



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAYA
LISTRIK PADA FOTOVOLTAIK SECARA REALTIME
BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 16**

SKRIPSI

ELSA ALFIANSYAH

07 06 19 9275

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAYA
LISTRIK PADA FOTOVOLTAIK SECARA REALTIME
BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 16**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

ELSA ALFIANSYAH

07 06 19 9275

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
JUNI 2009**

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Elsa Alfiansyah
NPM : 0706199275**

**Tanda Tangan :
Tanggal : 6 Juli 2009**

PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Elsa Alfiansyah
NPM : 0706199275
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik
Pada Fotovoltaik Secara Realtime Berbasis
Mikrokontroler ATmega 16

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Ir. Feri Yusivar, M.Eng ()

Penguji : Dr.Ir.Ridwan Gunawan, MT ()

Penguji : Aries Subiantoro, ST, MSc. ()

Ditetapkan di : Ruang Multimedia A LT.2 DTE Depok

Hari / Tanggal : Selasa, 30 Juni 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur selalu saya haturkan kehadiran **Allah SWT** atas segala nikmat dan karunia yang telah diberikan-Nya, karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dapat terselesaikan tepat waktu seperti apa yang direncanakan. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya secara khusus menghaturkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- (1) Dr. Ir.Feri Yusivar, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan motivasi dan dukungan material dan moral sehingga laporan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
- (3) Sahabat dan semua pihak yang telah banyak membantu saya berupa saran dan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis menyadari skripsi ini masih banyak kekurangannya. Oleh karena itu kritik dan saran sangat saya harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini selanjutnya dapat lebih disempurnakan dan bermanfaat bagi kita semua. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 6 Juli 2009

Penulis

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

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Elsa Alfiansyah
NPM : 0706199275
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Pada Fotovoltaik Secara
Realtime Berbasis Mikrokontroler ATmega 16**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Juli 2009

Yang menyatakan

(Elsa Alfiansyah)

ABSTRAK

Nama : Elsa Alfiansyah
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Pada Fotovoltaik Secara Realtime Berbasis Mikrokontroler ATmega 16

Dalam suatu proses pengukuran daya listrik fotovoltaik penting dilakukan pemantauan secara teratur agar semua kegiatan dapat terkontrol dengan baik. Suatu cara yang efektif dan efisien adalah dengan menggunakan sistem *monitoring* yang bersifat *realtime*, dimana semua proses pengukuran tegangan dan arus yang sedang berlangsung dapat dipantau secara seksama pada saat itu juga. Pada tugas akhir ini dibahas suatu sistem monitoring fotovoltaik dengan memanfaatkan mikrokontroler dan komputer. Mikrokontroler berfungsi sebagai kontrol aksi *monitoring fotovoltaik* sekaligus menghubungkannya dengan komputer. Komputer berfungsi sebagai tempat memproses data-data yang dikirim oleh mikrokontroler dan menampilkannya pada monitor dengan menggunakan software fotovoltaik. Perangkat lunak dibuat dalam bahasa basic untuk mikrokontroler, *Borland Delphi 6.0* untuk proses data dan tampilan, *Microsoft Access* untuk manajemen *database*. Perangkat lunak yang dibuat mampu melakukan *monitoring* dari modul fotovoltaik untuk mengumpulkan data: tegangan (*V*) serta arus (*I*) yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik. Dari grafik yang didapat, diketahui bahwa tegangan maksimum yang diperoleh sekitar 202,79 V, dan arus maksimum berharga 0,894 A. Dari hasil pengujian yang dilakukan sistem dapat bekerja dengan baik dan berjalan sesuai dengan yang diharapkan.

Kata kunci : Fotovoltaik, Mikrokontroler, Sistem Monitoring

ABSTRACT

Name : Elsa Alfiansyah
Study Program: Electrical Engineering
Title : Design And Development Realtime Monitoring System Of
Electric Energy In Photovoltaic Based On Microcontroller
ATmega 16

It is important to do monitoring in a measurement of photovoltaic electric energy process, so every activity will be well controlled. One way that effective and efficient is by using the realtime monitoring system, where every activity measurement of voltage and current will be watch accurately in the same time, in the real time. This final project will discuss about using microcontroller and computer in photovoltaic monitoring system. The microcontroller will control the photovoltaic and make connection to the computer while the computer will handle data process and output view with using photovoltaic software. Software will write in basic language for microcontroller, Borland Delphi 6.0 for data process and output view, Microsoft Access for data base management. The software be able to monitoring from photovoltaic modul and collect voltage and current that are produced by photovoltaic modul. From the graphic we can know that that maximum voltage there about 202,79 V, and maximum current have value 0,894 A. From the test result, the system works properly and successfully.

Keywords : Photovoltaic, Microcontroller, Monitoring System

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penulisan	1
1.2.1 Tujuan Umum	2
1.2.2 Tujuan Khusus	2
1.3 Ruang Lingkup dan Pembatasan Masalah	2
1.3.1 Ruang Lingkup	2
1.3.2 Pembatasan Masalah	3
1.4 Metode Perancangan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Fotovoltaik	6
2.1.1 Pengertian Fotovoltaik	6
2.1.2 Modul Fotovoltaik	6
2.1.3 Prinsip Kerja Fotovoltaik	7
2.2 Sensor Arus	8

2.3	Operational Amplifier	11
2.3.1	Karakteristik Ideal Penguat Operasional.....	11
2.3.2	Penguatan Tegangan LInkhar Terbuka	12
2.3.3	Tegangan Ofset Keluaran.....	12
2.3.4	Hambatan Masukan	12
2.3.5	Hambatan Keluaran.....	13
2.3.6	Lebar Pita	13
2.3.7	Waktu Tanggapan	14
2.3.8	Karakteristik Terhadap Suhu.....	14
2.4	Mikrokontroller AVR.....	15
2.4.1	Gambaran Umum Mikrokontroller AVR ATmega 16.....	15
2.4.2	Konfigurasi Pin Mikrokontroller AVR ATmega 16.....	16
2.5	Komunikasi Serial.....	18
2.6	Borland Delphi.....	20
2.6.1	Form dan Unit.....	21
2.6.2	Komponen Delphi.....	23
2.6.3	Tipe Data dan Konversi pada Delphi.....	24
2.6.4	Variabel Operator	26
BAB III PERANCANGAN SISTEM		27
3.1	Konfigurasi Umum Sistem.....	27
3.1.1	Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	28
3.1.1.1	Power Supply	29
3.1.1.2	Perancangan Rangkaian Operasional Amplifier	30
3.1.1.3	Rangkaian Mikrokontroller AVR ATmega 16.....	31
3.1.2	Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	32
3.1.2.1	Pendefinisian Masalah	32
3.1.2.2	Kelengkapan Pendukung Software.....	33
3.1.2.3	Kelengkapan Pendukung Hardware	34
3.1.3	Software Monitoring Fotovoltaik	34
3.1.3.1	Lingkungan Pemrograman Borland Delphi	34

3.1.3.2	Komunikasi Serial Dengan Borland Delphi.....	35
3.1.3.3	Program Monitoring Fotovoltaik.....	35
3.1.4	Komunikasi Serial Monitoring Fotovoltaik	37
3.2	Prinsip Kerja Sistem	39
3.3	Perancangan Program Pada Sistem Monitoring.....	40
3.4	Desain Perangkat Keras	44
BAB IV	PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM	45
4.1	Pengujian Perangkat Keras	45
4.1.1	Pengujian Sensor Arus	45
4.1.2	Pengujian Rangkaian Operasional Amplifier	48
4.2	Pengujian Sistem Keseluruhan.....	51
4.2.1	Pengambilan Data	51
4.2.2	Pengolahan Data dan Analisa Grafik Hasil Pengujian	59
BAB V	KESIMPULAN	63
DAFTAR ACUAN	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LISTING PROGRAM	67
LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Modul Fotovoltaik.....	6
Gambar 2.2 Potongan Melintang Modul Fotovoltaik.....	7
Gambar 2.3 Prinsip kerja fotovoltaik.....	7
Gambar 2.4 Modul DCS-01	8
Gambar 2.5 Pin-pin pada modul DCS-01	9
Gambar 2.6 Penggunaan DCS-01 untuk pengukuran beban yang ditampilkan ke PC.....	9
Gambar 2.7 Grafik keluaran DCS-01 terhadap arus yang disensor	10
Gambar 2.8 Diagram Schematic Simbol Penguat Op-Amp	11
Gambar 2.9 Pin-pin ATmega 16 kemasan 40- pin.	17
Gambar 2.10 Penampang Konektor DB 9 dan DB 25.....	19
Gambar 2.11 Bentuk Gelombang Sinyal RS 232.....	19
Gambar 2.12 Lingkungan Pemrograman Borland Delphi	21
Gambar 2.13 Form pada delphi.....	22
Gambar 2.14 Explorer box dan Code Editor.....	23
Gambar 2.15 Komponen-komponen pada delphi.....	23
Gambar 3.1 Diagram Kotak Sistem.....	28
Gambar 3.2 Power Supply $\pm 12V$ dan $5 V$	29

Gambar 3.3 Rangkaian mikrokontroller ATmega 16.....	31
Gambar 3.4 Diagram Penyelesaian Global	32
Gambar 3.5 Setting Serial Component	35
Gambar 3.6 Tampilan Utama dari Program Monitoring Fotovoltaik	37
Gambar 3.7 IC MAX 232	38
Gambar 3.8 Blok Komunikasi Antara Mikrokontroller dengan PC.....	38
Gambar 3.9 Diagram blok sistem keseluruhan	39
Gambar 3.9 Blok fungsional program pada sistem monitoring fotovoltaik	40
Gambar 3.11 Diagram alir program pada sistem monitoring fotovoltaik.....	41
Gambar 3.12 Diagram alir program pada sistem pengirim.....	42
Gambar 3.13 Diagram alir program pada sistem penerima	43
Gambar 3.14 Diagram perangkat keras alat ukur.....	44
Gambar 4.1 Rangkaian pengujian pada sensor arus	46
Gambar 4.2 Rangkaian pengujian penguatan non-inverting.....	48
Gambar 4.3 Tampilan hasil sistem monitoring fotovoltaik pada display LCD	51
Gambar 4.4 Tampilan hasil pengukuran 1 yang diterima secara serial dalam bentuk plot grafik dan tabulasi data secara <i>realtime</i>	52
Gambar 4.5 Hasil pengiriman data pengukuran	52
Gambar 4.6 Grafik Perubahan Nilai Tegangan Terhadap Waktu pada Pengukuran 1.....	54
Gambar 4.7 Grafik Perubahan Nilai Arus Terhadap Waktu pada Pengukuran 1.....	54

Gambar 4.8 Tampilan hasil pengukuran 2 yang diterima secara serial dalam bentuk plot grafik dan tabulasi data secara <i>realtime</i>	55
Gambar 4.9 Grafik Perubahan Nilai Tegangan Terhadap Waktu pada Pengukuran 2.....	56
Gambar 4.10 Grafik Perubahan Nilai Arus Terhadap Waktu pada Pengukuran 2.....	57
Gambar 4.11 Tampilan hasil pengukuran 3 yang diterima secara serial dalam bentuk plot grafik dan tabulasi data secara <i>realtime</i>	57
Gambar 4.12 Grafik Perubahan Nilai Tegangan Terhadap Waktu pada Pengukuran 3.....	58
Gambar 4.13 Grafik Perubahan Nilai Arus Terhadap Waktu pada Pengukuran 3.....	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tipe data Integer	24
Tabel 2.2 Tipe data Character	25
Tabel 2.3 Tipe data String.....	25
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor Arus	46
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat	49
Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran 1 Energi Listrik Fotovoltaik.....	53
Tabel 4.4 Data Hasil Pengukuran 2 Energi Listrik Fotovoltaik.....	55
Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran 3 Energi Listrik Fotovoltaik.....	58
Tabel 4.6 Tabel Perbandingan Tegangan, Arus, dan Daya Maksimum.....	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Listrik tenaga surya diperoleh dengan melalui sistem photo-voltaic. Photo-voltaic terdiri dari photo dan voltaic. Photo berasal dari kata Yunani phos yang berarti cahaya. Sedangkan voltaic diambil dari nama Alessandro Volta (1745 - 1827), seorang pelopor dalam pengkajian mengenai listrik. Sehingga photo-voltaic dapat berarti listrik-cahaya. Belakangan ini, fotovoltaiik lebih sering disebut solar cell atau sel surya, karena cahaya yang dijadikan energi listrik adalah sinar matahari.

Sel Surya atau *Fotovoltaiik* merupakan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe p dan n terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya yang mampu merubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Hal ini dikarenakan sel surya merupakan elemen aktif (Semikonduktor) yang memanfaatkan efek fotovoltaiik untuk merubah energi tersebut. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Tiap sel surya biasanya menghasilkan tegangan 0,5 volt.

Pada sel surya terdapat sambungan (*junction*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing diketahui sebagai semikonduktor jenis "P" (positif) dan semikonduktor jenis "N" (negatif). Semikonduktor jenis-N dibuat dari kristal silikon dan terdapat juga sejumlah material lain (umumnya posfor) dalam batasan bahwa material tersebut dapat memberikan suatu kelebihan elektron bebas.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan pemanfaatan energi surya, berbagai penelitian dilakukan sehubungan dengan sumber energi alternatif, pengganti bahan bakar fosil yang keberadaannya semakin menipis. Salah satu penelitian yang dilakukan adalah pembuatan sistem data akuisisi guna mengukur renergi listrik surya dan karakteristik modul fotovoltaiik yang dirancang.

Perangkat keras yang digunakan untuk sistem monitoring energi listrik pada *fotovoltaik* adalah satu buah rangkaian pembagi tegangan dinamik, satu buah rangkaian pengukur arus, satu buah penguat tegangan, dan sebuah beban dinamik yang berfungsi sebagai simulasi beban pada kondisi nyata. Besarnya tegangan yang didapat dari modul sel surya kemudian diperkuat menggunakan rangkaian penguat dan dengan menggunakan ATmega 16 sebagai A/D converter, data tersebut ditarnpilkan ke layar monitor melalui komunikasi serial RS 232 untuk kemudian disimpan dan diolah ke dalam bentuk grafik menggunakan perangkat lunak yang telah dibuat.

1.2 TUJUAN PENULISAN

1. Tujuan penulisan dari skripsi ini adalah untuk merencanakan sistem monitoring energi listrik secara *realtime* yang dihasilkan dari modul *fotovoltaik* secara keseluruhan berbasis mikrokontroler.
2. Membuat prototipe untuk sistem monitoring energi listrik dari rangkaian modul fotovoltaik secara keseluruhan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega 16 dan sebuah perangkat lunak yang dibuat guna mengumpulkan data seperti tegangan (V) serta arus (I) yang dihasilkan oleh modul *fotovoltaik* kemudian akan terrekam pada database dengan menggunakan *Microsoft Acces*. Perangkat lunak dibuat menggunakan *Borland Delphi™ 6*, sebagai salah satu bahasa pemrograman yang mendukung GUI (Graphic User Interface) sebagai penyimpan data dari harga-harga yang didapat dari hasil pengukuran.

1.3 RUANG LINGKUP DAN PEMBATASAN MASALAH

1.3.1 Ruang Lingkup :

Ruang Lingkup penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan modul Fotovoltaik Kyocera KC40T TYPE 'G' J-BOX (Terminal Destination: Negatif Post dan Positif Post) yang digunakan untuk mengkonversikan intensitas radiasi matahari menjadi energi listrik.
2. Menggunakan DCS-01 (Delta Current Sensing), sebagai divais untuk mempermudah instalasi sensor arus ke dalam sistem.

3. Menggunakan mikrokontroler ATmega 16 sebagai A/D Converter dimana memiliki 8 chanel ADC input dengan resolusi 10 bit.
4. Merancang dan menguji sistem monitoring pengukuran energi listrik yang dihasilkan dari *fotovoltaik* pada PC secara real-time dengan perangkat lunak menggunakan *Borland DelphiTM 6* sebagai pengolah data.
5. *Software* yang dibuat digunakan untuk menampilkan tegangan dan arus yang dihasilkan dari *fotovoltaik*.

1.3.2 Pembatasan Masalah :

Pembatasan masalah pada penulisan skripsi ini adalah:

1. Perancangan sistem pengukuran energi listrik dari *fotovoltaik* didasarkan pada monitoring yang diperoleh secara *realtime*.
2. Pengambilan data energi listrik dengan sistem monitoring pada sistem ini didasarkan pada data inputan dari *fotovoltaik* yang diperoleh secara *realtime*.
3. Pengujian sistem dalam menghasilkan energi listrik yang optimal didasarkan pada posisi dari modul *Fotovoltaik* terhadap arah matahari.
4. Pada skripsi ini, *Fotovoltaik* yang digunakan sebagai sistem utama adalah *fotovoltaik* Kyocera KC40T TYPE 'G' J-BOX
5. Adapun pada skripsi ini, Energi Listrik yang diperoleh dari *fotovoltaik* menghasilkan daya yang cukup besar.

1.4 METODE PERANCANGAN

Perancangan dimulai dengan mempelajari tentang karakteristik dari *fotovoltaik*, *sensor arus* dan *op-amp* sebagai alat untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus dari sistem monitoring yang dibuat.

Pengendalian sistem dilakukan oleh mikrokontroler, yaitu mikrokontroler ATmega 16 yang berfungsi mengkonversi data analog dari sensor arus dan tegangan ke digital untuk selanjutnya data tersebut diakuisisi kemudian dilakukan pengiriman data ke komputer melalui RS 232. Data yang diterima komputer akan diolah dan ditampilkan dengan menggunakan *Borland DelphiTM 6*.

Kemudian perancangan dilanjutkan dengan menggabungkan sensor arus dan rangkaian amplifier pada satu mikrokontroler. Dengan mikrokontroler ini, maka data yang diperoleh dianalisa, dan dimodifikasi sehingga dapat digunakan untuk memberikan informasi keluaran dari *fotovoltaik* berupa nilai tegangan dan arus yang ditampilkan pada *display* LCD juga ke PC dengan menggunakan *Borland Delphi™ 6*.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan pada skripsi ini disusun dengan kerangka pembahasan sebagai berikut:

- **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup dan pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan skripsi ini.

- **BAB II : TEORI PENUNJANG**

Bab ini berisi tentang teori-teori penunjang dalam proses perancangan dan pembuatan perangkat keras dan lunak dari proyek akhir yang secara garis besar menguraikan tentang sensor arus, operasional *amplifier*, pengubah data dari analog ke digital dan *interfacing* RS-232. Yang mana sistem selanjutnya digunakan untuk merancang sistem monitoring *fotovoltaik* berbasis mikrokontroler ATmega 16 dan *Borland Delphi™ 6* sebagai pengolah data hasil pengukuran.

- **BAB III : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PERANGKAT KERAS DAN LUNAK**

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai perancangan serta realisasi studi yang meliputi pembuatan sensor, operasional *amplifier* komunikasi serial dan program untuk monitoring aksi dari *photovoltaik*

- **BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA**

Bab ini berisi tentang pengujian dan analisa praktis terhadap hasil pengamatan dari keseluruhan sistem yang telah dibuat.

- **BAB V : KESIMPULAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan akhir dari pembahasan sebelumnya dari hasil penelitian terhadap rancangan sistem monitoring yang dihasilkan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Fotovoltaik

2.1.1 Pengertian Fotovoltaik

Fotovoltaik atau Sel Surya adalah energi alternatif yang terbarukan, dimana dapat mengkonversi secara langsung energi matahari menjadi energi listrik. Adapun keuntungan yang dimiliki dari listrik tenaga surya ini diantaranya:

- a. Dalam proses konversi energinya tak menimbulkan pencemaran udara dan lingkungan.
- b. Sumber tenaga yang digunakan sebagai pembangkit energi listrik cukup berlimpah dan tak perlu membeli
- c. Umurnya cukup panjang kurang lebih 15 tahun. ^[1]
- d. Penggunaan cocok untuk daerah terpencil.

Sel surya terbuat dari batu polykristal silium yang dihancurkan menjadi serbuk silium dan kemudian dipadatkan sehingga berbentuk batang. Kemudian dipotong-potong menjadi lempengan setebal $\pm 0,3$ mm.

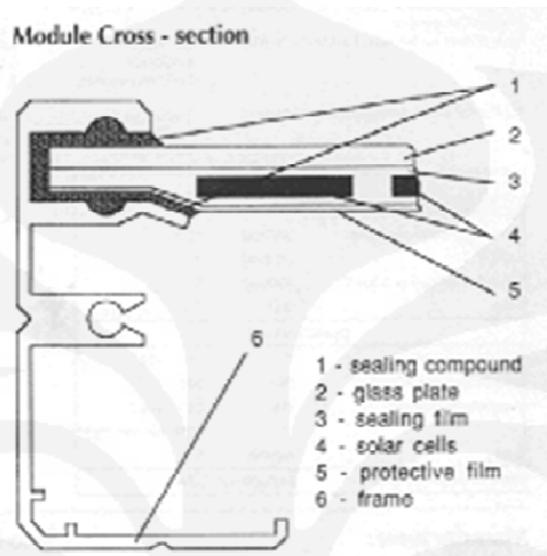
2.1.2 Modul Fotovoltaik



Gambar 2.1 . Modul Fotovoltaik

Modul Fotovoltaik (gambar 1 dan 2) adalah unit rangkaian yang lengkap (dilapisi bahan kedap air dan tahan terhadap perubahan cuaca), tersusun dari sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri dan paralel. Hal ini bertujuan untuk

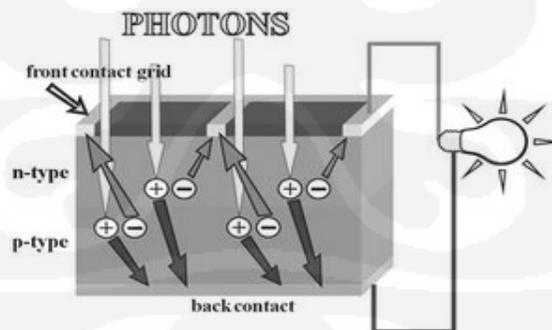
meningkatkan tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban.



