



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN *CHARGING CURRENT MONITOR* BERBASIS  
MIKROKONTROLER ATMEGA 8535 DAN PERANGKAT  
KARAKTERISASI SEL SURYA**

**SKRIPSI**

**ABDULLAH UMAR**

**0706267452**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JULI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN *CHARGING CURRENT MONITOR* BERBASIS  
MIKROKONTROLER ATMEGA 8535 DAN PERANGKAT  
KARAKTERISASI SEL SURYA**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**ABDULLAH UMAR**

**0706267452**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JULI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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



Nama : Abdullah Umar  
NPM : 0706267452  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 15 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Abdullah Umar  
NPM : 0706267452  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Rancang Bangun *Charging Current Monitor*  
Berdasarkan Mikrokontroler ATmega 8535  
Dan Perangkat Karakterisasi Sel Surya.

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc., Ph.D. (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Harry Sudibyo DEA (.....)

Penguji : Dr. Ir. Agus Santoso Tamsir, M.T. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dan terima kasih penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala karena hanya atas limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis sangat menyadari bahwa tanpa bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak, mulai dari masa perkuliahan hingga penulisan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin sekali mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan ide, waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan alat serta penulisan skripsi ini.
2. Kedua orang tua, yaitu Bapak yang telah tiada dan Ibu yang masih setia mendampingi dan menemani, yang telah memberikan bantuan dukungan do'a, material, dan moral sejak dikandung sampai dengan saat ini.
3. Kakak-kakak penulis serta para ponakan yang telah menjadi penyemangat.
4. Teman-teman elektronika 2007, khususnya handy, rifki, irwan, bayu dan oka.
5. Teman satu bimbingan skripsi yaitu, danang, taufik, dan novri; serta
6. Teman-teman elektro 2007, selaku teman seperjuangan kuliah baik suka maupun duka selama 4 tahun ini, khususnya chandra gunawan, difi, adhul, edy, dayat, ade yur, chatra, seno, riko-puspa-adit (aslab elektronika), dan masih banyak lagi yang maaf tidak dapat disebutkan satu-persatu namanya.
7. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah Subhanahu Wa Ta'ala berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi ke depan.

Depok, Juni 2011

Penulis

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

---

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

Nama : Abdullah Umar  
NPM : 0706267452  
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 Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**RANCANG BANGUN *CHARGING CURRENT MONITOR* BERBASIS  
MIKROKONTROLER ATMEGA 8535 DAN PERANGKAT  
KARAKTERISASI SEL SURYA**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 15 Juni 2011

Yang menyatakan



(Abdullah Umar)

## ABSTRAK

Nama : Abdullah Umar  
Program studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang Bangun *Charging Current Monitor* Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535 dan Perangkat Karakterisasi Sel Surya.

Beberapa masalah timbul saat sel surya langsung dihubungkan dengan baterai untuk melakukan proses pengisian. Hal ini disebabkan sel surya menghasilkan keluaran yang fluktuatif bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterimanya. Saat mencapai maksimum, arus keluaran sel surya dapat melebihi arus pengisian yang diperbolehkan sehingga dapat memperpendek usia (*lifetime*) baterai. Begitu juga ketika turun, arus pengisian yang dihasilkan akan sangat kecil sehingga pengisian dapat berlangsung sangat lama atau bahkan pengisian tidak dapat berlangsung.

Skripsi ini membahas perancangan sebuah rangkaian *charging current monitor* yang dapat digunakan sebagai solusi permasalahan di atas. Fungsinya adalah untuk mendeteksi arus keluaran sel surya agar arus listrik pengisian baterai dapat termonitor seiring berubahnya intensitas cahaya matahari. Alat ini menggunakan prinsip *voltage subtraction* dan *inverting amplifier* yang dilengkapi dengan Mikrokontroler ATmega 8535. Di samping itu, juga akan dibahas mengenai perancangan perangkat karakterisasi sel surya untuk mengetahui kemampuan sel surya yang digunakan.

