{-2} dengan arus maksimum sekitar 385 mA dan tegangan maksimum sebesar 1.09 V.
6. Sistem *interface* yang menggunakan SST DAQ telah diuji pada eksperimen karakteristik arus-tegangan sel surya berbasis PC.
7. Sistem *interface* memiliki fitur-fitur sebagai berikut :

- Prinsip Fisika
- Analisis data berupa perhitungan dan grafik
- *User* dapat melakukan proses pengambilan data eksperimen dalam format (.txt).

5.2 Saran

Sistem eksperimen yang telah dibuat belum terkoneksi dengan jaringan komputer atau internet. Sistem eksperimen yang terkoneksi dengan internet tentu akan memudahkan *user* dalam segi waktu.

Pengukuran yang dilakukan oleh SST DAQ pada sistem rangkaian eksperimen adalah pengukuran tegangan dan arus. Sedangkan pengukuran intensitas cahaya masih dilakukan secara manual dengan luxmeter. Untuk lebih memudahkan serta membuat eksperimen ini berbasis PC yang sebenarnya maka diperlukan pendeteksi intensitas cahaya yang dapat diukur oleh PC.

Eksperimen ini tidak dapat mendeteksi temperatur sel surya yang sebenarnya. Temperatur lingkungan hanya menjadi referensi dasar dalam perhitungan sehingga diperlukan suatu keadaan yang dapat mempertahankan temperatur dan dapat mengukur temperatur dari sel surya.

DAFTAR ACUAN

1. Omar, M.Ali. 1975. Elementary solid state physics. Addison-Wesley Publishing Company. Inc. 319
2. Scott Aldous. 2006. How solar cells works. 9 hlm. <http://www.howstuffworks.com/solar-cell.htm>, 24 Juli 2007, 14 27'
3. Tipler, Paul.A. *Fisika untuk sains dan teknik*. Hal 637
4. Morgan, Michael.J., G.Jakovidis, I.McLeod. An Experiment To Measure the I-V Characteristic of a silicon solar cell. Department of Physics, Monash University, Clayton, Victoria 3168, Australia
5. Marcolini, Lorenzo. 2005. Photovoltaic Electric Energy from Laboratory to Ended Plant. *Gjornal Furlan des Siencis*. 63-107
6. System Tech, 2007, SST DAQ AV Series User's Guide versi 1.03