Gambar 2.2 . Potongan Melintang Modul Fotovoltaik

2.1.3 Prinsip Kerja Fotovoltaik

Sel Surya adalah suatu komponen elektronika yang dapat mengubah energi surya menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC) yang disusun oleh semikonduktor jenis dioda tipe n dan tipe p yang membentuk junction p-n.



Gambar 2.3 . Prinsip kerja fotovoltaik

Secara garis besar prinsip kerja dari sel surya seperti gambar 3, dapat dijelaskan sebagai berikut. Jika foton (yang terdiri dari jutaan partikel berenergi tinggi yang diakibatkan dari radiasi matahari) menumbuk atom silikon dari sel

surya dan menghasilkan energi yang cukup untuk mendorong elektron terluar keluar dari orbitnya dan membentuk hole, maka akan timbul elektron – elektron bebas yang siap mengalir di ujung – ujung terminal sel surya. Jika beban seperti lampu dipasang diantara terminal negatif dan positif dari sel surya, maka elektron – elektron akan mengalir sebagai arus listrik searah yang dapat menghidupkan lampu tersebut. Semakin besar energi matahari yang mengenai sel surya, maka semakin besar pula arus yang dihasilkan oleh sel surya tersebut.

Untuk menghasilkan keluaran energi yang maksimum, maka permukaan modul fotovoltaik harus selalu mengarah ke matahari. Karena matahari mempunyai lintasan dengan sudut tertentu, maka diperlukan suatu alat yang dapat mengikuti gerak matahari yang disebut *tracker*. Tetapi, untuk mendapatkan keluaran yang maksimum dari modul fotovoltaik di Indonesia cukup dilakukan dengan memiringkan modul tersebut ke suatu arah dengan sudut kemiringan sebesar lintang lokasi penempatan dari modul tersebut.

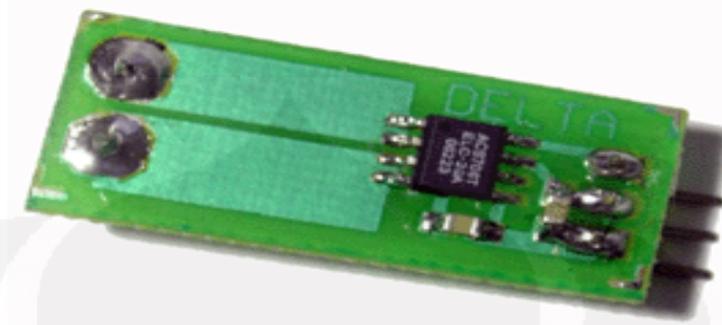
Selain pengaruh arah dari modul fotovoltaik, temperatur juga mempengaruhi energi listrik yang dihasilkannya. Semakin tinggi temperatur modul fotovoltaik jenis silikon kristal, maka akan semakin berkurang tegangan yang dihasilkannya yaitu sebesar 0,04 V sampai 0,10 V per °C.

2.2 Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah delta current sensing (DCS-01) dengan spesifikasi sebagai berikut:

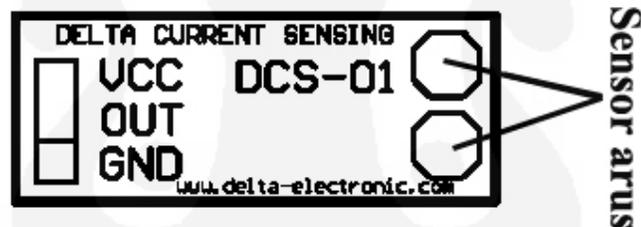
- 4,5 - 5,5V single supply operation
- 100mV/A output sensitivity and 20A dynamic range
- Output voltage proportional to ac and dc currents
- PCB Fiber & industrial standard

DCS-01 merupakan modul rangkaian pengkondisi yang menggunakan teknik hall effect untuk mendeteksi adanya aliran arus hingga 20A melalui modul tersebut. Keluaran dari modul ini dapat dihubungkan pada ADC sehingga sistem mikrokontroler dapat menghitung nilai besaran arus yang lewat.



Gambar 2.4 Modul DCS-01

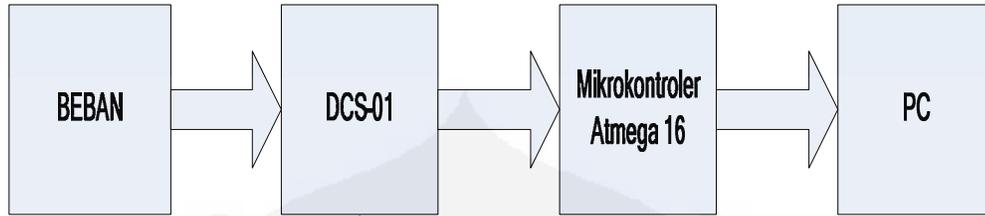
Dalam pengukuran arus biasanya membutuhkan sebuah *resistor shunt* dimana teknologi hall effect yang diterapkan oleh Allegro menggantikan fungsi resistor shunt dan current transformer menjadi sebuah sensor dengan ukuran yang relatif jauh lebih kecil. Aliran arus listrik yang mengakibatkan medan magnet dan menginduksi bagian dynamic offset cancellation dari ACS706ELC-20A. Bagian ini akan dikuatkan oleh bagian amplifier dan melalui proses filter sebelum dikeluarkan melalui kaki 6 dan 7.



Gambar 2.5 Pin-pin pada modul DCS-01

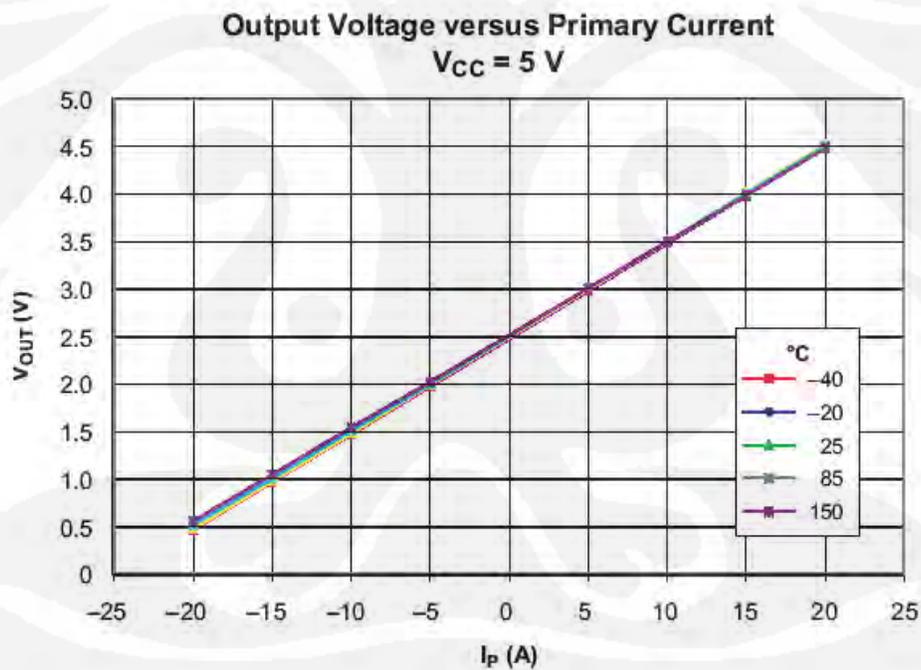
Modul DCS-01 dapat berjalan menggunakan power supply tunggal 4.5 sampai 5 volt dan dapat mengukur arus sampai dengan 20 Ampere. Untuk aplikasi pengukuran beban yang akan ditampilkan ke PC, digunakan Port RS232/USB sehingga dapat terhubung langsung ke PC, namun untuk menghubungkan modul ini dengan sistem mikrokontroler dapat digunakan Port RS232 yang merupakan level TTL

Untuk aplikasi pengukuran beban pada sistem mikrokontroler keluarga AVR, tidak dibutuhkan lagi ADC karena sistem mikrokontroler ini telah memiliki internal ADC.



Gambar 2.6 Penggunaan DCS-01 untuk pengukuran beban yang ditampilkan ke PC

Untuk aplikasi penggunaan beban yang akan ditampilkan ke PC, digunakan modul USB / RS-232 sehingga dapat terhubung langsung ke PC. DCS-01 akan mengeluarkan tegangan 0,5 volt pada saat arus yang mengalir adalah sebesar – 20 Ampere, tegangan 4,5 volt ($V_{CC} = 5$ volt) jika arus yang mengalir adalah sebesar 20 Ampere dan mengeluarkan tegangan 2,5 volt ($V_{CC} / 2$) jika tidak ada arus yang mengalir.

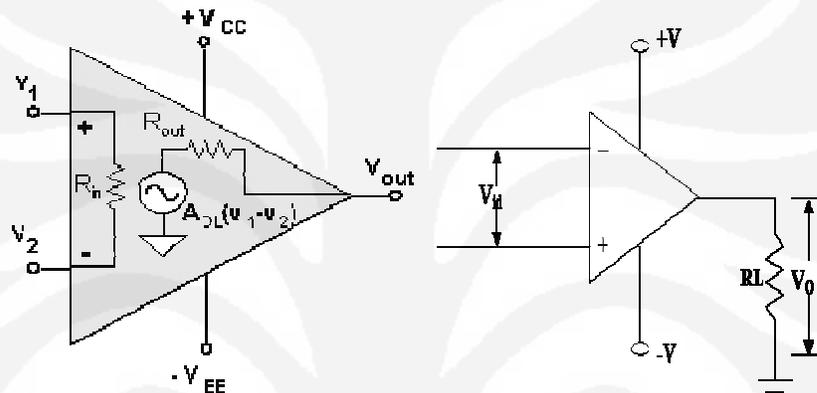


Gambar 2.7 Grafik keluaran DCS-01 terhadap arus yang disensor

Modul DCS-01 dapat digunakan untuk mengukur arus searah maupun arus bolak-balik.

2.3 Operational Amplifier

Penguat operasional (Op Amp) adalah suatu rangkaian terintegrasi yang berisi beberapa tingkat dan konfigurasi penguat diferensial. Penguat operasional memiliki dua masukan dan satu keluaran serta memiliki penguatan DC yang tinggi. Untuk dapat bekerja dengan baik, penguat operasional memerlukan tegangan catu yang simetris yaitu tegangan yang berharga positif (+V) dan tegangan yang berharga negatif (-V) terhadap tanah (*ground*). Berikut ini adalah simbol dari penguat operasional :



Gambar 2.8 Diagram Schematic Symbol Penguat Operasional (Op-Amp)

Simbol op-amp adalah seperti pada gambar 2.8 dengan 2 input, *non-inverting* (+) dan input *inverting* (-). Umumnya op-amp bekerja dengan *dual supply* (+V_{cc} dan -V_{ee}) namun banyak juga op-amp dibuat dengan *single supply* (V_{cc} - *ground*). Simbol rangkaian di dalam op-amp pada gambar di atas adalah parameter umum dari sebuah op-amp. R_{in} adalah resistansi input yang nilai idealnya infinit (tak terhingga). R_{out} adalah resistansi output dan besar resistansi idealnya 0 (nol). Sedangkan A_{OL} adalah nilai penguatan open loop dan nilai idealnya tak terhingga.

2.3.1 Karakteristik Ideal Penguat Operasional

Penguat operasional banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena beberapa keunggulan yang dimilikinya, seperti penguatan yang tinggi, impedansi masukan yang tinggi, impedansi keluaran yang rendah dan lain sebagainya. Berikut ini adalah karakteristik dari Op Amp ideal:

- Penguatan tegangan lingkaran terbuka (*open-loop voltage gain*) $A_{VOL} = \infty$

- Tegangan ofset keluaran (*output offset voltage*) $V_{OO} = 0$
- Hambatan masukan (*input resistance*) $R_I = \infty$
- Hambatan keluaran (*output resistance*) $R_O = 0$
- Lebar pita (*band width*) $BW = \infty$
- Waktu tanggapan (*respon time*) = 0 detik
- Karakteristik tidak berubah dengan suhu

Kondisi ideal tersebut hanya merupakan kondisi teoritis tidak mungkin dapat dicapai dalam kondisi praktis. Karena itu sebuah Op Amp yang baik harus memiliki karakteristik yang mendekati kondisi ideal.

2.3.2 Penguatan Tegangan Lingkar Terbuka

Penguatan tegangan lingkar terbuka (*open loop voltage gain*) adalah penguatan diferensial Op Amp pada kondisi dimana tidak terdapat umpan balik (*feedback*) yang diterapkan padanya seperti yang terlihat pada gambar 2.8. Secara ideal, penguatan tegangan lingkar terbuka adalah:

$$A_{VOL} = V_O / V_{id} = -\infty$$

$$A_{VOL} = V_O / (V_1 - V_2) = -\infty$$

Tanda negatif menandakan bahwa tegangan keluaran V_O berbeda fasa dengan tegangan masukan V_{id} . Konsep tentang penguatan tegangan tak berhingga tersebut sukar untuk divisualisasikan dan tidak mungkin untuk diwujudkan. Suatu hal yang perlu untuk dimengerti adalah bahwa tegangan keluaran V_O jauh lebih besar daripada tegangan masukan V_{id} . Dalam kondisi praktis, harga A_{VOL} adalah antara 5000 (sekitar 74 dB) hingga 100000 (sekitar 100 dB).

Tetapi dalam penerapannya tegangan keluaran V_O tidak lebih dari tegangan catu yang diberikan pada Op Amp. Karena itu Op Amp baik digunakan untuk menguatkan sinyal yang amplitudonya sangat kecil.

2.3.3 Tegangan Ofset Keluaran

Tegangan ofset keluaran (*output offset voltage*) V_{OO} adalah harga tegangan keluaran dari Op Amp terhadap tanah (*ground*) pada kondisi tegangan masukan $V_{id} = 0$. Secara ideal, harga $V_{OO} = 0$ V. Op Amp yang dapat memenuhi harga tersebut disebut sebagai Op Amp dengan CMR (*common mode rejection*) ideal.

Tetapi dalam kondisi praktis, akibat adanya ketidakseimbangan dan ketidakidentikan dalam penguat diferensial dalam Op Amp tersebut, maka tegangan ofset V_{OO} biasanya berharga sedikit di atas 0 V.

2.3.4 Hambatan Masukan

Hambatan masukan (input resistance) R_i dari Op Amp adalah besar hambatan di antara kedua masukan Op Amp. Secara ideal hambatan masukan Op Amp adalah tak berhingga. Tetapi dalam kondisi praktis, harga hambatan masukan Op Amp adalah antara $5 \text{ k}\Omega$ hingga $20 \text{ M}\Omega$, tergantung pada tipe Op Amp. Harga ini biasanya diukur pada kondisi Op Amp tanpa umpan balik. Apabila suatu umpan balik negatif (*negative feedback*) diterapkan pada Op Amp, maka hambatan masukan Op Amp akan meningkat. Dalam suatu penguat, hambatan masukan yang besar adalah suatu hal yang diharapkan. Semakin besar hambatan masukan suatu penguat, semakin baik penguat tersebut dalam menguatkan sinyal yang amplitudonya sangat kecil. Dengan hambatan masukan yang besar, maka sumber sinyal masukan tidak terbebani terlalu besar.

2.3.5 Hambatan Keluaran

Hambatan Keluaran (*output resistance*) R_O dari Op Amp adalah besarnya hambatan dalam yang timbul pada saat Op Amp bekerja sebagai pembangkit sinyal. Secara ideal harga hambatan keluaran R_O Op Amp adalah $= 0$. Apabila hal ini tercapai, maka seluruh tegangan keluaran Op Amp akan timbul pada beban keluaran (RL), sehingga dalam suatu penguat, hambatan keluaran yang kecil sangat diharapkan.

Dalam kondisi praktis harga hambatan keluaran Op Amp adalah antara beberapa ohm hingga ratusan ohm pada kondisi tanpa umpan balik. Dengan diterapkannya umpan balik, maka harga hambatan keluaran akan menurun hingga mendekati kondisi ideal.

2.3.6 Lebar Pita

Lebar pita (*band width*) BW dari Op Amp adalah lebar frekuensi tertentu dimana tegangan keluaran tidak jatuh lebih dari 0,707 dari harga tegangan

maksimum pada saat amplitudo tegangan masukan konstan. Secara ideal, Op Amp memiliki lebar pita yang tak terhingga. Tetapi dalam penerapannya, hal ini jauh dari kenyataan.

Sebagian besar Op Amp serba guna memiliki lebar pita hingga 1 MHz dan biasanya diterapkan pada sinyal dengan frekuensi beberapa kiloHertz. Tetapi ada juga Op Amp yang khusus dirancang untuk bekerja pada frekuensi beberapa MegaHertz. Op Amp jenis ini juga harus didukung komponen eksternal yang dapat mengkompensasi frekuensi tinggi agar dapat bekerja dengan baik.

2.3.7 Waktu Tanggapan

Waktu tanggapan (*respon time*) dari Op Amp adalah waktu yang diperlukan oleh keluaran untuk berubah setelah masukan berubah. Secara ideal harga waktu respon Op Amp adalah = 0 detik, yaitu keluaran harus berubah langsung pada saat masukan berubah. Tetapi dalam prakteknya, waktu tanggapan dari Op Amp memang cepat tetapi tidak langsung berubah sesuai masukan. Waktu tanggapan Op Amp umumnya adalah beberapa mikro detik hal ini disebut juga *slew rate*. Perubahan keluaran yang hanya beberapa mikrodetik setelah perubahan masukan tersebut umumnya disertai dengan *overshoot* yaitu lonjakan yang melebihi kondisi *steady state*. Tetapi pada penerapan biasa, hal ini dapat diabaikan.

2.3.8 Karakteristik Terhadap Suhu

Bahan semikonduktor yang akan berubah karakteristiknya apabila terjadi perubahan suhu yang cukup besar. Pada Op Amp yang ideal, karakteristiknya tidak berubah terhadap perubahan suhu. Tetapi dalam prakteknya, karakteristik sebuah Op Amp pada umumnya sedikit berubah, walaupun pada penerapan biasa, perubahan tersebut dapat diabaikan.

2.4 Mikrokontroler AVR

Mikrokontroler merupakan sebuah “*one chip solution*” yang mana pada dasarnya suatu rangkaian terintegrasi (*Integrated Circuit-IC*) yang telah mengandung secara lengkap berbagai komponen pembentuk sebuah komputer. Berdasarkan fungsinya, mikrokontroler secara umum digunakan untuk menjalankan program yang bersifat permanen pada sebuah aplikasi yang spesifik (misal aplikasi yang berkaitan dengan pengontrolan dan monitoring). Sedangkan program aplikasi yang dijalankan pada sistem microprosesor biasanya bersifat sementara dan berorientasi pada pengolahan data.

Berdasarkan arsitekturnya, AVR merupakan mikrokontroler RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) dengan lebar bus data 8 bit. Untuk penyimpanan data, microcontroller AVR menyediakan dua jenis memori yang berbeda: EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) dan SRAM (*Static Random Access memory*). Kapasitas simpan data kedua memori ini bervariasi tergantung pada jenis AVR-nya. Microcontroller keluarga AVR ini muncul di pasaran dengan tiga seri utama: tinyAVR, ClasicAVR (AVR), megaAVR.

AVR merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register general-purpose, timer/counter fleksibel dengan mode *compare*, *interrupt internal* dan *eksternal*, serial UART, *programmable Watchdog Timer*, dan *mode power saving*, ADC dan PWM internal. AVR juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI ATmega 16. ATmega 16 mempunyai *throughput* mendekati 1 MIPS per MHz membuat disainer sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya versus kecepatan proses. ATmega 16 ini merupakan salah satu tipe mikrokontroler dari seri megaAVR.^[2]

2.4.1 Gambaran Umum Mikrokontroler AVR ATmega 16

AVR merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) yang ditingkatkan. AVR juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang memungkinkan memori

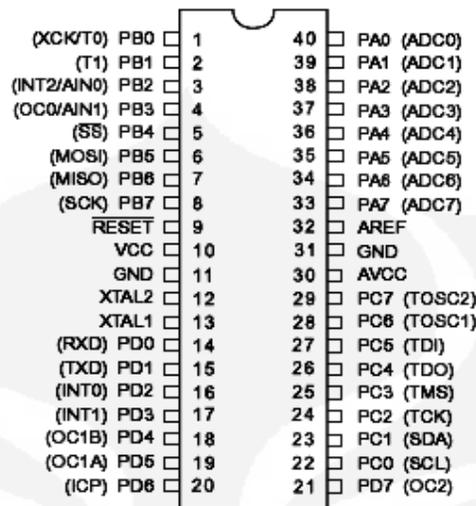
program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI. ATmega 16 adalah mikrokontroler CMOS 8-bit daya-rendah berbasis arsitektur RISC yang ditingkatkan.

Mikrokontroler ATmega 16 adalah anggota dari keluarga AVR yang memiliki fasilitas antara lain:

- CPU dengan kapasitas 8-bit
- *On-chip 2-cycle Multiplier*
- *Memiliki 8-channel, 10-bit ADC*
- Satu buah Timer/ Counter 16 bit
- Mempunyai 4 buah port masing-masing 8 bit
- Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu port A, port B, port C, dan port D
- CPU yang memiliki 32 buah register
- SRAM sebesar 512 byte
- Flash memory sebesar 16 kb
- EEPROM sebesar 512 byte
- Tiga buah *timer/counter* dengan kemampuan pembandingan
- *Two wire serial Interface*
- Port antarmuka SPI
- Unit interupsi internal dan eksternal
- Port USART untuk komunikasi serial.