Kata kunci: sel surya, arus pengisian, *charging current monitor*, mikrokontroler ATmega 8535, perangkat karakterisasi sel surya

## ABSTRACT

Name : Abdullah Umar  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Design of Charging Current Monitor Based On  
Microcontroller ATmega 8535 and Solar Cell Characterization  
Circuit.

Some problems occur when the solar cell is connected directly to a battery for charging process. They are caused by the output of solar cell depend on intensity of sunlight. When the intensity reach the maximum value, the current of charging will exceed the permitted current. Therefore, it will shortened the lifetime of the battery. Beside that, when the intensity is dropped, the charging process need a long time, moreover it will not performed.

This paper investigates the design of charging current monitor that is used as the solution of the problem mentioned above. The system is used for detecting the output current from the solar cells as a charging current monitor following the fluctuation of sunlight intensity. The system use the principal of voltage subtraction and inverting amplifier supported by ATmega 8535 Microcontroller. This paper also investigates about solar cells characterization device which is used to measure the performance of the solar cells.

Keyword: solar cells, charging current, charging current monitor, ATmega 8535 microcontroller, solar cells characterization device

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2 LANDASAN TEORI PERANCANGAN SISTEM .....	5
2.1 Rangkaian <i>Charging Current Monitor</i> .....	5
2.1.1 Konsep Dasar .....	6
2.1.1.1 Sel Surya dan Prinsip Kerjanya .....	6
2.1.1.2 Karakteristik Sel Surya .....	9
2.1.1.3 Kurva Karakteristik I-V Sel Surya .....	11
2.1.1.4 Efisiensi Sel Surya .....	12
2.1.1.5 Resistor Pengisian .....	13
2.1.1.6 Baterai (Akumulator) .....	13
2.1.1.7 Operational Amplifier .....	15
2.1.1.8 Op-Amp sebagai Voltage Subtraction .....	17
2.1.1.9 Op-Amp sebagai Inverting Amplifier .....	19
2.1.1.10 Mikrokontroler ATmega 8535 .....	20
2.1.1.11 Personal Computer .....	24

2.1.2 Peralatan Pendukung .....	24
2.1.3 Gambar Rangkaian .....	24
2.1.4 Cara Kerja Rangkaian.....	25
2.2 Perangkat Karakterisasi Sel Surya .....	26
2.2.1 Peralatan Pendukung .....	27
2.2.2 Gambar Rangkaian .....	28
2.2.3 Cara Kerja Rangkaian.....	28
BAB 3 SIMULASI DAN ANALISIS PERANCANGAN.....	30
3.1 Rangkaian Detektor Arus .....	30
3.1.1 Hasil Simulasi .....	30
3.1.2 Analisis Hasil Simulasi.....	32
3.2 Mikrokontroler ATmega 8535 (sebagai ADC).....	34
3.2.1 Hasil Simulasi .....	34
3.2.2 Analisis Hasil Simulasi.....	35
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS PERANCANGAN .....	37
4.1 Pengujian <i>Charging Current Monitor</i> .....	37
4.1.1 Pengujian Detektor Arus.....	37
4.1.2 Analisis Pengujian Detektor Arus .....	39
4.1.3 Pengujian Mikrokontroler ATmega 8535.....	46
4.1.4 Analisis Pengujian Mikrokontroler ATmega 8535 .....	47
4.2 Pengujian Dan Analisis Perangkat Karakterisasi Sel Surya.....	48
4.2.1 Analisis Pengujian Perangkat Karakterisasi Tanpa Beban Baterai ...	49
BAB 5 KESIMPULAN.....	54
DAFTAR ACUAN .....	55
DAFTAR PUSTAKA .....	56
LAMPIRAN .....	57