2.4.2 Konfigurasi Pin Mikrokontroler AVR ATmega 16

Konfigurasi dari pin-pin pada ATmega 16 dengan kemasan 40-pin DIP (dual inline package) ditunjukkan oleh gambar 2.9 Kemasan pin tersebut terdiri dari 4 Port yaitu Port A, Port B, Port C, Port D yang masing masing Port terdiri dari 8 buah pin. Selain itu juga terdapat RESET, VCC, GND 2 buah, VCC, AVCC, XTAL1, XTAL2 dan AREF.



Gambar 2.9 Pin-pin Atmega 16 kemasan 40-pin

Guna memaksimalkan performa, AVR menggunakan arsitektur *Harvard* (dengan memori dan bus terpisah untuk program dan data).

Diskripsi dari pin-pin ATmega 16L adalah sebagai berikut:

1. **VCC** : Supply tegangan digital.
2. **GND** : Ground
3. **Port A** : Port A sebagai input analog ke A/D konverter. Port A juga sebagai 8-bit bi-directional port I/O, jika A/D konverter tidak digunakan. Pin-pin port dapat menyediakan resistor-resistor internal pull-up. Ketika port A digunakan sebagai input dan pull eksternal yang rendah akan menjadi sumber arus jika resistor-resistor pull-up diaktifkan. Pin-pin port A adalah tri-state ketika kondisi reset menjadi aktif sekalipun clock tidak aktif.
4. **Port B** : Port B adalah port I/O 8-bit bi-directional dengan resistor-resistor internal pull-up. Buffer output port B mempunyai karakteristik drive yang simetris dengan kemampuan keduanya sink dan source yang tinggi. Sebagai input, port B yang mempunyai pull eksternal yang rendah akan menjadi sumber arus jika resistor-resistor pull-up diaktifkan. Pin-pin port B adalah tri-state ketika kondisi reset menjadi aktif sekalipun clock tidak aktif.
5. **Port C** : Port C adalah port I/O 8-bit bi-directional dengan resistor-resistor internal pull-up. Buffer output port C mempunyai karakteristik drive yang simetris dengan kemampuan keduanya sink dan source yang tinggi. Sebagai input, port C yang mempunyai pull eksternal yang rendah akan menjadi sumber arus jika

resistor-resistor pull-up diaktifkan. Pin-pin port C adalah tri-state ketika kondisi reset menjadi aktif seklipun clock tidak aktif. Jika antarmuka JTAG enable, resistor-resistor pull-up pada pin-pin PC5(TDI), PC3(TMS), PC2(TCK) akan diktifkan sekalipun terjadi reset.

6. Port D : Port D adalah port I/O 8-bit bi-directional dengan resistor-resistor internal pull-up. Buffer output port D mempunyai karakteristik drive yang simetris dengan kemampuan keduanya sink dan source yang tinggi. Sebagai input, port D yang mempunyai pull eksternal yang rendah akan menjadi sumber arus jika resistor-resistor pull-up diaktifkan. Pin-pin port D adalah tri-state ketika kondisi reset menjadi aktif seklipun clock tidak aktif.

7. Reset : Sebuah low level pulsa yang lebih lama daripada lebar pulsa minimum pada pin ini akan menghasilkan reset meskipun clock tidak berjalan.

8. XTAL1 : Input inverting penguat Oscilator dan input intenal clock operasi rangkaian.

9. XTAL2 : Output dari inverting penguat Oscilator.

10. AVCC : Pin supply tegangan untuk Port A dan A/D converter . Sebaiknya eksternalnya dihubungkan ke VCC meskipun ADC tidak digunakan. Jika ADCdigunakan seharusnya dihubungkan ke VCC melalui low pas filter.

11. AREF: Pin referensi analog untuk A/D konverter.

2.5 Komunikasi Serial

Komunikasi serial adalah salah satu metoda penyampaian informasi dalam komunikasi data dimana data yang disampaikan tersebut dikirimkan / diterima secara serial (data dikirimkan secara berurutan). Dikarenakan komunikasi serial ini lebih sederhana dibandingkan dengan komunikasi parallel terutama pada hardwarenya, oleh karena tersebut komunikasi serial ini sangat banyak digunakan dalam industri ataupun perkantoran.

Komunikasi data elektronik antara dua elemen umumnya dibagi menjadi dua kategori yaitu single-ended dan differential. Dan peralatan yang menggunakan komunikasi serial dibagi menjadi dua kategori yaitu DCE (data communication equipment) dan DTE (data terminal equipment).

RS 232 (single-ended) yang diperkenalkan pada tahun 1962 dan telah banyak digunakan di industri. RS sendiri merupakan kepanjangan dari recommended

standar yang dikeluarkan oleh Electronic Industry Association and the Telecommunications Industry Association (EIA/TIA).

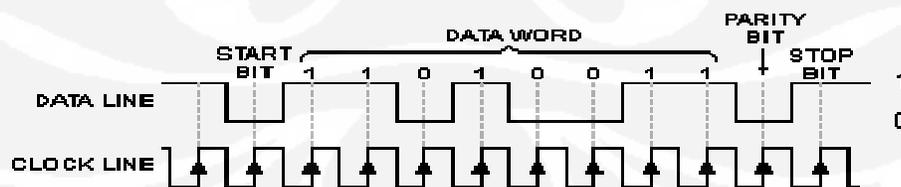
Jalur tersendiri untuk pengiriman dan penerimaan data sehingga memungkinkan untuk komunikasi dua arah. Sinyal RS 232 ditentukan oleh level tegangan yang diukur terhadap common (power / signal ground) sehingga disebut single ended. Kondisi logika dari RS 232 ini adalah keadaan Off (mark) mempunyai level negative terhadap ground dan keadaan on (space) mempunyai level positif terhadap ground.

Untuk interface dari RS 232 ini biasanya dihubungkan dengan kabel 9 pin atau 25 pin konektor tipe D, misalnya DB 9 seperti pada gambar 1 atau DB 25 seperti pada gambar 2. Untuk peralatan DCE biasanya menggunakan konektor female, dan untuk DTE menggunakan konektor male. Pada umumnya desainer menggunakan 9 pin konektor karena pada 25 pin konektor tidak seluruh pin digunakan sehingga dengan menggunakan 9 pin akan lebih efisien.



Gambar 2.10 Penampang Konektor DB 9 Dan DB 25

Bentuk sinyal yang dikirimkan oleh RS 232 adalah seperti pada gambar 3 di bawah ini, dimana sinyal dikirimkan dalam satu paket / frame yang diawali dengan start bit yang berlogika 0 dan diakhiri dengan stop bit yang berlogika 1.



Gambar 2.11 Bentuk Gelombang Sinyal RS232

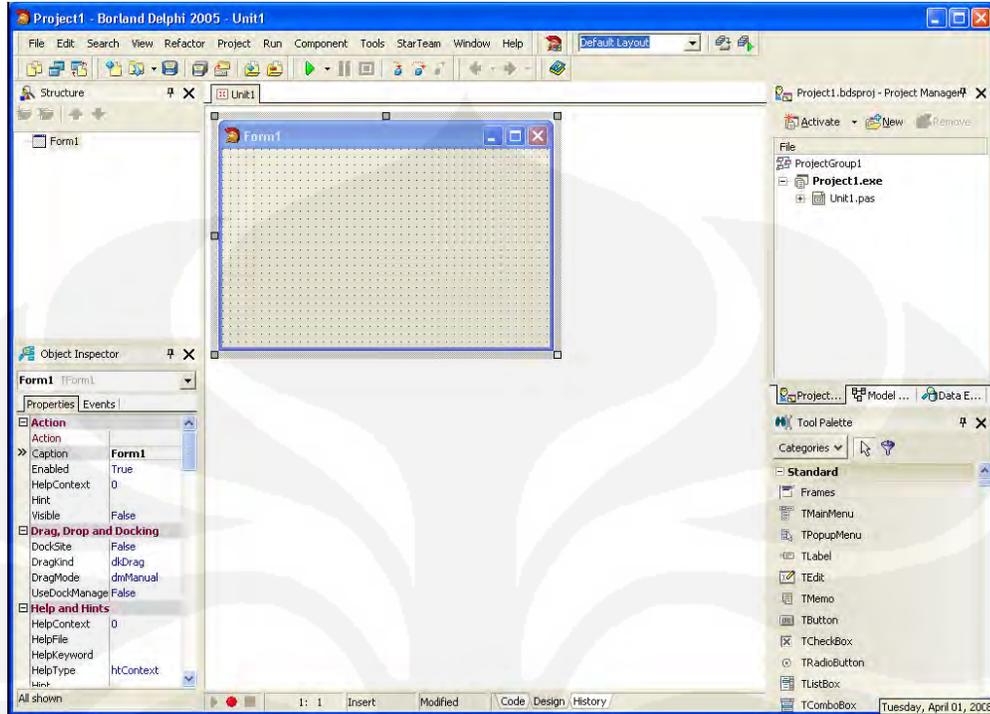
Untuk mengirimkan data dari rangkaian digital ke PC, maka agar data yang diterima / terbaca oleh PC sesuai dengan data yang dikeluarkan oleh rangkaian digital tersebut maka data tersebut harus diinvers terlebih dahulu.

2.6 Borland Delphi

Program komputer dapat memecahkan hampir semua masalah yang memerlukan ketelitian yang sangat tinggi serta banyak data yang harus diolah dengan waktu singkat. Dulu, membuat sebuah program sangat sulit dan melelahkan. Karena sekarang ini pembuatan program dituntut harus cepat, tepat dan siap pakai, maka muncullah bahasa pemrograman yang berbentuk visual, antara lain : Visual C ++, Visual Foxpro, Visual Basic, dan lain – lain.

Delphi adalah salah satu dari pemrograman secara visual, bahasa yang digunakan lebih mengarah ke bahasa pascal. Delphi adalah pengembangan dari turbo pascal yang populer saat DOS masih populer. Seperti bahasa lainnya, Delphi mengalami perkembangan yang sangat pesat. Delphi versi 6, memiliki support yang tinggi terhadap database yang sudah terkenal seperti MS Access, dan dilengkapi dengan objek – objek yang memudahkan pembuatan program, baik program database maupun program lainnya (game, utility, dan lain – lain). Karena Delphi berbentuk visual, maka pembuatannya pun sangat mudah, cepat serta menyenangkan. Cukup menaruh obyek – obyek yang dikehendaki. Penulisan bahasa program atau source code-nya pun tidak terlalu banyak.

Delphi merupakan bahasa pemrograman yang mudah, karena Delphi adalah bahasa perograman tingkat tinggi (high level) sehingga sangat memudahkan user untuk bermain-main di tingkat ini, apa lagi bagi mereka yang malas berurusan dengan level-level yang rendah. Pemrograman Delphi sangatlah mudah, kita tinggal click and drag, dan jadilah program aplikasi yang kita inginkan.



Gambar 2.12 Lingkungan Pemrograman Borland Delphi

2.6.1 Form dan Unit

Berbeda dengan pascal, pada Delphi kita akan mengenal OOP (Object oriented programming), jadi bila pada pascal kita akan melihat tampilan yang menjemukan, pada Delphi kita bisa mengatur tampilan kita semenarik mungkin pada form yang kita gunakan. Caranya cukup mudah, kita hanya menaruh komponen-komponen yang kita inginkan pada form tersebut, dan memfungsikan masing-masing komponen sesuai dengan yang kita inginkan.

Form adalah tempat untuk memasang objek – objek. Code Editor adalah tempat untuk menuliskan source code / bahasa program. Tombol F12 adalah tombol untuk mengaktifkan code editor apabila form dalam keadaan aktif.

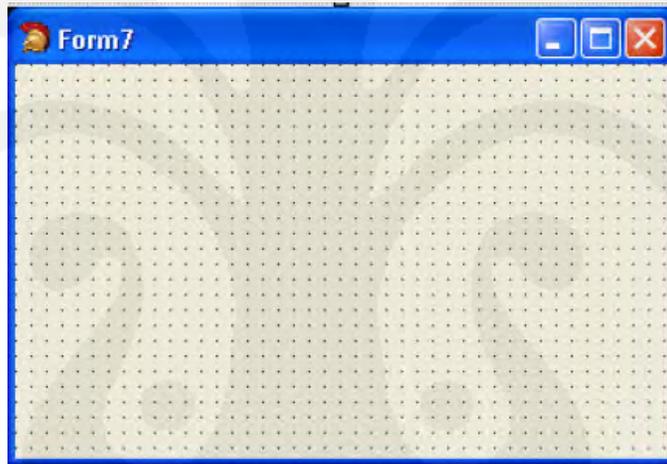
Explorer Box yaitu kotak yang menggambarkan macam – macam class yang dimuat dalam unit, procedure atau function yang telah dibuat, nama variable atau kaonstan yang ada di dalam unit, serta unit – unit yang digunakan di dalam unit tersebut.

Berikut ini adalah bentuk unit yang diberikan Delphi saat pertama kita membuka sebuah form.

```

unit Unit1;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs;
type
 TForm1 = class(TForm)
 private
 { Private declarations }
 public
 { Public declarations }
 end;
 var
 Form1: TForm1;
 implementation
 {$R *.DFM}
 end.

```



Gambar 2.13 Form pada delphi

Pada Code Editor diletakkan semua basis pemrograman, form, dan unit sehingga menjadi satu kesatuan yang terorganisir. Pada pemrograman Delphi, dituntut untuk memahami serta mengetahui cara menulis sebuah procedure atau function

Perbedaan *procedure* dengan *function* adalah function dapat menghasilkan suatu hasil dengan tipe tertentu, sedangkan procedure tidak dapat menghasilkan hasil. Procedure atau function dapat diberi beberapa parameter. Parameter procedure atau function dapat dikategorikan didalam dua jenis, yaitu parameter masuk (parameter yang berfungsi untuk memasukkan / menerima nilai), dan

parameter keluar (parameter yang berfungsi untuk memasukkan / menerima dan juga menghasilkan / mengeluarkan suatu nilai).



Gambar 2.14 Explorer box dan Code Editor

2.6.2 Komponen Delphi

Dalam membuat program, Delphi telah menyediakan banyak kemudahan, yaitu dengan disediakan komponen-komponen. Komponen ini merupakan sebuah procedure/program yang sudah di kompilasi dan langsung dapat digunakan, sesuai dengan fungsinya masing-masing. Untuk menggunakan komponen ini kita dapat meng-klik komponen yang diinginkan, kemudian kita klik di form, maka komponen tersebut akan muncul di form.



Gambar 2.15 Komponen-komponen pada delphi

Berikut beberapa komponen yang terdapat pada delphi :

- a. Button/ Bitbtn
- b. Panel
- c. Label
- d. Edit
- e. Chart
- f. Stringgrid
- g. PopupMenu
- h. MainMenu
- i. ComboBox
- j. CheckBox
- k. RadioButton
- m.Timer
- n.dll

2.6.3 Tipe Data dan Konversi pada Delphi

Dalam lingkungan pemrograman *Delphi* penentuan tipe data sangat diperlukan untuk memberi pengenal pada isi data yang akan diakses, oleh variabel.

- **Tipe Data Integer**

Tipe data ini digunakan untuk menyatakan bilangan yang tidak mempunyai angka desimal. Tipe **Integer** terdiri dari beberapa tipe lagi, yang sebagian berbeda rentang nilai dan ukuran memorinya

Tabel 2.1 Tipe data Integer

Tipe	Rentang Nilai	Byte
Byte	0-225	1
Word	0-65535	2
ShortInt	-128 - 127	1
SmallInt	-32768 - 32767	2
Integer	-2147483648 - 2147483647	4
Cardinal	0 – 2147483647	4
LongInt	-2147483648 - 2147483647	4

- **Tipe Real**

Tipe real digunakan untuk menyatakan bilangan yang mempunyai angka desimal. Tipe data real ini terdiri dari beberapa tipe lagi, yang sebagian rentang nilai dan ukuran penggunaan memorinya

- **Tipe Boolean**

Tipe data **boolean** untuk menyatakan data logika, yaitu **True** (benar) dan **False**(salah).

- **Tipe Character**

Tipe data chracter digunakan untuk menyatakan karakter satu huruf.

Tabel 2.2 Tipe data Character

Tipe	Byte	Isi
Char	1	1 karakter ANSI
AnsiChar	1	1 karakter ANSI
WideChar	2	1 karakter Unicode

- **Tipe String**

Tipe data **string** digunakan untuk menyatakan sederetan karakter yang membentuk satu kesatuan, misalnya nama, alamat dan sebagainya.

Tabel 2.3 Tipe data String

Tipe	Byte	Isi
ShortString	2 s.d. 256	256 karakter
AnsiString	4 s.d. 2GB	2 ³¹ karakter
WideString	4 s.d. 2GB	2 ³⁰ karakter

Tipe **ShortString** disediakan hanya untuk menjaga kompatibilitas dengan versi sebelumnya. **AnsiString** untuk menyimpan karakter ANSI dan **WideString** dapat menyimpan karakter **Unicode**.

- **Tipe Array**

Array atau larik adalah variabel tunggal yang dapat dipakai untuk menyimpan sekumpulan data sejenis.

- **Tipe Record**

Tipe **record** digunakan untuk menyimpan sekumpulan data yang mungkin tipenya

berbeda, tetapi saling berhubungan.

- **Tipe Terenumerasi dan Subrange**

Tipe data terenumerasi dan tipe data subrange dipakai untuk menyatakan data berurutan yang bertipe sama.

- **Konstanta**

Konstanta adalah nilai yang bersifat tetap, misal angka 1, huruf A, nama dan lainlain.

Keuntungan penggunaan konstanta :

- Program mudah terbaca
- Menghindarkan kesalahan menetik ulang.
- Nilainya bisa digunakan berulang-ulang

Dalam pengolahan data biasanya kita memerlukan suatu konversi type data, banyak sekali konversi data yang bisa dilakukan pada Delphi. Contoh konversi type data:

- ❖ Strtoint : Mengubah tipe data string ke integer.
- ❖ Inttostr : Mengubah tipe data integer ke string.
- ❖ Timetostr : Mengubah tipe data time ke dalam bentuk string.
- ❖ Strtfloat : Mengubah tipe data string ke dalam bentuk real.
- ❖ Floattostr : Mengubah tipe data real ke dalam bentuk string.

2.6.4 Variabel dan Operator

Variabel adalah suatu pengenal yang menampung data, yang terdapat pada memori. Setiap variabel pasti mempunyai nama, yang sering disebut sebagai *identifer*. Dalam penggunaan variabel sebaiknya menggunakan nama yang sesuai dengan data yang akan disimpan supaya mudah untuk diingat

Operator dalam bahasa Pascal bersifat *binary*, yaitu operator yang melibatkan dua buah operand. Operator seperti * termasuk operator *binary*. Contoh : $2 * 3$ melibatkan dua operand. Tetapi pada operasi **-A**, **+B** ini adalah operator *unary*.

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

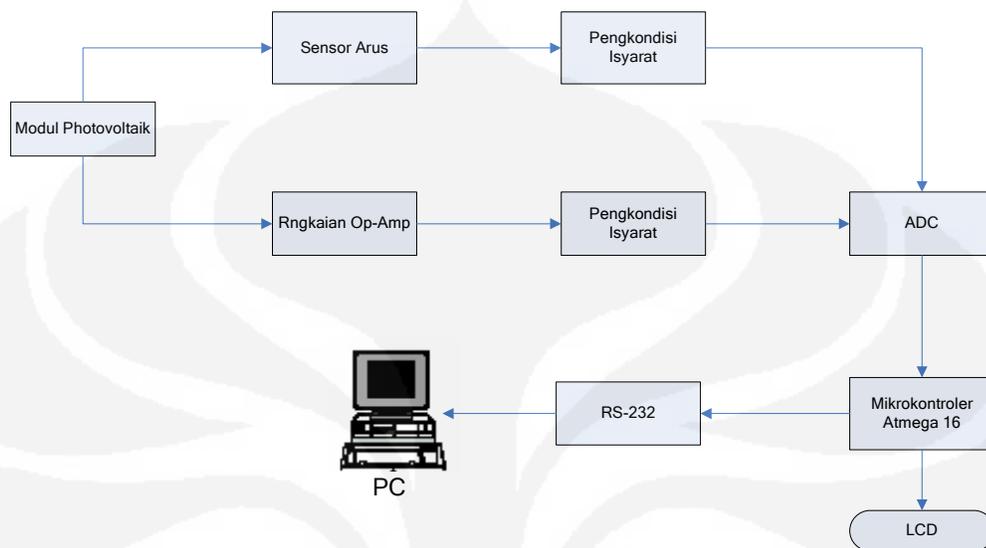
3.1 KONFIGURASI UMUM SISTEM

Perancangan sistem ini memerlukan sebuah sensor yang dapat mendeteksi arus yang dihasilkan dari *fotovoltaik*. Sensor ini menggunakan teknologi *hall effect* yang menggantikan fungsi *resistor shunt* dan *current transformer* menjadi sebuah sensor dengan ukuran yang relatif jauh lebih kecil. Sensor ini mengubah aliran arus menjadi tegangan dengan suatu bentuk sinyal tertentu. Sinyal analog ini kemudian diubah melalui ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk dapat dibaca oleh sistem yang diinginkan. Sedangkan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan oleh *fotovoltaik* harus dilemahkan dulu dengan rangkaian Op-Amp agar dapat dibaca atau diproses oleh ADC. Agar saat diam tegangan yang terbaca kecil maka untuk aplikasi ini ditambahkan rangkaian differensial sebelum masuk ke ADC. Penggunaan ADC sebagai konversi sinyal analog yang dihasilkan dari *driver* (penguat) sensor tersebut. Data yang dihasilkan berupa kode biner yang dilakukan berdasarkan perintah dari mikrokontroller yang dilakukan secara *realtime*.

Alat ukur yang dirancang adalah tegangan dan arus yang dihasilkan oleh *fotovoltaik* secara *realtime* sehingga dapat diketahui nilai perubahan setiap waktunya dan daya yang diperoleh dari sistem yang dibuat, jadi hanya mengukur nilai dari tegangan dan arus saja tidak sampai pada pengukuran parameter yang lain.

Penggunaan mikrokontroller sebagai kontrol aksi pada monitoring *fotovoltaik*. Mikrokontroller akan membaca nilai dari ADC yang kemudian akan disimpan sementara pada mikrokontroller yang akan digunakan untuk menampilkan nilai dari tegangan dan arus sebenarnya yang dihasilkan dari rangkaian modul *fotovoltaik*.

Diagram kotak sistem yang dirancang adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Kotak Sistem

ADC pada mikrokontroler ATmega 16 memiliki 8 *channel* input yang bisa dipakai. Dalam pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan oleh fotovoltaiik ini dipakai 2 *channel* ADC, pertama untuk mengukur tegangan terkondisi dari sensor arus DC dan kedua untuk mengukur tegangan terkondisi dari keluaran op-ampnya. Selanjutnya ditampilkan pada display LCD juga PC dengan *software borland delphi*.

Secara umum, sistem terbagi atas 2 bagian, yaitu:

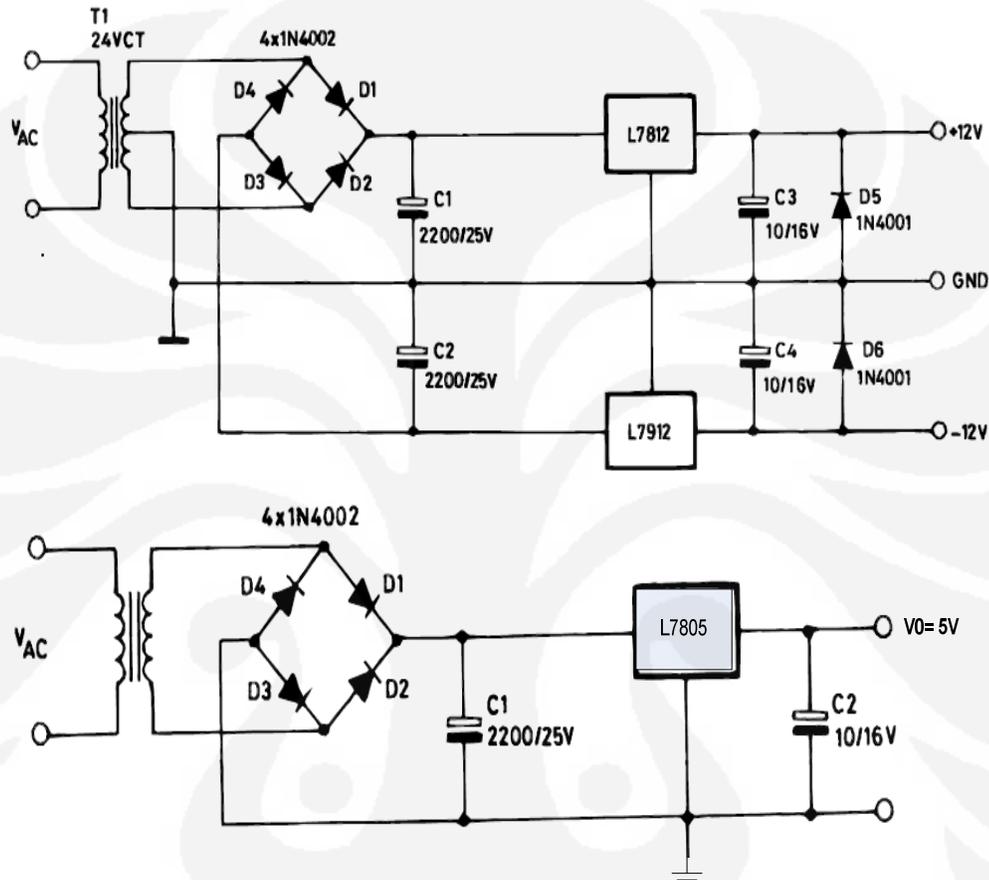
- Sistem 1 : Perangkat Keras (*Hardware*).
- Sistem 2 : Perangkat Lunak (*Software*).

3.1.1 Perangkat Keras (*Hardware*)

Secara hardware, sistem monitoring keluaran dari *fotovoltaiik* dibangun dari bagian-bagian sistem sebagai berikut:

3.1.1.1 Power Supply

Power supply berfungsi sebagai penyedia catu daya untuk keseluruhan sistem. Rangkaian utamanya terdiri dari transformer, rangkaian bridge, filter dan regulator tegangan.



Gambar 3.2 Power Supply ± 12 V dan 5 V

Transformer yang digunakan mempunyai kapasitas arus maksimum sebesar 1 Ampere dengan tegangan input 110/220 VAC dan tegangan output yang digunakan sebesar 21 VAC. Keluaran dari transformer disearahkan oleh rangkaian penyearah jembatan penuh yang dilengkapi dengan kapasitor. Hasil penyearah dihubungkan ke rangkaian filter yang dibangun oleh kapasitor 2200 μ F/25 V. tegangan DC yang dihasilkan diumpungkan ke regulator. Ada dua jenis regulator yang dipasang, yaitu regulator IC 7812 dan IC 7912 untuk tegangan 12 VDC yang digunakan untuk supply ke Op Amp dan mikrokontroller sedangkan regulator 5 VDC sebagai supply untuk operasi sensor arus menggunakan IC 7805.

Regulator 12 VDC yang dipakai adalah regulator tiga terminal 7812 sedangkan untuk tegangan 5 VDC adalah regulator tiga terminal 7805. Masing-masing regulator dilengkapi dengan transistor PNP yang berfungsi untuk mensupply arus pada saat regulator tidak berfungsi.

3.1.1.2 Perancangan Rangkaian Operasional Amplifier

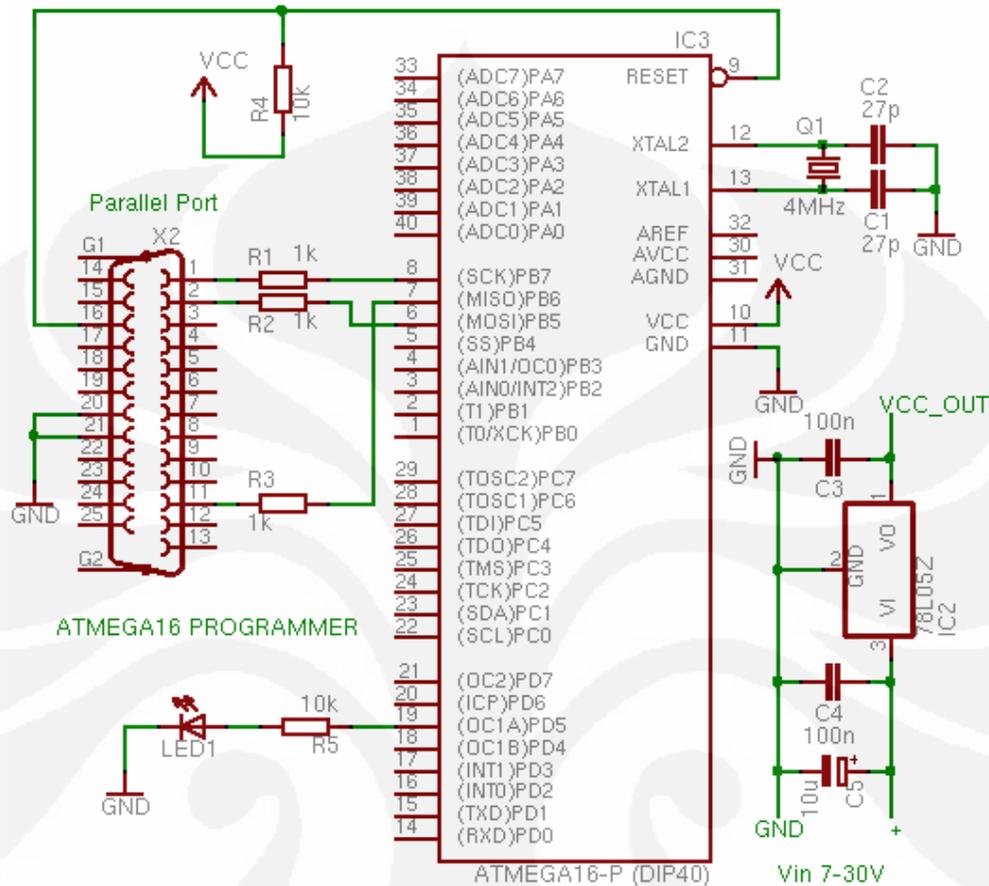
Operational Amplifier adalah IC yang menghasilkan tegangan keluaran v_o , yang merupakan hasil penguatan terhadap selisih tegangan pada kedua inputnya (v_1 dan v_2). Perancangan operational amplifier diaplikasikan bersama komponen-komponen lain, seperti resistor dan kapasitor untuk menghasilkan berbagai operasi matematis, seperti *penjumlahan*, *pengurangan*, *perkalian*, *integrasi*, dan *diferensiasi*. Untuk dapat bekerja dengan baik, penguat operasional memerlukan tegangan catu yang simetris yaitu tegangan yang berharga positif (+V) dan tegangan yang berharga negatif (-V) terhadap tanah (ground). Perancangan rangkaian op-amp pertama-tama dilakukan dengan perhitungan secara teoritis guna memperoleh nilai resistor dan kapasitor yang dibutuhkan sesuai dengan inputan yg diperoleh dari tegangan keluaran *fotovoltaik*.

Adapun spesifikasi utama op-amp pada sistem yang dibuat adalah sebagai berikut:

- Op-Amp yang digunakan adalah jenis LM 741
- Tegangan operasi : ± 5 Volt hingga ± 18 Volt (Pada sistem digunakan tegangan ± 12 Volt).
- Memiliki gain yang sangat tinggi (pada *open loop circuit* sekitar 10^7 kali)
- Impedansi tinggi pada sisi input, sedangkan pada sisi output rendah.
- Memperkuat beda tegangan antar kedua input

Mode operasi Op-Amp pada sistem ini berfungsi untuk menurunkan tegangan keluaran dari *fotovoltaik* agar bisa diperoleh keluaran sekitar 5 volt sehingga bisa dibaca oleh ADC mikrokontroller ATmega 16.

3.1.1.3 Rangkaian Mikrokontroler AVR ATmega 16



Gambar 3.3 Rangkaian mikrokontroler ATmega 16

Mikrokontroler yang dipakai pada proyek akhir ini menggunakan ATmega 16, dimana memiliki fungsi untuk mengolah data dari masukan sensor arus dan op-amp untuk diolah menjadi data keluaran. ATmega 16 merupakan mikrokontroler keluarga AVR dan termasuk tipe CMOS 8 bit dengan 16 Kbytes Flash PEROM (*Programmable Erasable Read Only Memory*).

ATmega 16 mempunyai komponen memori sebagai berikut:

1. RAM Internal, memori sebesar 512 bytes
2. *Special Function Register (SFR)* disebut juga Register fungsi khusus
3. Flash PEROM, memori yang digunakan untuk menyimpan instruksi/program dasar dari sebuah mikrokontroler.

Untuk komunikasi paralel pada ATmega 16 sebagai pengiriman atau download program digunakan port paralel yang tersedia di ATmega 16 yaitu sck port B7, miso port B6, mosi port B5 dan port reset port 9. Sedangkan untuk mendownload program ke ATmega 16 melalui modul downloader sebagai interface dari PC ke AVR.

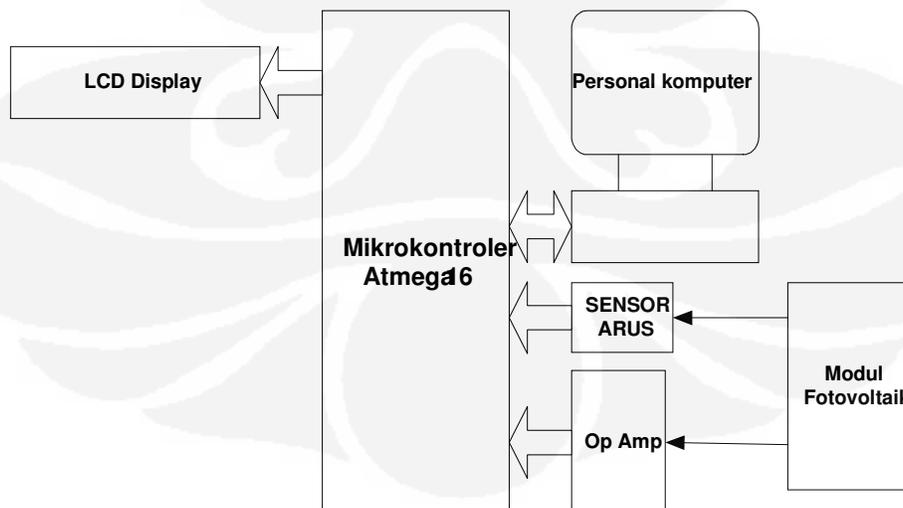
ADC pada ATmega 16 memiliki fungsi untuk mengkonversi input analog voltase untuk 10-bit nilai digital sampai berurutan. Nilai minimum sebagai GND dan nilai maksimum sebagai voltase pada batas atas AREF memberi data 1 LSB. Analog masuk saluran dan diferensial menulis kepada MUX di dalam ADMUX. ADC yang manapun masuk, seperti halnya GND dan suatu range acuan voltase yang ditetapkan dapat terpilih sebagai masukan ADC. Pada tugas akhir ini pin ADC yang terdapat pada ATmega 16 digunakan sebanyak dua channel yaitu ADC channel 1 untuk inputan op-amp dan ADC channel 2 untuk inputan dari sensor arus.

3.1.2 Perangkat Lunak (*Software*)

3.1.2.1 Pendefinisian Masalah

Perancangan *software* disini adalah *software* untuk mengontrol *hardware* dari sistem yang dibuat.

Sistem yang diinginkan dapat dijelaskan dengan blok diagram sebagai berikut:



Gambar 3.4 Diagram Penyelesaian Global

Sistem ini harus dapat melakukan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan dari rangkaian modul photovoltaik sehingga dapat menampilkan hasilnya di *LCD display* juga secara serial ke PC menggunakan software yang telah dibuat dengan *Borland Delphi 6*.

Sistem monitoring yang diinginkan adalah yang dapat melakukan beberapa hal, diantaranya:

1. Menampilkan hasil keluaran dari *fotovoltaik* berupa tegangan (V) dan arus (I).
2. Memberikan output yang dapat dimanipulasi oleh alat sebagai input untuk melakukan suatu pekerjaan tertentu setelah batas tercapai, dengan selang waktu tertentu.
3. Batas penghitungan dan selang waktu pencuplikan data *fotovoltaik* dapat di atur sewaktu-waktu melalui *kompalator* BASCOM AVR melalui PC.
4. Sistem mampu memberikan informasi penghitungan dan perubahan set point secara serial ke PC.
5. Memberikan informasi berupa display di lapangan.
6. Mampu menyimpan data set point terakhir meski sumber daya dimatikan.

Dari blok diagram diatas dapat di jelaskan blok diagram yang lebih detail dari sistem *hardware* (perangkat keras) yang digunakan. Pada gambar diatas dapat dilihat penggunaan mikrokontroller, diantaranya:

1. Berfungsi sebagai pengolah data utama yang melakukan penghitungan, perbandingan dengan set point, pengiriman dan penerimaan data secara serial.
2. Berfungsi sebagai pengolah data yang akan ditampilkan di *display LCD* hasil dari pengukuran *fotovoltaik*.

3.1.2.2 Kelengkapan Pendukung Software

Pada perancangan program untuk sistem ini digunakan kompilator Bascom AVR (*Basic Compiler*), Bahasa yang digunakan dalam pemrograman adalah bahasa basic. Untuk men-*download* file program yang telah dibuat kedalam eeprom mikrokontroler digunakan software Atmel ISP Programmer v2.8 (*ISP downloader*) yang semuanya dijalankan pada *Windows XP (Operating System)*.

3.1.2.3 Kelengkapan Pendukung Hardware.

Untuk membantu pekerjaan pemrograman digunakan perlengkapan sebagai berikut:

1. Seperangkat *personal computer (PC)* dan *notebook*.
2. Hardware downloader
3. Power Supply 5 vdc dan 12 vdc.
4. Kabel penghubung (kabel power, kabel downloader dan kabel serial)

3.1.3 Software Monitoring Fotovoltaik

Program Borland Delphi yang digunakan sebagai user interface ini, menggunakan Borland Delphi 6. Pemrograman Borland Delphi memiliki kemampuan yang baik dalam pembuatan program – program, dari yang sederhana sampai program yang kompleks.

Pada versi yang ke-enam ini, Borland Delphi telah berkembang dari bahasa pemrograman yang sederhana untuk Microsoft Windows sampai kelengkapan yang kompleks, mampu mengirimkan data untuk aplikasi kecil sampai aplikasi client/server.

Borland Delphi memiliki banyak fitur baru dibanding versi sebelumnya. Terutama dalam database dan internet, yaitu ADO, aplikasi DHTML, dan WebClasses. Pemrograman database banyak dipakai oleh sebagian besar Borland Delphi Developer. Dalam program monitoring ini pun menggunakan database sebagai sarana penyimpanan data dari pencuplikan.

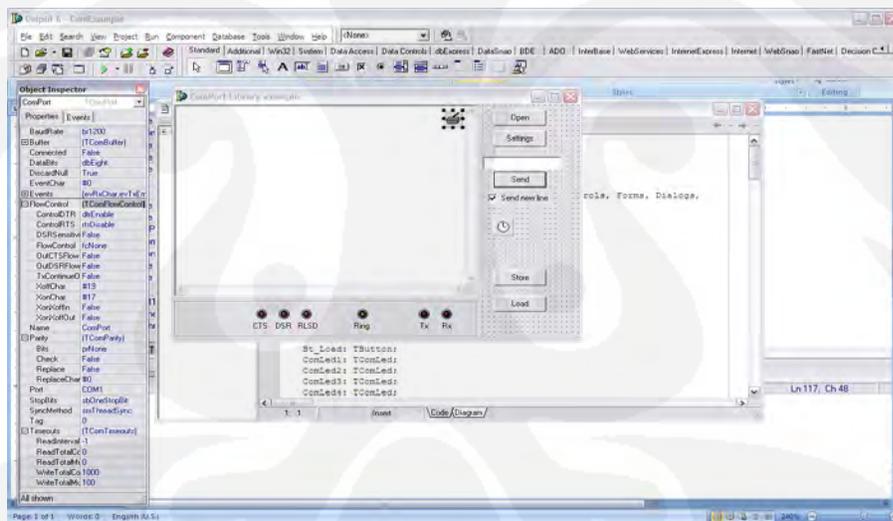
3.1.3.1 Lingkungan Pemrograman Borland Delphi

Lingkungan pemrograman Borland Delphi mengandung sarana pemrograman yang dapat membantu untuk membangun *software monitoring fotovoltaik*. Menu dan perintah sama fungsinya seperti pada program aplikasi berbasis Windows lainnya. Toolbar yaitu sekumpulan tombol yang berfungsi sebagai tombol cepat untuk menjalankan perintah dan mengendalikan lingkungan pemrograman Borland Delphi. Sarana lain yang terdapat pada Borland Delphi yaitu toolbox, jendela project container, jendela form, jendela project, jendela

properties, jendela form layout, component pallette data acces data control dan BDE serta ADO.

3.1.3.2 Komunikasi Serial Dengan Borland Delphi

Selain database, program utama dalam program monitoring ini adalah komunikasi serial yang merupakan salah satu fitur yang diberikan Borland Delphi, dimana PC sebagai alat yang akan memonitor tegangan dan arus yang dihasilkan harus mampu untuk menerima dan mengirimkan data ke luar. Dalam hal ini mikrokontroler sebagai alat yang mengontrol kerja system serta mengirim dan menerima data ke dan dari PC. Pada komunikasi serial, data yang dikirim per bit (data itu antri), walaupun mempunyai kelemahan pengiriman data yang lebih lambat dibanding dengan komunikasi paralel, komunikasi serial bisa digunakan untuk jarak yang jauh. [3]



Gambar 3.5 Setting Serial Component

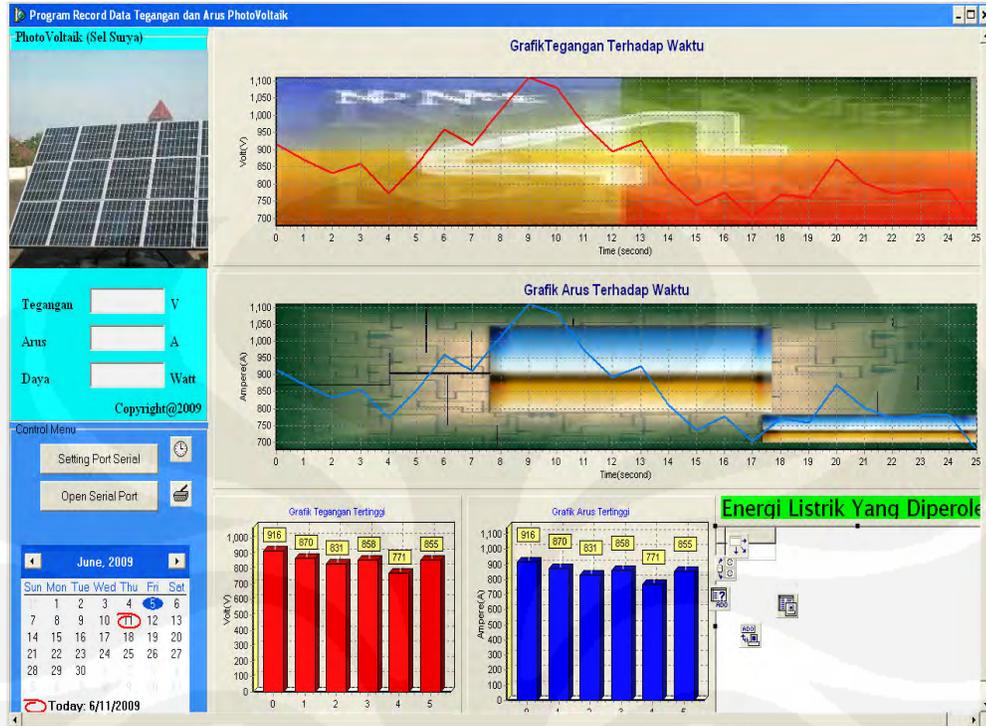
3.1.3.3 Program Monitoring Fotovoltaik

Program ini merupakan program untuk memonitor output dari fotovoltaik. Selain memonitor tegangan dan arus, program ini juga berfungsi untuk menyimpan data yang dibaca oleh mikrokontroler pada database. Database yang digunakan pada program ini berbasis Microsoft Access, hal ini dikarenakan kemudahan dalam mengatur data.