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok Diagram Rangkaian (Sistem).....	6
Gambar 2. 2 Struktur Penyusun Sel Surya [6] .....	7
Gambar 2.3 Prinsip Kerja Sederhana Sel Surya [7] .....	9
Gambar 2.4 Kurva karakteristik I-V Sel Surya [2].....	12
Gambar 2.5 Basic Op-Amp [4] .....	15
Gambar 2.6 Simbol Diagram Skematik Op-Amp [8] .....	16
Gambar 2.7 Rangkaian Op-Amp sebagai Voltage Subtraction [9] .....	17
Gambar 2.8 Konfigurasi LM 358 (Tampak Atas) [10].....	19
Gambar 2.9 Rangkaian Op-Amp sebagai Inverting Amplifier [9].....	19
Gambar 2.10 Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega 8535 [11] .....	23
Gambar 2.11 Skema Rangkaian dengan Software Multisim 10.....	24
Gambar 2.12 Skema Rangkaian Implementasi PCB menggunakan.....	25
Gambar 2.13 Blok Diagram Rangkaian (Tanpa Beban Baterai) .....	27
Gambar 2.14 Skema Rangkaian Karakterisasi Sel Surya .....	28
Gambar 3.1 Gambar Rangkaian Charging Current Detector .....	30
Gambar 3.2 Grafik Perbandingan Tegangan Hasil Simulasi (Gain=0,5) .....	31
Gambar 3.3 Grafik Perbandingan Arus Hasil Simulasi (Gain=0,5) .....	31
Gambar 3.4 Grafik Perbandingan Tegangan Hasil Simulasi (Gain=9,09) .....	32
Gambar 3.5 Grafik Perbandingan Arus Hasil Simulasi (Gain=9,09) .....	32
Gambar 3.6 Grafik Perbandingan Tegangan Simulasi Mikrokontroler (Gain=0,5) .....	34
Gambar 3.7 Grafik Perbandingan Arus Simulasi Mikrokontroler (Gain=0,5).....	35
Gambar 3.8 Grafik Perbandingan Tegangan Simulasi Mikrokontroler (Gain=9,09) .....	36
Gambar 3.9 Grafik Perbandingan Arus Simulasi Mikrokontroler (Gain=9,09)....	36
Gambar 4.1 Blok diagram pengujian sistem .....	38
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Vres, Vdet-hitung, dan Vdet uji coba 1 .....	41
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Vres, Vdet-hitung, dan Vdet uji coba 2 .....	42
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Arus terukur vs Arus terdeteksi uji coba 1.....	42

Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Arus terukur vs Arus terdeteksi uji coba 2.....	42
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan $V_{res}$ , $V_{det}$ -hitung, dan $V_{det}$ uji coba 1 (Gain=9,09) .....	44
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan $V_{res}$ , $V_{det}$ -hitung, dan $V_{det}$ uji coba 2 (Gain=9,09) .....	45
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Arus terukur vs Arus terdeteksi uji coba 1 (Gain=9,09) .....	45
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Arus terukur vs Arus terdeteksi uji coba2 (Gain=9,09) .....	45
Gambar 4.10 Blok diagram pengujian sistem mikrokontroler .....	46
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Tegangan Pengujian Mikrokontroler .....	47
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Arus Pengujian Mikrokontroler .....	48
Gambar 4.13 Grafik Pengujian Karakteristik I-V Sel Surya.....	50
Gambar 4.14 Grafik Pengujian Karakteristik I-Flux Sel Surya .....	52
Gambar 4.15 Grafik Pengujian Karakteristik I-R Sel Surya.....	53

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Listrik merupakan komponen yang sangat penting yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia di dunia saat ini. Tanpa listrik mungkin kita masih menggunakan api sebagai sumber penerangan dan tidak dapat menikmati berbagai peralatan elektronik yang dapat memudahkan pekerjaan kita. Sehingga listrik dapat dikatakan sebagai salah satu kebutuhan primer masyarakat hingga saat ini. Kebutuhan akan penyediaan energi listrik sangat berhubungan dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi. Semakin pesatnya pertumbuhan penduduk, maka yang ingin menikmati listrik akan semakin meningkat. Begitu juga dengan semakin meningkatnya perkembangan teknologi maka kebutuhan akan listrik untuk menjalankan peralatan atau mesin tersebut juga akan semakin meningkat.