Spesifikasi pengukuran dari *software monitoring* yang terdapat pada program ini diantaranya :

1. DISPLAY, yang menunjukkan perubahan nilai dari tegangan dan arus yang telah diproses oleh mikrokontroller juga nilai dari daya listrik yang dihasilkan oleh fotovoltaik
 2. DATABASE yang berfungsi untuk menyimpan data dari display. Database yang terdapat pada program ini terdiri dari dua database. Satu database berfungsi sebagai penampung (sementara), yang menyimpan data setiap counter mengirimkan data. Database kedua merupakan database yang menyimpan data setiap interval waktu tertentu. Pembagian database ini dimaksudkan agar data yang tersimpan tidak terlalu besar, sehingga sulit untuk diamati.
 3. CHART. Chart ini menunjukkan perkembangan dari data yang masuk.
- PROPERTY. Property dalam program ini dibuat untuk memudahkan user apabila ingin merubah setting dari port serial dan lainnya





Gambar 3.6 Tampilan Utama dari Program Monitoring Fotovoltaik

3.1.4 Komunikasi Serial Monitoring Fotovoltaik

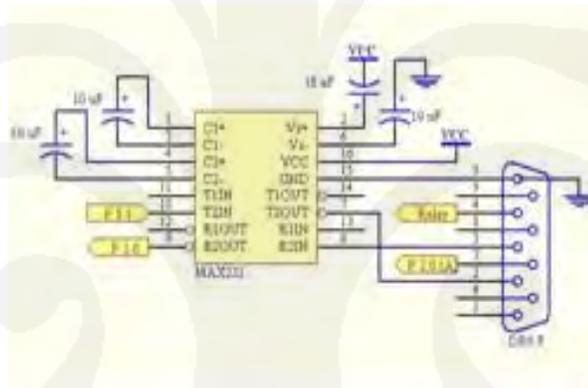
Mikrokontroler dan hampir semua peralatan / komponen digital yang banyak kita gunakan sekarang ini membutuhkan level tegangan yang berlogika TTL atau CMOS. Oleh karena itu langkah yang harus dilakukan agar bisa mengkomunikasikan antara port RS 232 dengan peralatan / komponen tersebut adalah dengan mengkonversi level tegangan dari RS 232 yang berkisar antara ± 3 V sampai ± 25 V, menjadi level tegangan TTL yaitu 0 V dan 5 V. Untuk mempermudah dalam mengkonversi level tegangan tersebut kita bisa menggunakan Rangkaian yang terintegrasi (IC) salah satunya yaitu max 232 yang mempunyai charge pump yang dapat menghasilkan tegangan +10 V dan -10 V dengan supply 5V. IC ini mempunyai dua receiver (mengkonversi dari logika TTL ke logika RS 232) dan dua transmitter (mengkonversi dari logika RS 232 ke logika TTL).

Untuk mengkonversi signal yang akan dikirim serial ke PC dibutuhkan suatu converter. Converter ini berguna untuk mengubah output dari port serial

mikrokontroler yang masih berlogika TTL menjadi RS 232 sehingga bisa ditampilkan di PC.

Komunikasi yang digunakan antara komputer dan mikrokontroler adalah komunikasi langsung tanpa syarat. Data dari komputer dikirim melalui pin 3 (Tx) dan diterima mikrokontroler melalui P 3.0 (Rx), sebaliknya untuk sistem ini hanya melakukan pengiriman data dari mikrokontroler melalui P 3.1 (Tx) dan diterima komputer melalui pin 2 (Rx).

Untuk mengkonversikan level tegangan serial dari komputer agar menjadi level tegangan TTL diperlukan suatu rangkaian RS 232 seperti gambar 3.7 yang terdiri dari sebuah IC MAX 232 dan 4 buah kapasitor.



Gambar 3.7 IC MAX 232

Untuk rangkaian converter tersebut menggunakan IC yang telah tersedia. Pada Gambar 3.8 dibawah ini merupakan blok komunikasi antara PC dengan mikrokontroler.



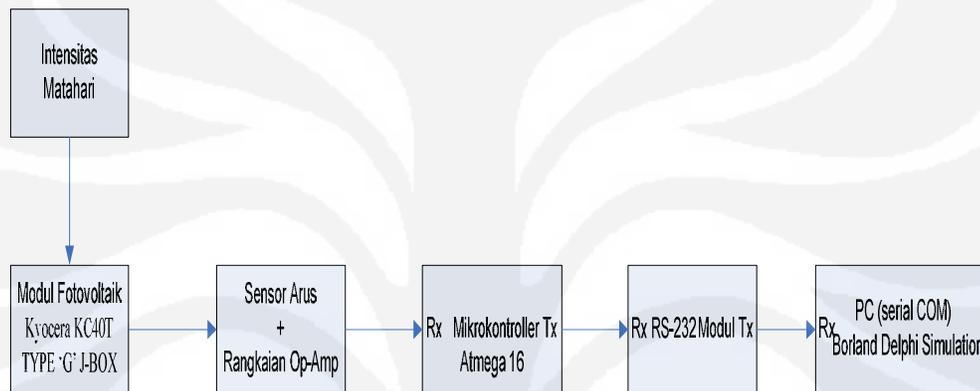
Gambar 3.8 Blok Komunikasi Antara Mikrokontroler Dengan PC

Untuk rangkaian converter yang menggunakan IC kita dapat menggunakan IC max 232 untuk mengkonversi level tegangan dari logika RS 232 menjadi logika

TTL sehingga data dapat dikirim ke PC dari mikrokontroller selain ke display LCD.

3.2 PRINSIP KERJA SISTEM

Fungsi dari sistem monitoring ini untuk mengetahui nilai tegangan dan arus dari *fotovoltaik* secara *realtime* sehingga dapat diketahui daya maksimum yang dihasilkan dari rangkaian modul fotovoltaik setiap harinya.



Gambar 3.9 Diagram blok sistem keseluruhan

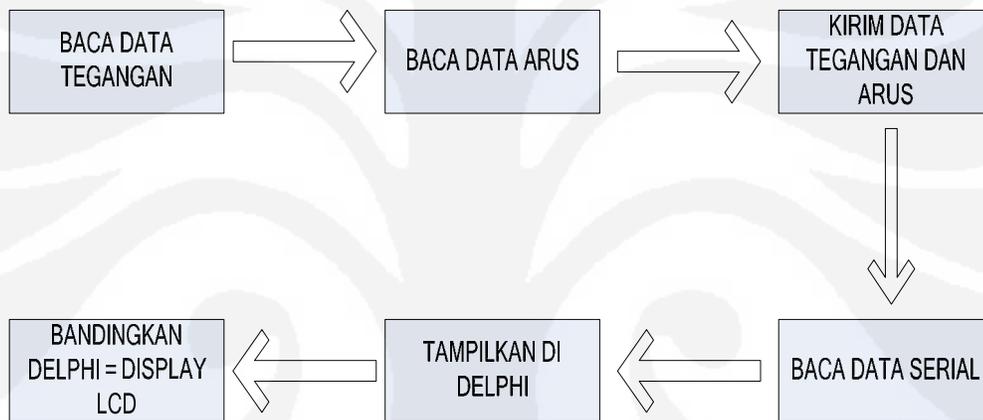
Dari informasi tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian modul *fotovoltaik* akan diperoleh perubahan nilai tegangan dan arus untuk setiap waktunya dengan dilewatkan terlebih dahulu ke rangkaian sensor arus dan op-amp untuk mengukur tegangan terkondisi dari sensor arus DC dan untuk mengukur tegangan terkondisi dari op-amp.

Tegangan DC yang dihasilkan dari *fotovoltaik* sangat besar sehingga perlu dilemahkan dengan rangkaian pembagi tegangan sehingga dapat dibaca ADC pada mikrokontroller. Untuk pengukuran arus yang dihasilkan dari *fotovoltaik* digunakan sensor arus DCS-01, sensor ini merupakan rangkaian pengkondisi yang menggunakan teknik *hall effect* untuk mendeteksi adanya aliran arus hingga 20A melalui modul tersebut. Keluaran dari modul ini dapat dihubungkan pada ADC sehingga sistem mikrokontroler dapat menghitung nilai besaran arus yang lewat.

Setelah dilakukan pengukuran oleh mikrokontroler nilai dari tegangan dan arus akan dikirimkan secara komunikasi serial ke PC secara *realtime* dengan perangkat lunak menggunakan *Borland Delphi* sebagai pengolah data.

Secara garis besar, program yang dibuat merupakan tampilan tatap muka kepada pengguna (*user interface*). Sehingga tampilan di komputer dibuat menunjukkan arus, tegangan dan daya terukur dari energi listrik yang dihasilkan dari rangkaian modul *fotovoltaik*.

3.3 PERANCANGAN PROGRAM PADA SISTEM MONITORING



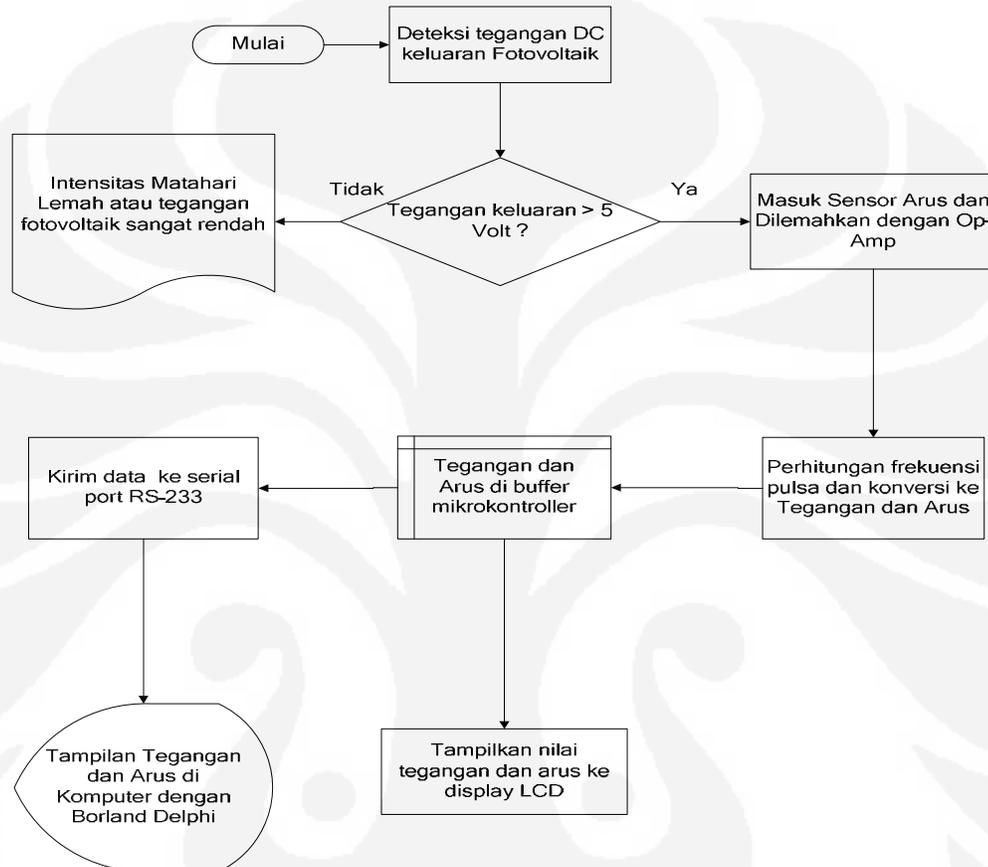
Gambar 3.10 Blok fungsional program pada sistem monitoring *fotovoltaik*

Bahasa pemrograman yang digunakan untuk sistem *monitoring fotovoltaik* ini adalah BASIC untuk AVR dengan *compiler* BASCOM AVR©. Bahasa pemrograman ini memiliki keuntungan yang cukup mudah dalam penggunaannya bila dibandingkan dengan menggunakan bahasa assembler biasa sehingga bisa lebih cepat dipahami untuk pemula.

Sesuai dengan sistem yang diinginkan dan hardware yang telah disiapkan maka ditentukan algoritma program untuk sistem monitoring tegangan dan arus yang dihasilkan dari *fotovoltaik* dengan tahapan sebagai berikut:

- Mengambil data tegangan keluran dari rangkaian op-amp.
- Menganbil data arus keluaran dari sensor arus.
- Baca ADC pada mikrokontroler.
- Format data dikirim ke bagian sistem penerima secara serial .

- Membaca input yang telah dikirim oleh bagian sistem pengirim dan mengolah data.
- Setelah proses pengolahan data akan didapat data tegangan dan data arus dari *fotovoltaik* secara *digital* dengan *Software Borland Delphi 6*.



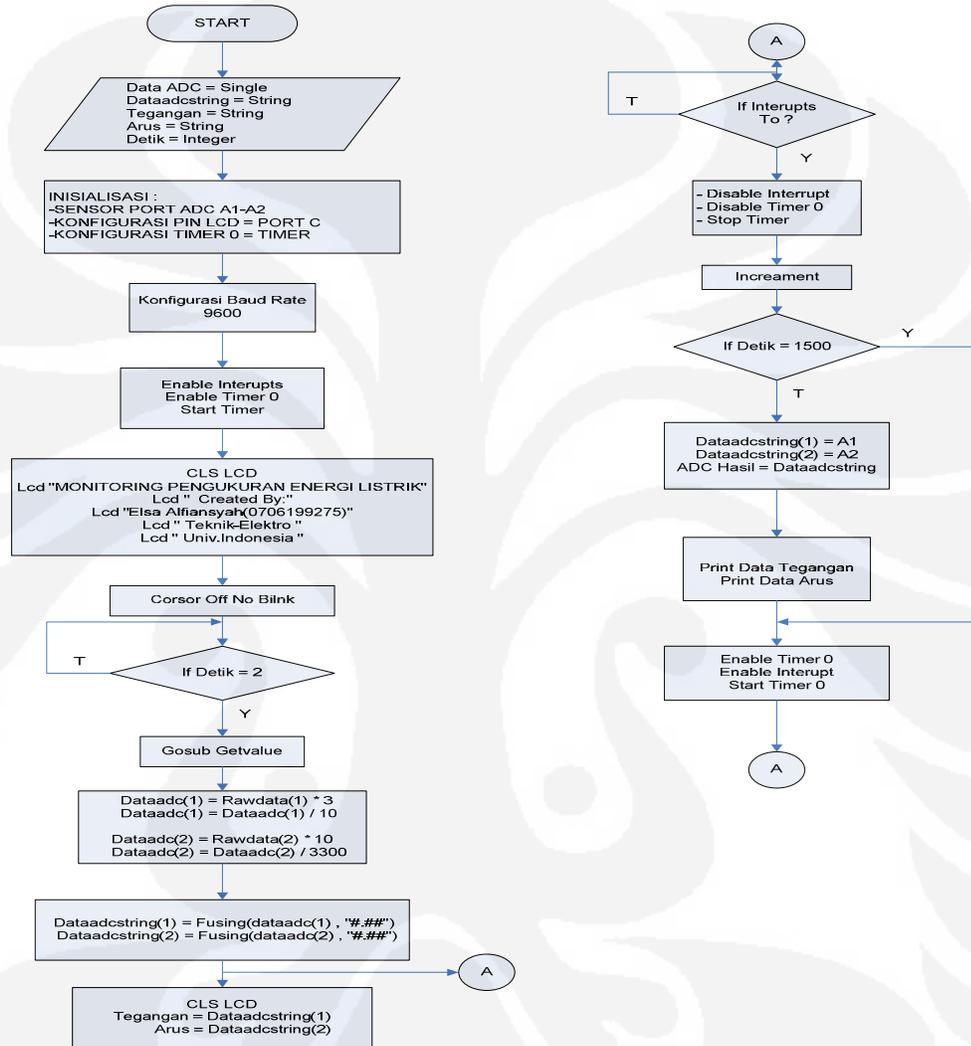
Gambar 3.11 Diagram alir program pada sistem monitoring fotovoltaik.

Perancangan program untuk *monitoring fotovoltaik* ini secara *realtime* dilakukan pengukuran secara analog terlebih dahulu untuk mengetahui range tegangan maksimal sehingga dapat ditentukan level TTL nya.

Pada mikrokontroler sinyal yang sudah berbentuk pulsa 0-5 volt akan dihitung oleh *counter* dengan durasi 1 detik untuk mendapatkan nilai frekuensi. Frekuensi ini selanjutnya akan diubah ke tegangan dan arus oleh mikrokontroler. Perhitungan akan terus dilakukan dalam setiap detik. Nilai tegangan dan arus akan disimpan di *buffer* dan dikeluarkan melalui kaki output mikrokontroler ke *display LCD* dan *port serial*. Agar dapat diamati oleh perangkat lain seperti komputer, diperlukan perangkat lunak yang menerima data dari port serial.

Perangkat lunak yang digunakan adalah perangkat lunak akuisisi data berbasis *Borland delphi*.

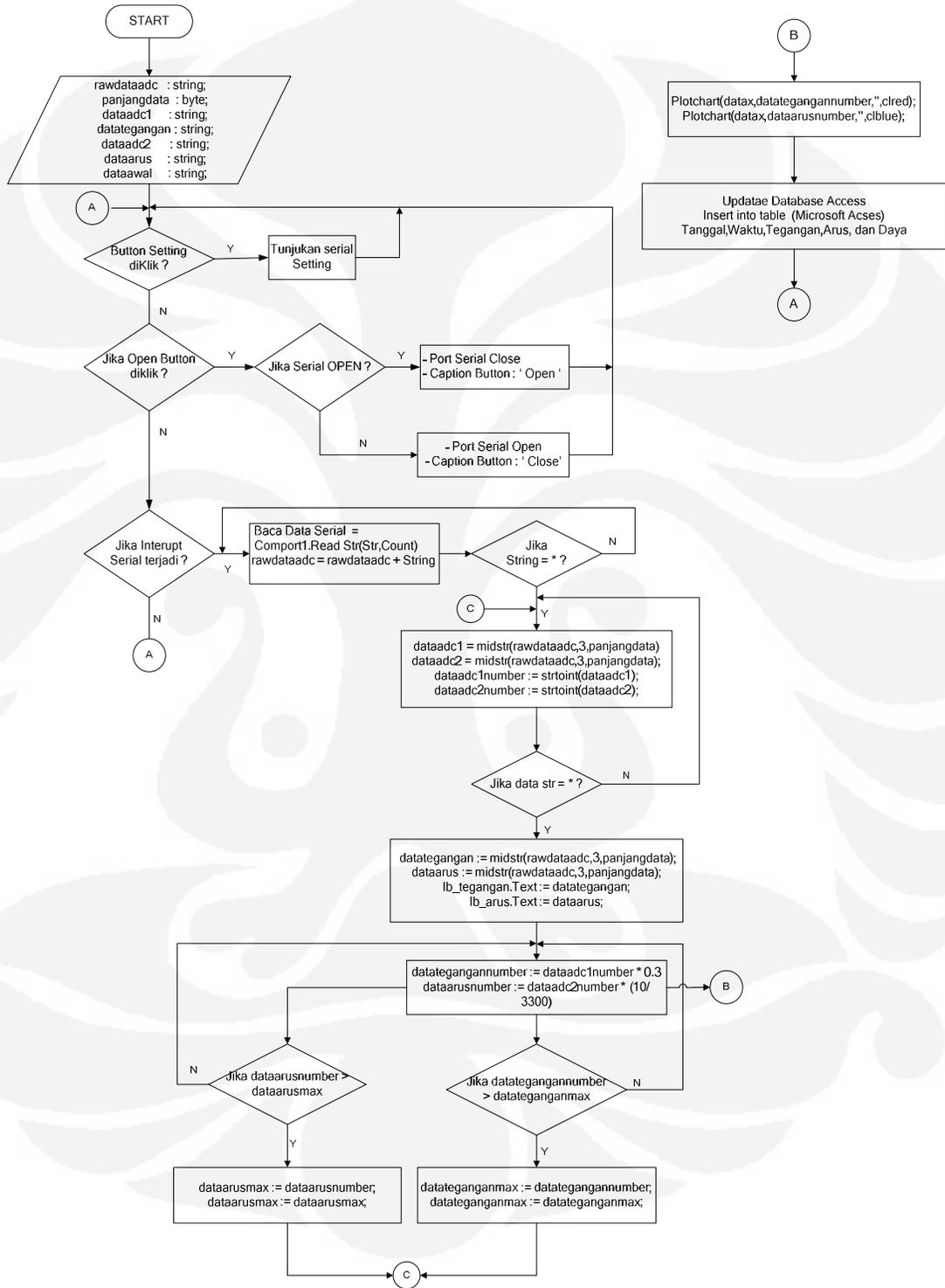
Berikut *flowchart* instruksi untuk data transfer dari *fotovoltaik* ke *display* LCD dan PC:



Gambar 3.12 Diagram alir program pada sistem pengirim

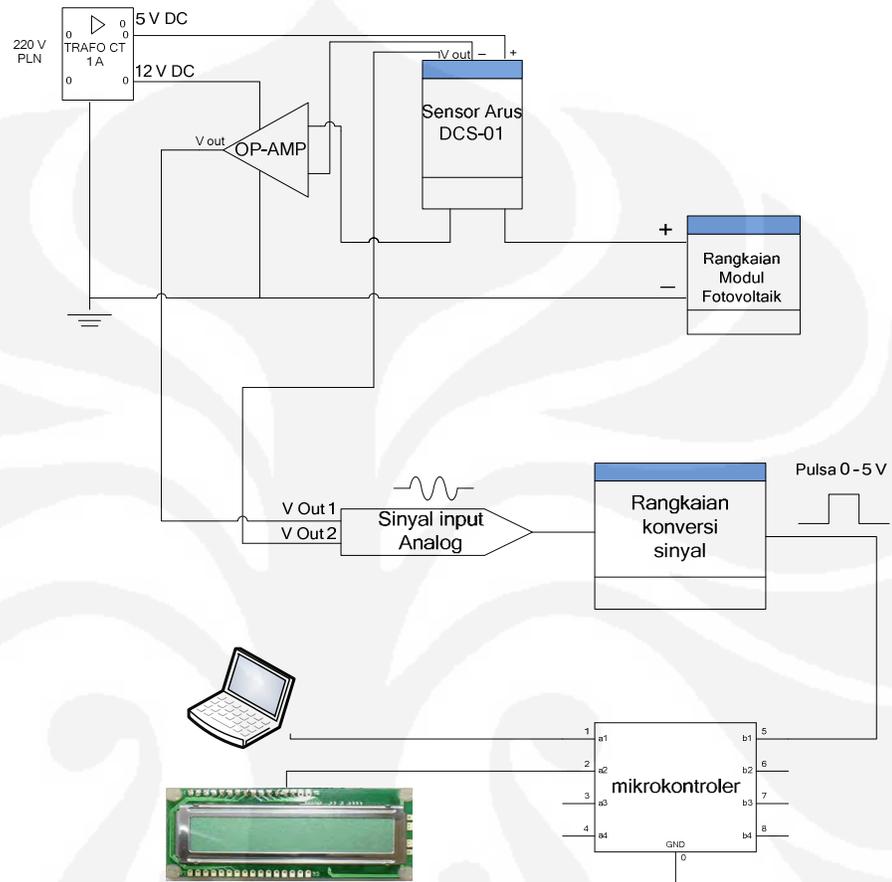
Perancangan program pada bagian sisi penerima pada PC dengan membaca input yang dikirim oleh bagian sistem pengirim secara serial dan mengolah data. Setelah proses pengolahan data maka akan didapat nilai dari tegangan dan arus yang dihasilkan dari *fotovoltaik*. Data pertama kali muncul akan langsung tersimpan dalam *database* yang telah terhubung pada *software borland delphi* yang telah dibuat. Fungsi dari *database* disini sebagai susunan

record data operasional lengkap selama sistem bekerja, sehingga dapat diketahui perubahan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan dari *fotovoltaik* juga nilai dari daya fotovoltaik itu sendiri bisa langsung diketahui.



Gambar 3.13 Diagram alir program pada sistem penerima

3.4 DESAIN PERANGKAT KERAS



Gambar 3.14 Diagram perangkat keras alat ukur.

Pada alat ukur dalam sistem monitoring ini diperlukan beberapa perangkat keras diantaranya: rangkaian konversi sinyal, mikrokontroler, RS232 dan perangkat pengamat kinerja sistem (*LCD karakter 2 x 16* dan komputer)..

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Untuk mengetahui bekerja atau tidaknya perangkat yang telah dibuat baik itu hardware maupun software harus dilakukan suatu pengujian berupa kinerja maupun dengan pengukuran terhadap perangkat juga terhadap respon yang dihasilkan. Suatu sistem dinyatakan bekerja dengan baik bila sistem itu bekerja sesuai dengan tujuan awal yang dicapai saat pertama kali dilakukan perancangan.

4.1 PENGUJIAN PERANGKAT KERAS

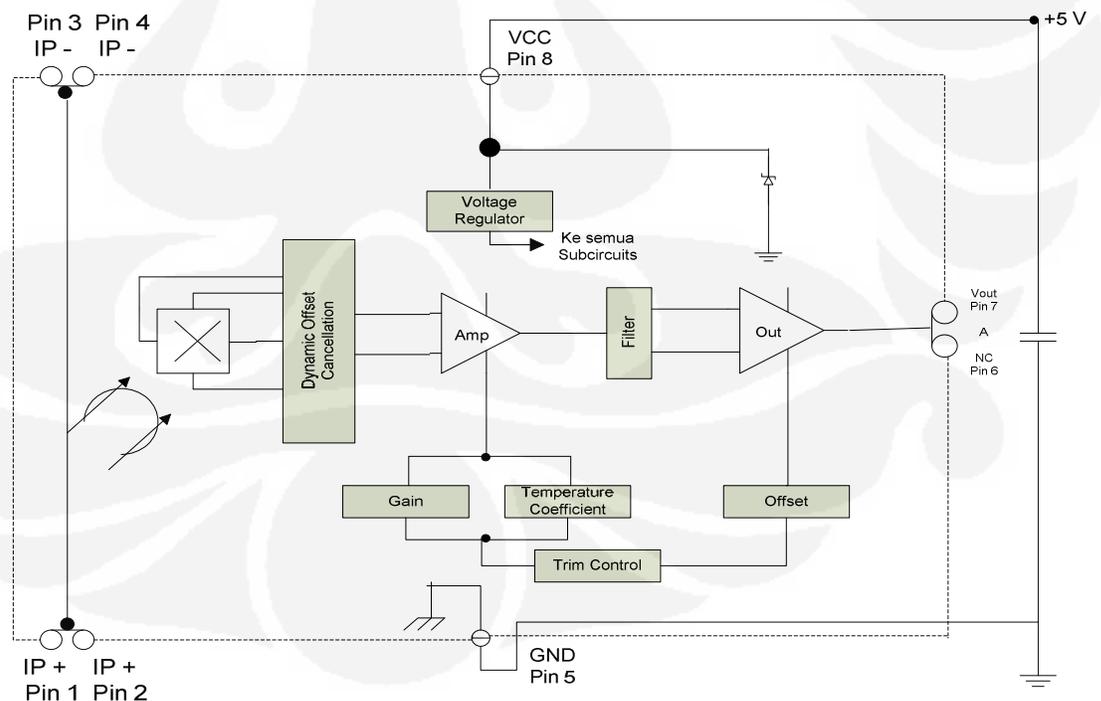
4.1.1 Pengujian Sensor Arus

- Tujuan

Untuk mengetahui pengaruh posisi matahari terhadap pengukuran arus beban DC dari rangkaian modul *fotovoltaik* terhadap tegangan yang dihasilkan dari sensor tersebut sehingga dapat diketahui nilai arus yang dihasilkan dari grafik keluaran DCS-01 terhadap arus yang disensor.

- Rangkaian Pengujian

Berikut rangkaian yang terdapat pada modul sensor arus DCS-01:



Gambar 4.1 Rangkaian pengujian pada sensor arus

- Peralatan yang diperlukan
 - Modul Fotovoltaik sebanyak 10 buah dirangkai secara seri.
 - Modul dari sensor arus DCS-01
 - Power Supply +5 V dan GND
 - Multimeter
 - Beban dengan menggunakan *variable resistance* dengan nilai hambatan sebesar 220 Ω .
- Langkah – langkah Pengukuran
 1. Menghubungkan kabel keluaran dari rangkaian fotovoltaik yang telah disusun secara seri dengan modul DCS-01
 2. Output dari modul DCS-01 dihubungkan ke *multimeter*, sehingga dapat diketahui tegangan yang dihasilkan dari sensor arus tersebut.
 3. Baca tabel grafik keluaran DCS-01 terhadap arus yang disensor dari datasheet mulai dari range 0,5 volt pada saat arus yang mengalir sebesar - 20 Ampere sampai 4,5 volt untuk nilai arus sebesar 20 Ampere. Apabila tegangan keluaran yang dihasilkan dari sensor arus sebesar 2,5 volt maka tidak ada arus yang mengalir.
 4. Amati perubahan tegangan yang dihasilkan dari sensor arus tersebut terhadap perubahan pergerakan matahari.
 5. Lakukan pengulangan langkah 2 sampai 4 hingga diperoleh data yang valid untuk jam yang sama.
- Hasil Pengujian

Tabel pengujian tegangan modul DCS-01 terhadap tegangan dari *fotovoltaik*.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor Arus

Waktu (Jam)	<i>V out dari Photovoltaik</i> (Volt)	<i>V out dari Modul DCS-01</i> (Volt)
12:12	189	2,58
12:14	167	2,56
12:16	175	2,57
12:19	201	2,58
12:21	202	2,58
12:23	202	2,58

12:25	197	2,58
12:27	182	2,58
12:30	201	2,58
12:32	202.	2,58
12:34	202	2,58
12:36	201	2,58
12:38	201	2,58
12:40	171	2,57
12:43	179	2,57
12:45	202	2,58
12:47	202	2,58
12:49	201	2,58

Dari hasil pengujian pada tabel diatas dapat diketahui bahwa tegangan terbesar yang dihasilkan dari sensor arus tersebut didapatkan saat tegangan yang dihasilkan dari modul *fotovoltaik* bernilai maksimum. Hal ini disebabkan karena tegangan yang dihasilkan sebanding dengan perubahan tegangan yang dihasilkan dari *fotovoltaik*. Prinsip dari sensor arus ini menggunakan teknologi hall effect dimana dapat mengukur medan magnet di sekitar kawat berarus. Isyarat dari sensor ini menunjukkan medan nol pada tegangan 2,5 volt. Tegangan akan berubah berupa tegangan dc yang berbanding lurus terhadap perubahan arusnya. Tegangan terbesar yang dihasilkan adalah sebesar 2,58 V pada saat V_{out} *fotovoltaik* berkisar antara 182-202 V, sehingga dari grafik keluaran terhadap arus yang disensor menghasilkan arus sebesar 0,8 A dan tegangan terkecil yang dihasilkan dari pengujian tersebut adalah sebesar 2,57 V sehingga dari grafik diketahui nilai arus sebesar 0,7 A .

- Analisa

Dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa tegangan output yang terukur pada skala V-dc berubah sebanding dengan perubahan tegangan output dari *fotovoltaik*. Dari hasil tabel pengujian juga dapat diketahui bahwa tegangan yang dihasilkan dari perubahan posisi matahari terhadap permukaan modul

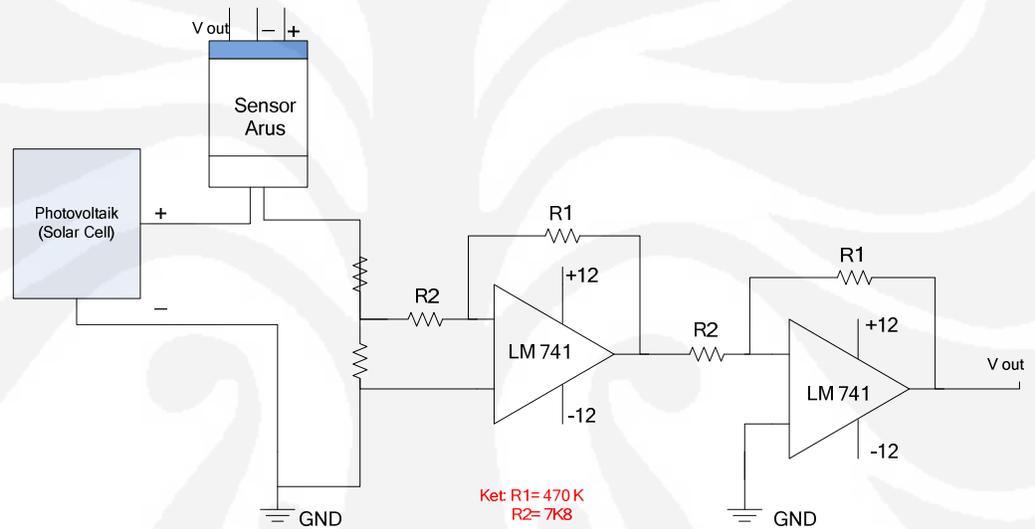
fotovoltaik , dimana tegangan output yang dihasilkan akan semakin besar bila permukaan modul *fotovoltaik* selalu mengarah tepat ke arah pergerakan matahari.

4.1.2 Pengujian Rangkaian Operasional Amplifier

- Tujuan

Untuk mendapatkan pelemahan beberapa kali agar saat input maksimal didapatkan output minimal yang terukur pada skala rata-rata (tegangan yang terukur pada voltmeter) sebesar 5V DC.

- Rangkaian Pengujian



Gambar 4.2 Rangkaian pengujian penguat non-inverting

- Peralatan yang diperlukan

- Modul Fotovoltaik sebanyak 15 buah dirangkai secara seri.
- Power supply ganda +12 V, -12 V dan GND
- Sensor tegangan yang telah dibuat.
- Multimeter

- Langkah-langkah pengukuran

1. Menghubungkan rangkaian *op-amp* dengan catu daya dan modul *fotovoltaik*.
2. Ubah-ubah posisi *fotovoltaik* terhadap pergerakan matahari.

3. Lakukan pengamatan dan pengukuran tegangan output dari op-amp dengan menggunakan multimeter, catat nilainya dan kalkulasikan pada tabel.
4. Ulangi langkah 2 dan 3 untuk beberapa data yang berbeda.
5. Hitung V_{out} berdasarkan teori sebagai berikut:

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_i} + 1 \right) \times V_{in} \dots\dots\dots (4.)$$

6. Bandingkan hasil pengukuran dengan hasil teori, kemudian cari persen error.

$$Persen\ Error = \left| \frac{Teori - Pengukuran}{Teori} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (4.)$$

- Hasil Pengujian
 - Tabel Pengujian

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Amplifier

Input dari Fotovoltaik (V)	Output Pengukuran (V)	Output Teori (V)	Error
262	4,44	4,27	3,98 %
266	4,50	4,34	3,68 %
269	4,58	4,39	4,32 %
270	4,52	4,40	2,72 %
271	4,54	4,42	2,71 %
272	4,51	4,44	1,57 %
275	4,60	4,49	2,44 %
276	4,58	4,50	1,78 %
277	4,67	4,52	3,31 %
278	4,65	4,53	2,64 %
280	4,64	4,57	1,53 %
281	4,74	4,58	3,49 %
283	4,72	4,62	2,16 %
285	4,74	4,65	1,93 %
286	4,74	4,67	1,49 %
287	4,80	4,68	2,56 %

302	4,74	4,65	3,85 %
-----	------	------	--------

Berdasarkan tabel hasil pengujian diatas dapat diketahui bahwa tegangan terbesar didapatkan saat *matahari* berada di posisi tengah hari. Hal ini disebabkan karena intensitas matahari yang ditangkap pada saat itu maksimum dimana *energi foton* yang dihasilkan dari radiasi matahari menumbuk atom silikon dari modul *fotovoltaik* dan menghasilkan energi untuk mendorong elektron terluar keluar dari orbitnya dan membentuk hole, maka akan timbul elektron – elektron bebas yang siap mengalir di ujung – ujung terminal *fotovoltaik*.

- Analisa

Dari hasil perhitungan persen error pada tabel diatas, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan. Hal ini disebabkan karena adanya ketidakpresisian komponen dan juga pengaruh *noise* dari luar. Dari hasil tabel diatas dapat diketahui bahwa pelemahan yang dihasilkan sebesar ± 60 kali. Sinyal input dari rangkaian diatas berasal dari sinyal output pada rangkaian modul *fotovoltaik*.

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa data pengukuran selalu lebih besar dari teori namun tidak mengurangi ketelitian pengukuran dalam kondisi nyata, hal ini dikarenakan persen errornya masih dalam keadaan ideal sebesar $\pm 3\%$.

$$\begin{aligned}\Delta V &= (\sum V \text{ Output Pengukuran} - \sum V \text{ Output Teori}) / \text{Jumlah Data} \\ &= 4,63 - 4,51 \\ &= 0,12 \text{ Volt}\end{aligned}$$

Jadi total persentase error yang dihasilkan dari rangkaian op-amp atau sensor tegangan tersebut sebesar:

$$\begin{aligned}\text{Persen Error} &= \left| \frac{\text{Teori} - \text{Pengukuran}}{\text{Teori}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,51 - 4,63}{4,51} \right| \times 100\% \\ &= 2,66 \%\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa rangkaian pengujian op-amp pada sistem monitoring fotovoltaik memiliki keakurasian sebesar :

$$100\% - 2,66\% = 97,34 \%$$

Dalam hal ini saya tidak memperhitungkan besarnya pelemahan, karena pelemahan yang saya buat hanya digunakan untuk melemahkan sinyal output dari *fotovoltaik* yang sangat besar yang tujuannya adalah agar sinyal output dari *fotovoltaik* tersebut dapat diolah atau diproses pada bagian pengubah ADC yang mana output dari rangkaian pengubah ini terukur dalam mikrokontroler.

4.2 PENGUJIAN SISTEM KESELURUHAN

4.2.1 Pengambilan Data

Pengambilan data untuk pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak akuisisi data berbasis *Borland Delphi* yang sudah mempunyai fitur GUI. Keadaan *fotovoltaik* dapat dilihat dari data dan grafik pada tampilan perangkat lunak.

Secara garis besar prinsip kerja dari bagian sistem penerima yaitu, mengambil dan mengolah data yang dikirim dari bagian sistem pengirim secara serial.

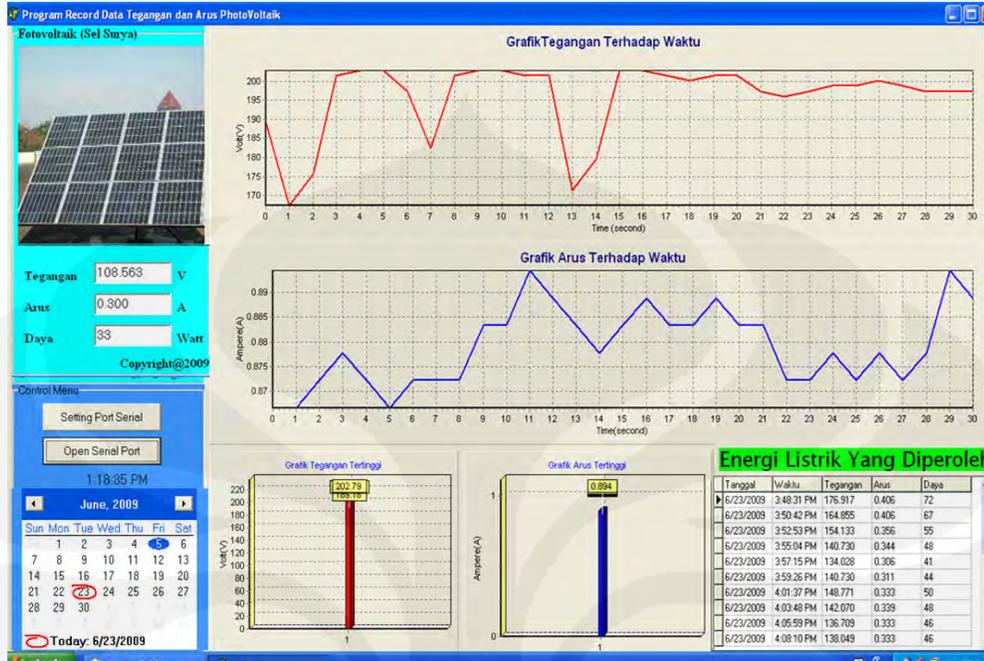


Gambar 4.3 Tampilan hasil sistem monitoring fotovoltaik pada display LCD

Berikut merupakan hasil pengambilan data pada saat radiasi matahari yang ditangkap oleh fotovoltaik.

4.2.1.1 Tanggal 23 Juni 2009 pukul 12.12 - 13.18 WIB

Hasil pengambilan data yang diterima secara serial pada *software monitoring fotovoltaik* dalam keadaan cuaca cerah.