Untuk memenuhi kebutuhan listrik ini, maka yang telah dilakukan adalah dengan membangun pembangkit-pembangkit energi listrik, yang sebagian besar di dalam pembangkit listrik ini sesungguhnya dilakukan proses konversi energi primer (bahan bakar, potensi tenaga air, dan tenaga angin) menjadi energi mekanik penggerak generator yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator. Namun, proses konversi ini masih menimbulkan beberapa masalah terutama berkaitan dengan masalah lingkungan yaitu limbah (berupa abu batubara dan asap yang mengandung gas SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, dan NO<sub>X</sub> atau bisa juga berupa limbah minyak pelumas) dan kebisingan [1].

Di samping itu, listrik yang ada sampai saat ini sebagian besar masih merupakan listrik yang mahal dan sulit dijangkau oleh seluruh masyarakat. Hal ini terjadi akibat biaya untuk proses pembangkitan listrik masih tergolong cukup besar, khususnya biaya bahan bakar [1] yang semakin lama harga dari bahan bakar minyak di Indonesia semakin naik.

Oleh sebab itu, untuk mengatasi berbagai masalah di atas dibutuhkan beberapa alternatif sumber energi yang dapat dijadikan sebagai pembangkit energi listrik yang mempunyai sifat ramah terhadap lingkungan, tidak membuat kebisingan,

serta hemat biaya. Energi surya (matahari) merupakan salah satu alternatif yang dapat dijadikan sebagai pembangkit energi listrik. Hal ini ditunjang karena letak geografis Indonesia berada di sekitar khatulistiwa yang memungkinkan potensi energi matahari dapat selalu dimanfaatkan karena bersinar sepanjang tahun.

Untuk memanfaatkan energi sinar matahari tersebut digunakanlah komponen bernama sel surya (*solar cell* atau *photovoltaic*). Sel surya merupakan sebuah piranti yang mempunyai kemampuan mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik, sehingga output dari sel surya dapat secara langsung menjadi energi listrik. Energi yang dibangkitkan sel surya merupakan energi listrik arus searah atau *Direct Current* (DC).

Sel surya menghasilkan keluaran (tegangan maupun arus) dengan nilai yang berubah-ubah sesuai dengan intensitas cahaya matahari yang jatuh pada permukaannya. Sel surya akan mencapai tegangan keluaran maksimum ketika intensitas cahaya yang jatuh mencapai maksimum sedangkan tegangan keluaran akan turun seiring dengan turunnya intensitas cahaya matahari yang jatuh pada permukaan sel surya. Perubahan nilai intensitas ini akan menghambat sistem pengisian baterai (*charging*) bila sel surya tersebut langsung dihubungkan dengan baterai. Saat intensitas cahaya matahari mencapai maksimum, arus pengisian menuju baterai dapat melebihi arus pengisian yang dibutuhkan sehingga hal ini dapat memperpendek usia pemakaian baterai itu sendiri. Begitu juga ketika intensitas cahaya matahari turun, arus pengisian yang dihasilkan akan sangat kecil sehingga pengisian dapat berlangsung sangat lama atau bahkan pengisian tidak dapat berlangsung.

Dengan begitu, dibutuhkanlah suatu alat atau rangkaian yang dapat digunakan sebagai pendeteksi sekaligus memonitor arus keluaran sel surya yang langsung menuju baterai. Biasanya, pemantauan *charging* baterai hanya pada arus pengisian saja yang digunakan untuk memutuskan aliran arus menuju baterai [12]. Namun, hal ini dimaksudkan agar arus keluaran sel surya dapat terus termonitor ketika proses pengisian (*charging*) berlangsung dan untuk mendigitalkan arus pengisian yang selanjutnya dapat dilakukan komputerisasi *management* energi dan pembatasan arus secara digital. Di samping itu, dibutuhkan pula suatu perangkat yang dapat mengkarakterisasi sel surya. Hal ini dilakukan agar sebelum

digunakan di dalam suatu sistem, sel surya tersebut dapat diketahui kinerja atau performanya secara umum. Untuk itulah maka penulis bermaksud untuk merealisasikan suatu alat pemonitor arus untuk pengisian dan perangkat karakterisasi sel surya dengan mengambil judul **“Rancang Bangun *Charging Current Monitor* Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535 dan Perangkat Karakterisasi Sel Surya”**. Sehingga dengan adanya alat ini, usia pemakaian baterai yang digunakan dapat terjaga dengan baik. Alat ini juga dapat meningkatkan besarnya efisiensi sistem pengisian baterai dengan mengontrol rangkaian luar bila terdapat beberapa sistem sel surya dan beberapa sistem baterai, dengan kata lain sebagai alat untuk mengatur (*manage*) energi, serta dapat pula digunakan untuk mengkarakterisasi sel surya sebelum dihubungkan pada sistem.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini menitikberatkan pada masalah bagaimana arus keluaran sel surya untuk proses pengisian (*charging*) baterai dapat termonitor secara digital seiring dengan perubahan intensitas cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya yang suatu saat menyebabkan arus keluaran tersebut dapat melebihi arus maksimum yang diperbolehkan untuk pengisian baterai. Dengan kata lain, pemonitor ini berfungsi sebagai alat untuk menjaga usia (*lifetime*) pemakaian baterai yang digunakan sistem dan bila arus yang terdeteksi melebihi arus maksimumnya maka sistem dapat dimanipulasi sehingga hal ini dapat meningkatkan efisiensi sistem pengisian baterai dari sel surya.

Di samping itu, pada penelitian ini juga ditambahkan suatu perancangan perangkat karakterisasi sel surya yang berfungsi untuk mengetahui kinerja dari sel surya yang akan digunakan pada sistem.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu desain rangkaian elektronik yang berguna sebagai alat untuk me-monitor arus dalam proses *charging* baterai yang berasal dari sel surya seiring dengan perubahan intensitas cahaya matahari yang diterima dan juga alat untuk mengkarakterisasi sel surya.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Pada skripsi ini, penulis membatasi masalah di atas agar pembahasan lebih terfokus pada bagian bagaimana arus keluaran sel surya untuk proses *charging* baterai dapat termonitor seiring dengan perubahan intensitas cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dan penambahan suatu hasil karakterisasi sel surya yang disertai simulasi dan pengujian alat. Dalam skripsi ini tidak akan dibahas seberapa lama proses *charging* berlangsung dan bagaimana cara memanipulasi sistem bila terjadi arus pengisian yang melebihi batas maksimum yang diperbolehkan baterai. Juga tidak dibahas bagaimana pengaruh posisi sel surya diletakkan dan kondisi udara (seperti kelembaban udara, temperatur, kecepatan angin dan arah angin) terhadap efektifitas hasil keluaran sel surya.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika mengenai penulisan yang akan dibuat telah disusun dalam beberapa bab. BAB 1 PENDAHULUAN. Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan. BAB 2 LANDASAN TEORI. Pada bab ini dibahas mengenai landasan teori dari perencanaan dan perancangan sistem yang akan digunakan untuk rangkaian pendeteksi arus dan perangkat karakterisasi sel surya. BAB 3 SIMULASI. Pada bab ini akan diberikan hasil simulasi untuk rangkaian pendeteksi arus yang disertai dengan analisisnya. BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS PERANCANGAN. Pada bab ini berisi tentang hasil pengujian perancangan sistem yang disertai juga dengan analisisnya. BAB 5 KESIMPULAN. Pada bab ini dibahas tentang kesimpulan hasil perancangan sistem.