Gambar 4. 4 Tampilan hasil pengukuran 1 yang diterima secara serial dalam bentuk plot grafik dan tabulasi data secara *realtime*

Dari plot grafik diatas diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 202,79 Volt sedangkan untuk nilai arus maksimumnya dihasilkan sebesar 0.894 Ampere Hasil pengujian sistem yang *terrekam* pada database dengan Microsoft Access:

The screenshot shows the Microsoft Access interface with a table named 'Record_Data'. The table contains the following data:

Tanggal	Tegangan	Waktu	Arus	Daya
6/8/2009	189.180	12:12:34 P	0.867	164
6/8/2009	167.404	12:14:45 P	0.867	145
6/8/2009	175.570	12:16:56 P	0.872	153
6/8/2009	201.429	12:19:07 P	0.878	177
6/8/2009	202.790	12:21:18 P	0.872	177
6/8/2009	202.790	12:23:29 P	0.867	176
6/8/2009	197.346	12:25:40 P	0.872	172
6/8/2009	182.375	12:27:51 P	0.872	159
6/8/2009	201.429	12:30:02 P	0.872	176
6/23/2009	202.790	12:32:13 P	0.883	179
6/23/2009	202.790	12:34:24 P	0.883	179
6/23/2009	201.429	12:36:35 P	0.894	180
6/23/2009	201.429	12:38:46 P	0.889	179
6/23/2009	171.481	12:40:57 P	0.883	151
6/23/2009	179.653	12:43:08 P	0.878	159
6/23/2009	202.790	12:45:19 P	0.883	179
6/23/2009	202.790	12:47:30 P	0.889	180
6/23/2009	201.429	12:49:42 P	0.883	178
6/23/2009	200.068	12:51:53 P	0.883	177
6/23/2009	201.429	12:54:04 P	0.889	179
6/23/2009	201.429	12:56:15 P	0.883	178
6/23/2009	197.346	12:58:26 P	0.883	174
6/23/2009	195.985	1:00:37 PM	0.872	171
6/23/2009	197.346	1:02:48 PM	0.872	172
6/23/2009	196.707	1:04:59 PM	0.876	174
6/23/2009	198.707	1:07:10 PM	0.872	173

Gambar 4.5 Hasil pengiriman data pengukuran

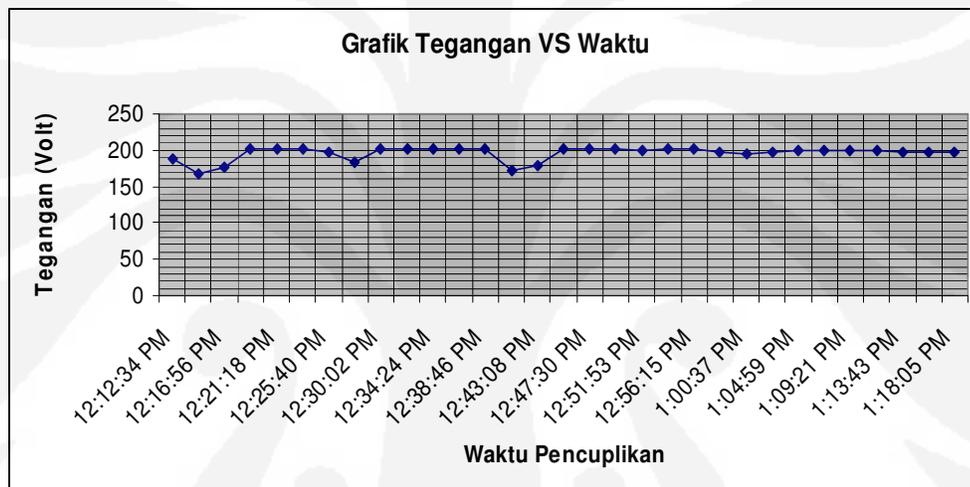
Adapun data yang diterima merupakan energi listrik yang dihasilkan dari modul *fotovoltaik* berupa nilai tegangan, arus, dan daya dari setiap pencuplikan dengan waktu yang sama.

Berikut data keseluruhan yang terrekam pada database yang diterima dari modul *fotovoltaik* selama proses pengambilan data dimana beban simulasi menggunakan *variable resistance* dengan nilai hambatan sebesar **220 Ω** .

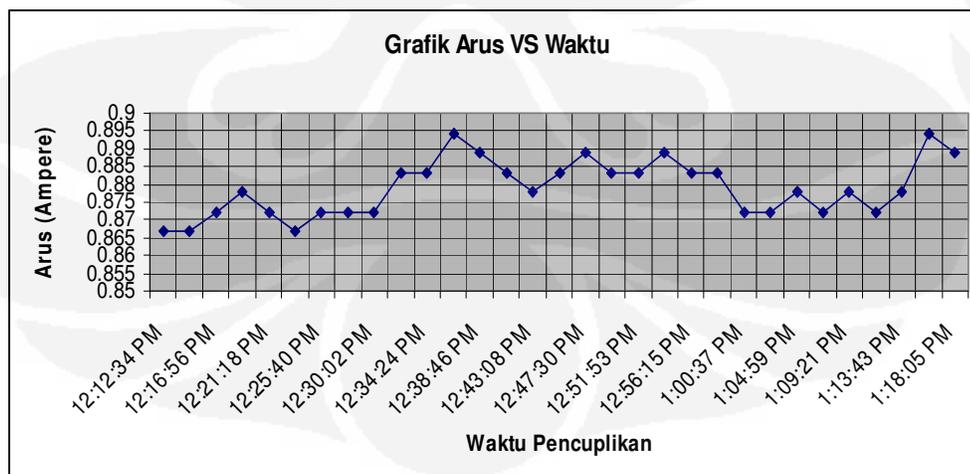
Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran 1 Energi Listrik Fotovoltaik

Record_Data				
Tanggal	Waktu	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
6/23/2009	12:12:34 PM	189.180	0.867	164
6/23/2009	12:14:45 PM	167.404	0.867	145
6/23/2009	12:16:56 PM	175.570	0.872	153
6/23/2009	12:19:07 PM	201.429	0.878	177
6/23/2009	12:21:18 PM	202.790	0.872	177
6/23/2009	12:23:29 PM	202.790	0.867	176
6/23/2009	12:25:40 PM	197.346	0.872	172
6/23/2009	12:27:51 PM	182.375	0.872	159
6/23/2009	12:30:02 PM	201.429	0.872	176
6/23/2009	12:32:13 PM	202.790	0.883	179
6/23/2009	12:34:24 PM	202.790	0.883	179
6/23/2009	12:36:35 PM	201.429	0.894	180
6/23/2009	12:38:46 PM	201.429	0.889	179
6/23/2009	12:40:57 PM	171.481	0.883	151
6/23/2009	12:43:08 PM	179.653	0.878	158
6/23/2009	12:45:19 PM	202.790	0.883	179
6/23/2009	12:47:30 PM	202.790	0.889	180
6/23/2009	12:49:42 PM	201.429	0.883	178
6/23/2009	12:51:53 PM	200.068	0.883	177
6/23/2009	12:54:04 PM	201.429	0.889	179
6/23/2009	12:56:15 PM	201.429	0.883	178
6/23/2009	12:58:26 PM	197.346	0.883	174
6/23/2009	1:00:37 PM	195.985	0.872	171

Record_Data				
Tanggal	Waktu	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
6/23/2009	1:02:48 PM	197.346	0.872	172
6/23/2009	1:04:59 PM	198.707	0.878	174
6/23/2009	1:07:10 PM	198.707	0.872	173
6/23/2009	1:09:21 PM	200.068	0.878	176
6/23/2009	1:11:32 PM	198.707	0.872	173
6/23/2009	1:13:43 PM	197.346	0.878	173
6/23/2009	1:15:54 PM	197.346	0.894	177
6/23/2009	1:18:05 PM	197.346	0.889	175



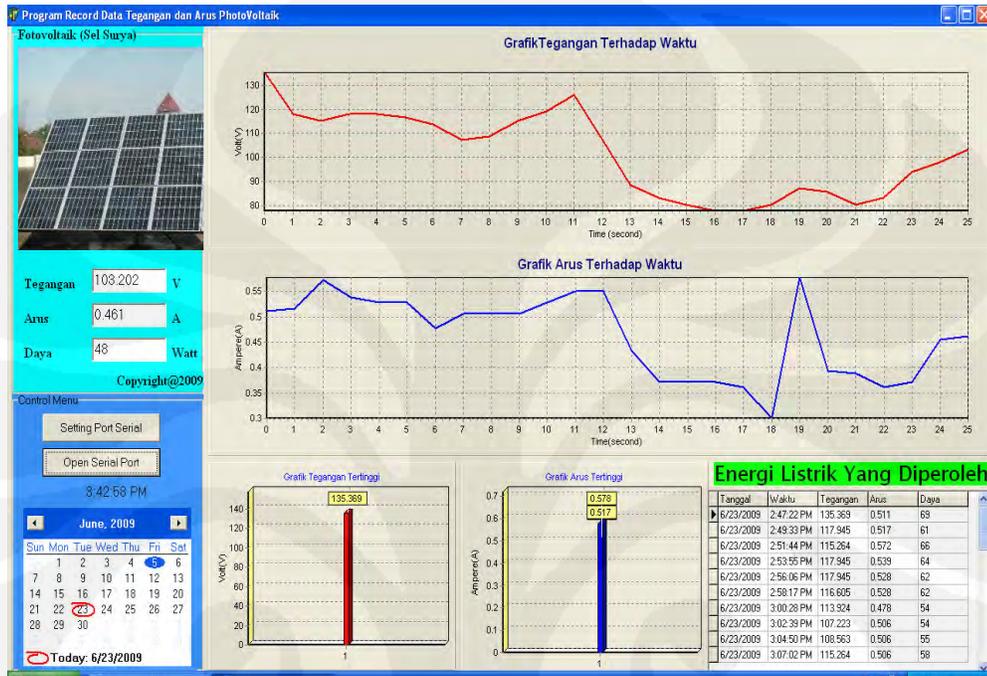
Gambar 4.6 Grafik Perubahan Nilai Tegangan Terhadap Waktu pada Pengukuran 1



Gambar 4.7 Grafik Perubahan Nilai Arus Terhadap Waktu pada Pengukuran 1

4.2.1.2 Tanggal 23 Juni 2009 pukul 14.47 – 15.41 WIB

Hasil pengambilan data yang diterima secara serial pada *software monitoring fotovoltaik* dalam keadaan cuaca mendung dengan beban yang sama sebesar 220Ω .



Gambar 4. 8 Tampilan hasil pengukuran 2 yang diterima secara serial dalam bentuk plot grafik dan tabulasi data secara *realtime*

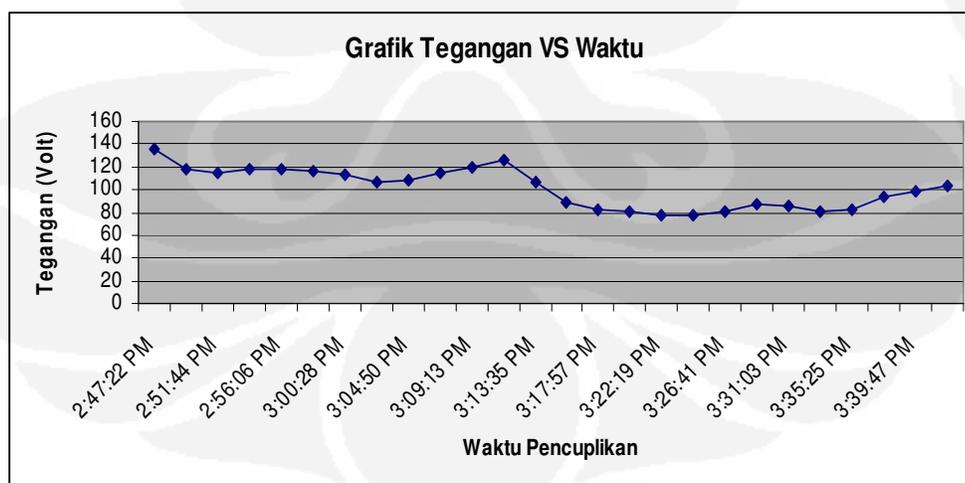
Dari plot grafik diatas diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 135,369 Volt sedangkan untuk nilai arus maksimumnya dihasilkan sebesar 0,578 Ampere.

Berikut data keseluruhan yang terrekam pada database yang diterima dari modul *fotovoltaik* selama proses pengambilan data

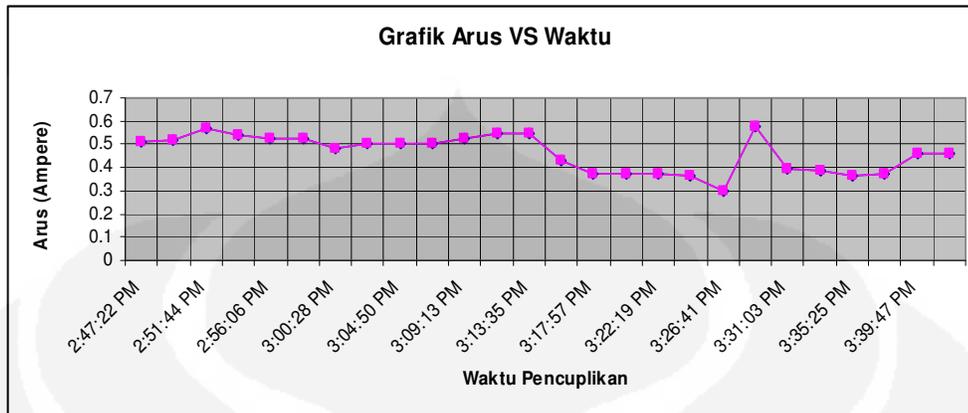
Tabel 4.4 Data Hasil Pengukuran 2 Energi Listrik Fotovoltaik

Record_Data				
Tanggal	Waktu	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
6/23/2009	2:47:22 PM	135.369	0.511	69
6/23/2009	2:49:33 PM	117.945	0.517	61
6/23/2009	2:51:44 PM	115.264	0.572	66
6/23/2009	2:53:55 PM	117.945	0.539	64
6/23/2009	2:56:06 PM	117.945	0.528	62

Record_Data				
Tanggal	Waktu	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
6/23/2009	2:58:17 PM	116.605	0.528	62
6/23/2009	3:00:28 PM	113.924	0.478	54
6/23/2009	3:02:39 PM	107.223	0.506	54
6/23/2009	3:04:50 PM	108.563	0.506	55
6/23/2009	3:07:02 PM	115.264	0.506	58
6/23/2009	3:09:13 PM	119.285	0.528	63
6/23/2009	3:11:24 PM	125.987	0.550	69
6/23/2009	3:13:35 PM	107.223	0.550	59
6/23/2009	3:15:46 PM	88.459	0.428	38
6/23/2009	3:17:57 PM	83.098	0.372	31
6/23/2009	3:20:08 PM	80.417	0.372	30
6/23/2009	3:22:19 PM	77.736	0.372	29
6/23/2009	3:24:30 PM	77.736	0.361	28
6/23/2009	3:26:41 PM	80.417	0.300	24
6/23/2009	3:28:52 PM	87.118	0.578	50
6/23/2009	3:31:03 PM	85.778	0.394	34
6/23/2009	3:33:14 PM	80.417	0.389	31
6/23/2009	3:35:25 PM	83.098	0.361	30
6/23/2009	3:37:36 PM	93.820	0.372	35
6/23/2009	3:39:47 PM	97.841	0.456	45
6/23/2009	3:41:58 PM	103.202	0.461	48



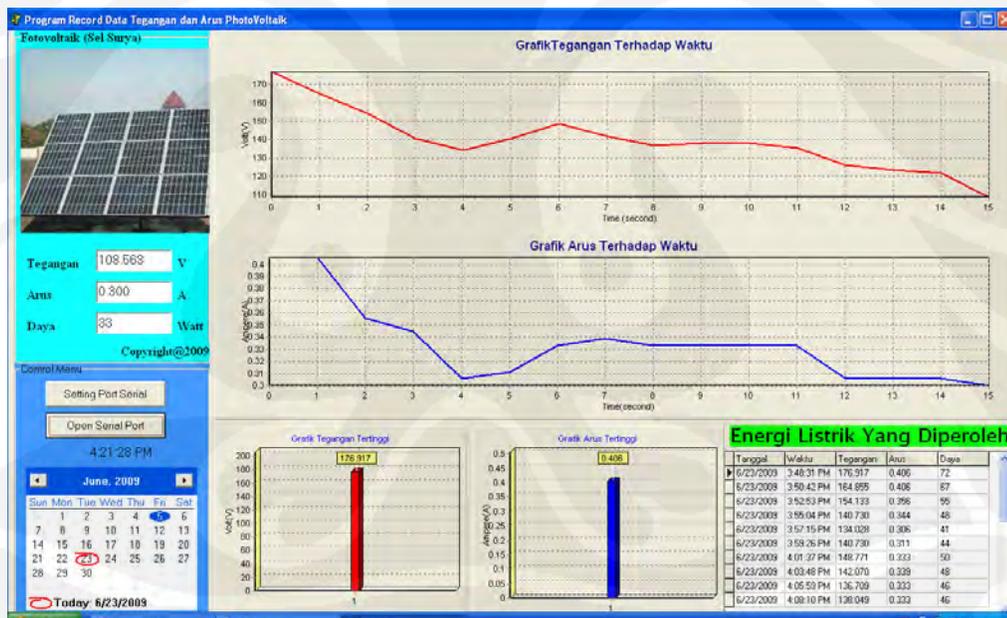
Gambar 4.9 Grafik Perubahan Nilai Tegangan Terhadap Waktu pada Pengukuran 2



Gambar 4.10 Grafik Perubahan Nilai Arus Terhadap Waktu pada Pengukuran 2

4.2.1.3 Tanggal 23 Juni 2009 pukul 15.48 – 16.21 WIB

Hasil pengambilan data yang diterima secara serial pada *software monitoring fotovoltaik* dalam keadaan cuaca cerah dengan beban sebesar 440 Ω .



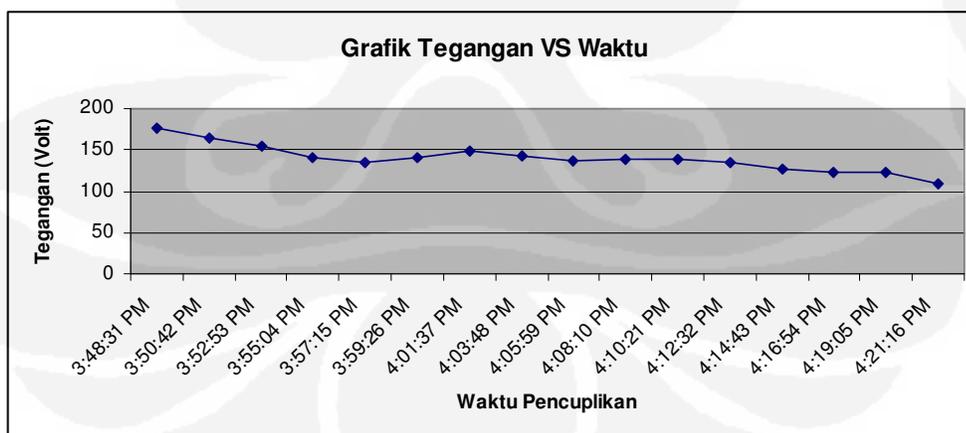
Gambar 4.11 Tampilan hasil pengukuran 3 yang diterima secara serial dalam bentuk plot grafik dan tabulasi data secara *realtime*

Dari plot grafik diatas diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 176,917 Volt sedangkan untuk nilai arus maksimumnya dihasilkan sebesar 0,406 Ampere

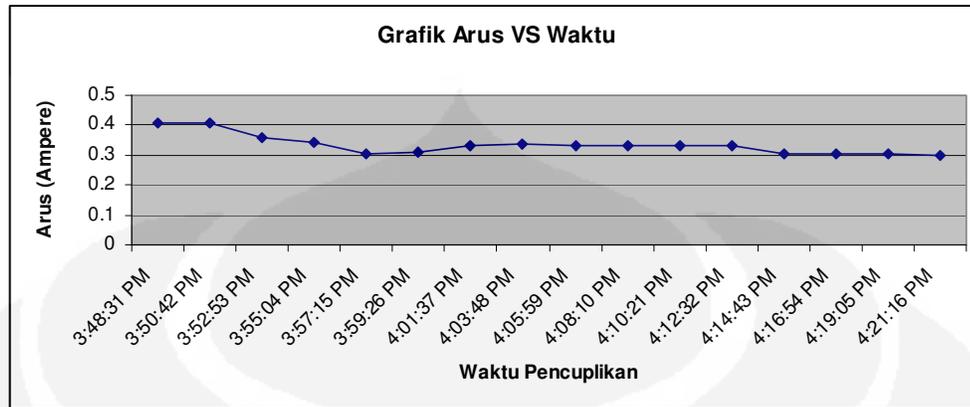
Berikut data keseluruhan yang terrekam pada database yang diterima dari modul *fotovoltaik* selama proses pengambilan data

Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran 3 Energi Listrik Fotovoltaik

Record_Data				
Tanggal	Waktu	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
6/23/2009	3:48:31 PM	176.917	0.406	72
6/23/2009	3:50:42 PM	164.855	0.406	67
6/23/2009	3:52:53 PM	154.133	0.356	55
6/23/2009	3:55:04 PM	140.730	0.344	48
6/23/2009	3:57:15 PM	134.028	0.306	41
6/23/2009	3:59:26 PM	140.730	0.311	44
6/23/2009	4:01:37 PM	148.771	0.333	50
6/23/2009	4:03:48 PM	142.070	0.339	48
6/23/2009	4:05:59 PM	136.709	0.333	46
6/23/2009	4:08:10 PM	138.049	0.333	46
6/23/2009	4:10:21 PM	138.049	0.333	46
6/23/2009	4:12:32 PM	135.369	0.333	45
6/23/2009	4:14:43 PM	125.987	0.306	38
6/23/2009	4:16:54 PM	123.306	0.306	38
6/23/2009	4:19:05 PM	121.966	0.306	37
6/23/2009	4:21:16 PM	108.563	0.300	33



Gambar 4.12 Grafik Perubahan Nilai Tegangan Terhadap Waktu pada Pengukuran 3



Gambar 4.13 Grafik Perubahan Nilai Arus Terhadap Waktu pada Pengukuran 3

4.2.2 Pengolahan Data dan Analisa Grafik Hasil Pengujian

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran monitoring *fotovoltaik* secara *realtime* dapat diolah untuk mendapatkan beberapa parameter karakteristik energi listrik dari modul *fotovoltaik* dari alat ukur yang dibuat secara *digital* berbasis *mikrokontroller* berupa nilai tegangan, arus dan daya.

Dari data pengukuran dapat diambil hubungan antara perubahan nilai tegangan yang dihasilkan terhadap waktu juga nilai perubahan arus yang dihasilkan dari rangkaian modul *fotovoltaik* terhadap waktu. Hal ini ditandai oleh perubahan grafik yang didapat baik dari program pengolahan data *Microsoft Office Excel* maupun dengan *software fotovoltaik* yang telah dibuat dengan *Borland Delphi*. Adapun data yang diambil sebanyak 3 kali dengan beban yang berbeda sehingga dapat diketahui karakteristik dari *fotovoltaik* terhadap perubahan waktu.

Setelah diperoleh serangkaian tabel data serta grafik yang dihasilkan dari sistem yang telah dibuat untuk *monitoring fotovoltaik* secara *realtime* baik secara *hardware* maupun *software*, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa keseluruhan data dan grafik tersebut

Analisa hasil pengujian dikelompokkan sesuai dengan target dan tujuan pengujian yang telah dijelaskan di bagian awal bab ini.

- Menentukan Karakteristik Fotovoltaik

Dari data yang didapat pada tabel *Data Hasil Pengukuran Energi Listrik pada Modul Fotovoltaik*, menunjukkan bahwa saat *monitoring* tegangan yang dihasilkan dari *fotovoltaik* cukup stabil dikisaran nilai yang konstan (mengalami stagnasi). Sementara itu arus yang dihasilkan *fotovoltaik* pada kondisi awal *fluktuatif* tetapi semakin intensitas matahari yang diterima terhadap modul *fotovoltaik* melemah cenderung mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan dasar teori yang menjelaskan tentang karakteristik *fotovoltaik*.^[4]

Grafik hubungan arus terhadap tegangan menunjukkan bahwa karakteristik *fotovoltaik* yang digunakan masih berada dalam keadaan ideal sesuai dengan *datasheet* yang ada. Karakteristik arus terhadap tegangan untuk radiasi yang berbeda-beda yang diterima oleh fotovoltaik dapat terlihat pada grafik, dimana dapat dilihat bahwa tegangan open circuit yang terjadi (V_{oc}) cenderung konstan, tetapi arus hubung singkat (I_{sc}) akan berubah-ubah sesuai dengan besarnya beban yang dipakai dan radiasi matahari yang mengenai modul *fotovoltaik*. Pada tabel hasil *monitoring* dapat terlihat bahwa karakteristik daya terhadap intensitas yang dihasilkan sama dengan karakteristik arus terhadap intensitas matahari yang dihasilkan, sehingga perubahannya linier, dimana semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang diterima fotovoltaik maka semakin besar pula daya output yang dihasilkan oleh *fotovoltaik*. Penurunan tegangan sangat dipengaruhi oleh perubahan temperatur di sekitar modul *fotovoltaik* tetapi sebaliknya perubahan temperatur tidak terlalu mempengaruhi arus yang dihasilkan dari modul *fotovoltaik*.

- Kinerja Sistem Pada Saat Monitoring

Pada pengujian sistem yang dibuat untuk *monitoring fotovoltaik* ini memberikan kemudahan dalam pengambilan data maupun pengolahannya dari hasil pengukuran seperti tegangan, arus, dan daya output yang dihasilkan dari modul *fotovoltaik* dengan harapan mendapatkan ketelitian dalam pengukuran *fotovoltaik* itu sendiri. Dengan menggunakan mikrokontroler AVR, dengan ADC data 10 bit menghasilkan pembacaannya cukup baik karena errornya cukup kecil disebabkan clock yang dipakai dibagi untuk 10 bit datanya. Sensor arus DCS-01

dapat mengukur arus dengan sangat tepat. Di samping itu sensor ini dapat dimanfaatkan dalam banyak keperluan, karena dapat direspon dalam *range* frekuensi yang cukup besar. Semuanya tergantung dari kualitas penguatan sinyalnya.

Adanya *software fotovoltaik* yang dibuat juga meminimalisir kesalahan dalam proses perhitungan atau pengolahan data seperti yang terlihat pada tabel hasil pengukuran secara otomatis terrekam pada *database* sehingga bisa diketahui nilai tegangan dan arus maksimum selama sistem berkerja. Tampilan di komputer dibuat dengan program delphi dan komunikasinya dengan sistem minimum AVR menggunakan komponen *comport* yang merupakan komponen tambahan untuk komunikasi serial dalam *borland delphi*.

Dari data yang diperoleh berdasarkan hasil percobaan dapat diketahui sensor arus bekerja dengan mendeteksi tegangan output maksimal dari *fotovoltaik* sebesar 0.894 *Ampere*. Sensor arus ini dapat mendeteksi arus dari kisaran 0 – 20 *Ampere*. Sedangkan untuk penerapan pada sistem yang dibuat disetting sampai 3.1 *Ampere* untuk level TTL maksimumnya. Hal ini dikarenakan pada skala tersebut merupakan arus maksimum yang dihasilkan dari modul *fotovoltaik*.

Berikut merupakan parameter yang dibandingkan hasil pencuplikan data dari energi listrik yang dihasilkan dari rangkaian modul *fotovoltaik* yang diambil dengan waktu yang berbeda.

Tabel 4.6 Tabel Perbandingan Tegangan, Arus, dan Daya Maksimum

JAM	BEBAN	TEGANGAN MAKSIMUM	ARUS MAKSIMUM	DAYA MAKSIMUM	KET
12.12 - 13.18 WIB	220 Ω	202,79 Volt	0.894 Ampere	180 Watt	Cerah
14.47 – 15.41 WIB	220 Ω	135,369 Volt	0,578 Ampere	69 Watt	Mendung
15.48 – 16.21 WIB	440 Ω	176,917 Volt	0,406 Ampere	72 Watt	Cerah

Dari tabel perbandingan data diatas dapat dilihat bahwa hasil rancang bangun *sistem monitoring* energi listrik yang dihasilkan dari rangkaian modul *fotovoltaik* yang dibuat menunjukkan data hasil pengukuran seperti tegangan, dan dengan tingkat keakurasian pengukuran yang sangat teliti sehingga daya listrik yang dihasilkan cukup besar yang memadai untuk penerapan aplikasinya. Untuk

memperoleh daya listrik yang dihasilkan bisa optimal , maka pergerakan fotovoltaik harus mengikuti posisi dari arah matahari sehingga radiasi yang diserap bisa maksimal.



BAB V

KESIMPULAN

Dari seluruh tahapan yang sudah dilaksanakan pada penyusunan proyek tugas akhir ini, mulai dari studi literatur, perancangan dan pembuatan hardware maupun software sampai pada pengujian sistem keseluruhan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring secara realtime pada fotovoltaiik dalam bentuk hardware dan software bertujuan untuk memberikan kemudahan pengumpulan dan pengolahan data energi listrik yang dihasilkan dari rangkaian modul fotovoltaiik secara digital dengan memiliki keakurasian yang tinggi dalam ketelitian pengukuran mengenai informasi berupa tegangan dan arus dari fotovoltaiik itu sendiri, sehingga daya output yang dihasilkan bisa langsung diketahui untuk penerapan aplikasi selanjutnya.
2. Untuk rangkaian Op-Amp pada sistem monitoring ini berfungsi sebagai pelemah tegangan output dari photovoltaiik untuk mengukur tegangan terkondisi (voltage conditioning) dari keluaran Op-Amp sebagai level TTL untuk keluaran sekitar 5 volt pada tegangan output maksimum dari photovoltaiik agar bisa dibaca oleh ADC, kemudian dibuffer pada mikrokontroller sebelum ditampilkan secara realtime pada PC dengan software yang telah dibuat menggunakan borland delphi. Adapun pelemahan yang dihasilkan sebesar ± 60 kali dari tegangan maksimum photovoltaiik yang disusun secara seri sebanyak 15 buah.
3. Dari pengujian rangkaian op-amp dapat diketahui bahwa nilai pengukuran selalu lebih besar dari teori tetapi tidak mengurangi ketelitian dalam pengukuran tegangan dari *fotovoltaiik*. Rangkaian Op-Amp ini berfungsi sebagai sensor tegangan yang dihasilkan dari *fotovoltaiik* dengan memiliki keakurasian sebesar 97,34 %.
4. Pada DCS-01 sebagai sensor arus memiliki keakurasian yang lebih baik. Dimana sensor ini dapat mendeteksi arus sampai 20 Ampere. Tegangan

terbesar yang dihasilkan dari sensor arus tersebut didapatkan saat tegangan yang dihasilkan dari modul *fotovoltaik* bernilai maksimum. Tegangan maksimum yang dihasilkan oleh sensor arus DCS-01 sebagai salah satu rangkaian monitoring untuk mendeteksi arus dari rangkaian modul photovoltaik dengan beban 220Ω ini sebesar 2,58 Volt, sehingga dari grafik keluaran terhadap arus yang disensor menghasilkan arus sebesar 0,8 Ampere.

5. Prinsip kerja dari bagian sistem penerima yaitu, mengambil dan mengolah data yang dikirim dari bagian sistem pengirim secara serial ke PC dengan menggunakan perangkat lunak akuisisi data berbasis *Borland Delphi* yang sudah mempunyai fitur GUI sebagai pengumpul sekaligus pengolah data yang terrecord pada database yang telah dibuffer pada mikrokontroler untuk kemudian di plot ke dalam grafik sehingga bisa diketahui nilai dari tegangan dan arus maksimum yang dihasilkan selama sistem bekerja.

DAFTAR ACUAN

- [1] Sertu Alim Senina Sinamo, Mengenal Solar Cell Sebagai Energi Alternatif, Diakses tanggal 14 Januari 2009
<http://buletinlitbang.dephan.go.id/index>

- [2] Didik Wiyono,ST, “Panduan Praktis Mikrokontroller AVR” , Innovative Electronics, Surabaya 2007

- [3] Muhal, Instalasi Komponen Port Di Delphi, Diakses tanggal 24 Agustus 2008
[Http://elektro.uny.net/muhal](http://elektro.uny.net/muhal) <http://muhal.wordpress.com>

- [4] Twidell, John W and Weir, Antony D. 1986. *Renewable Energy Resources* London: E & f.n Spon LTD.

DAFTAR PUSTAKA

Considine, Douglas Maxwell. “*Energy Technology Handbook*”, Mc Graw-Hill, California, 1977.

Sukusno, Paulus dan Tatun Hayatun, “*Job Sheet Laboratorium Sistem Energi Fotovoltaik dan Pemanas Air Tenaga Surya*”, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 2001

Hermansyah, “Peningkatan Perolehan Energi Listrik Sel Surya Dengan Pengaturan Kemiringan Sudut Menggunakan Mikrokontroler Seri AVR”, Diakses tanggal 19 Januari 2009
<http://hermansyah21.blogspot.com/2007/10/peningkatan-perolehan-energi-listrik.html>

LISTING PROGRAM

```
===== PROGRAM MONITORING FOTOVOLTAIK =====
'Elsa Alfiansyah (0706199275)
'Tanggal 18 Mei 2009
'Comment : SKRIPSI
=====
' Inisialisasi Mikrokontroler AVR 8535
$regfile = "m8535.dat"
$crystal = 4000000
$baud = 9600
$hwstack = 32           ' default use 32 for the hardware stack
$swstack = 10          ' default use 10 for the SW stack
$framesize = 40
=====
'Inisialisai Variabel Yang Digunakan Pada Mikro
'Inisialisasi ADC
=====
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Internal
Dim Rawdata(2) As Integer , I As Byte
Dim Dataadc(2) As Single
Dim Dataadcstring(2) As String * 10
Declare Sub Getvalue
Declare Sub Senddatatopc
Start Adc
=====
'Konfigurasi untuk proses pengiriman data
=====
Config Timer0 = Timer , Prescale = 1024
On Timer0 Senddatatopc
Dim Detik As Integer
Dim A As Byte
Config Portd = Output
=====
' Inisialisasi LCD pada port 0 dengan lcd = 16 * 2
=====
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.4 , Db5 = Portc.5 , Db6 = Portc.6 , Db7 = Portc.7 , E = Portc.1 ,
Rs = Portc.3
Config Lcd = 16 * 2

Main:
    Enable Interrupts
    Enable Timer0
    Start Timer0

Cls
Lcd "MONITORING PENGUKURAN ENERGI LISTRIK"
Waitms 500

For A = 1 To 24
    Shiftlcd Left
    Waitms 250
Next
```

```
Cls
Lcd " PEMBIMBING:"
Waitms 250
Lowerline
Lcd "DR.Ir.Feri Yusivar,M.Eng"
Waitms 250
```

```
For A = 1 To 9
Shiftlcd Left
Waitms 300
Next
```

```
Cls
Lcd " Created By:"
Waitms 250
Lowerline
Lcd "Elsa Alfiansyah(0706199275)"
Waitms 250
```

```
For A = 1 To 11
Shiftlcd Left
Waitms 300
Next
```

```
Cls
Lcd " Teknik-Elektro "
Waitms 250
Lowerline
Lcd " Univ.Indonesia "
Waitms 250
```

```
For A = 1 To 2
Shiftlcd Left
Waitms 500
Next
Cls
```

```
'=====
'PROGRAM UTAMA
'=====
```

```
Cursor Off Noblink
```

```
Do
  Gosub Getvalue
  Wait 2
Loop
```

```
End
```

```
'=====
' Subroutine untuk mengambil data adc
'=====
```

```
Getvalue:
```

```
Do
  For I = 1 To 2 Step 1
    Rawdata(i) = Getadc(i)
  Next I
```

```
Dataadc(1) = Rawdata(1) * 3.1
Dataadc(1) = Dataadc(1) / 10
Dataadc(1) = Dataadc(1) * 2.478 "Faktor pengali untuk kalibrasi tegangan
```

```
Dataadc(2) = Rawdata(2) - 512
Dataadc(2) = Dataadc(2) / 102.4
```

```
Dataadcstring(1) = Fusing(dataadc(1), "#.###")
Dataadcstring(2) = Fusing(dataadc(2), "#.###")
```

```
Cls
Locate 1, 1
Lcd "Voltage:" ; Dataadcstring(1)
Locate 1, 16
Lcd "V"
Locate 2, 1
Lcd "Current:" ; Dataadcstring(2)
Locate 2, 16
Lcd "A"
Wait 2
```

```
'=====
'LAMPU LED UNTUK INDIKATOR TEGANGAN
'=====
```

```
If Dataadc(1) => 0 And Dataadc(1) <= 100 Then
  Gosub Minimum
Elseif Dataadc(1) => 101 And Dataadc(1) <= 200 Then
  Gosub Sedang
Elseif Dataadc(1) => 201 And Dataadc(1) <= 300 Then
  Gosub Maksimum
Elseif Dataadc(1) => 301 Then
  Gosub Veryhigh
End If
Waitms 10
Loop
Return
End
```

```
Minimum:
Portd = &B10100000
Waitms 100
Return
```

```
Sedang:
Portd = &B00001010
Waitms 100
Return
```

```
Maksimum:
Portd = &B01010000
Waitms 100
Return
```

```
Veryhigh:
Portd = &B00000101
```

```
Waitms 100  
Return
```

```
'=====
```

```
' Subroutine untuk mengirim data ke PC
```

```
'=====
```

```
Senddatatopc:  
  Incr Detik
```

```
  If Detik = 4615 Then  
    Disable Interrupts  
    Disable Timer0  
    Stop Timer0
```

```
    Print "1:" ; Rawdata(1) ; "*" ;  
    Wait 2  
    Print "2:" ; Dataadcstring(1) ; "*" ;  
    Wait 2  
    Print "3:" ; Rawdata(2) ; "*" ;  
    Wait 2  
    Print "4:" ; Dataadcstring(2) ; "*" ;  
    Wait 2  
    Print "5:" ; "*" ;  
    Wait 2
```

```
  Enable Interrupts  
  Enable Timer0  
  Start Timer0  
  Detik = 0  
  End If
```

```
  Return
```

```
End
```

LAMPIRAN

- Lampiran A Gambar Konstruksi Panel Fotovoltaik
- Lampiran B Gambar Power Supply, Sensor Arus, dan Op-Amp
- Lampiran C Gambar Minimum System AVR dan Display LCD
- Lampiran D Gambar Kontrol Box Sistem Monitoring

LAMPIRAN A

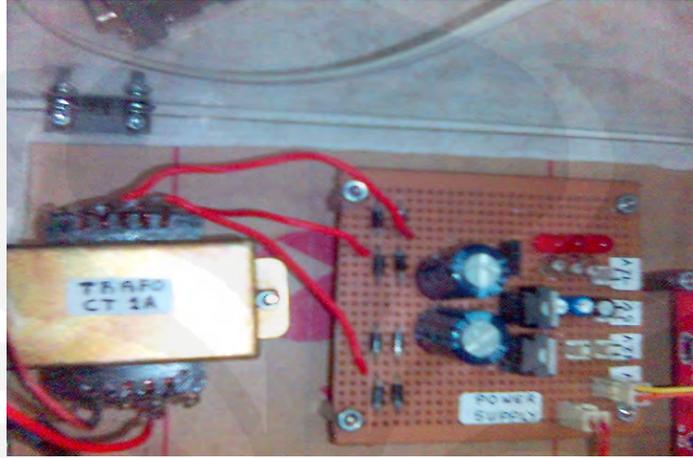


Gambar A.1. Tampak Depan Konstruksi Panel Fotovoltaik



Gambar A.2. Tampak Belakang Konstruksi Panel Fotovoltaik

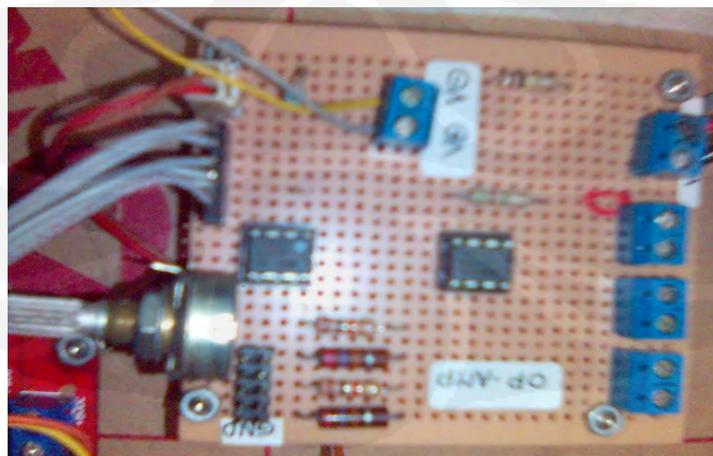
LAMPIRAN B



Gambar B.1. Power Supply 12 V dan 5 V



Gambar B.2. Sensor Arus DCS-01



Gambar B.3. Rangkaian Op-Amp LM 741

LAMPIRAN C

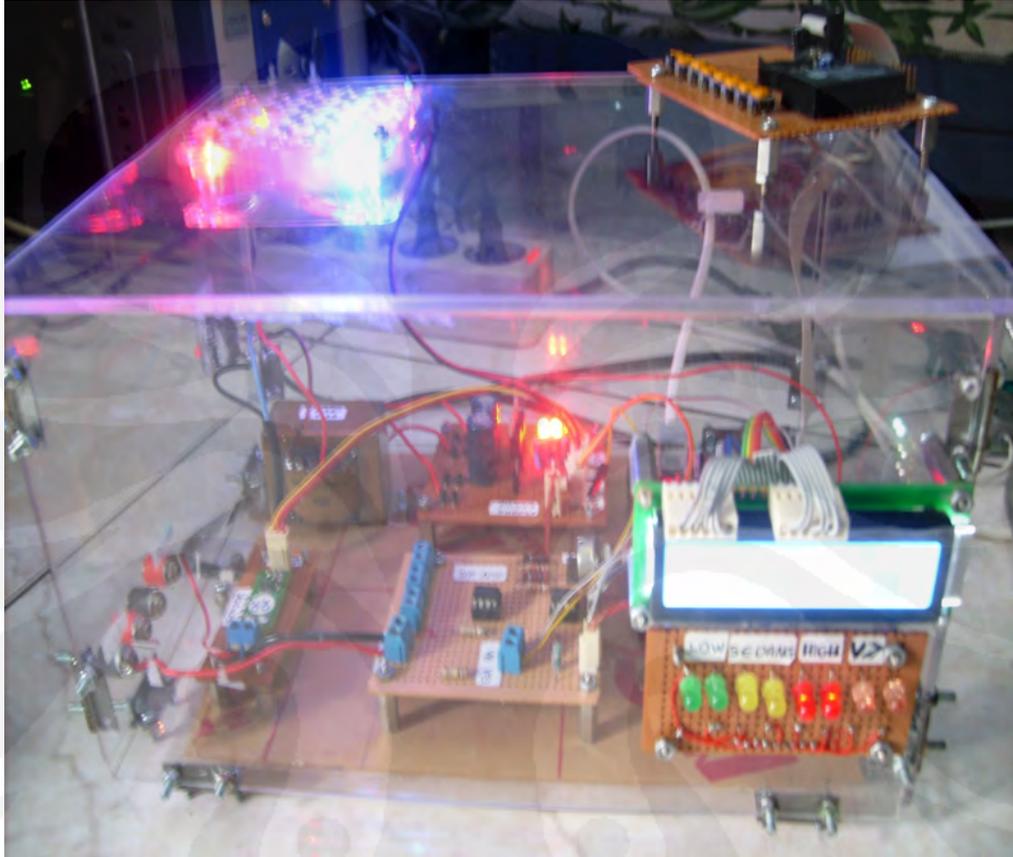


Gambar C.1. Minimum System Mikrokontroller AVR



Gambar C.2. Display LCD Monitoring Fotovoltaik

LAMPIRAN D



Gambar Kontrol Box Sistem Monitoring Fotovoltaik