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

### PERANCANGAN SISTEM

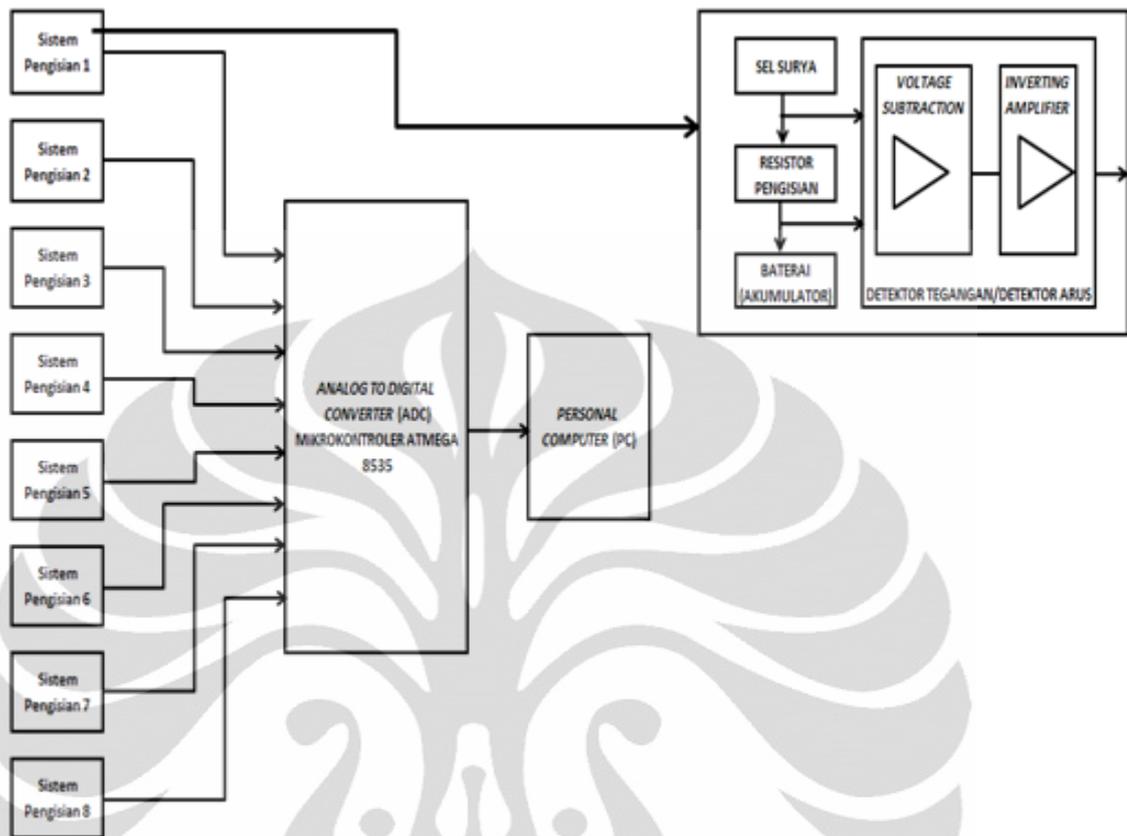
#### **2.1 Rangkaian *Charging Current Monitor***

Rangkaian *charging current monitor* merupakan sebuah perangkat yang berguna untuk melakukan pemantauan (*monitoring*) arus pengisian baterai dari sel surya. Perubahan intensitas cahaya matahari yang jatuh pada permukaan sel surya mengakibatkan terjadinya perubahan arus pengisian menuju baterai. Jadi, untuk menjaga arus pengisian tersebut tidak melebihi batas maksimum yang diperbolehkan baterai dan menjaga usia baterai itu sendiri maka dibutuhkanlah sebuah *charging current monitor*.

Rangkaian *charging current monitor* yang akan dirancang untuk kemudian diimplementasikan berbasis kepada mikrokontroler ATmega 8535. Mikrokontroler ini berguna sebagai *Analog to Digital Converter* (ADC) dan antar muka (*interface*) ke *Personal Computer* (PC). Hal ini bertujuan agar pemantauan terhadap arus pengisian dapat dilakukan secara kontinu dan pada jarak yang cukup jauh dari sistem.

Langkah pertama di dalam perencanaan untuk mendesain *charging current monitor* berbasis mikrokontroler ATmega 8535 adalah dengan membuat blok diagram dari rangkaian tersebut. Blok diagram ini telah digambarkan seperti terlihat pada Gambar 2.1 di bawah ini. Gambar 2.1 merepresentasikan delapan sistem pengisian baterai yang akan dideteksi oleh detektor tegangan yang selanjutnya akan didigitalkan menggunakan *analog to digital converter* (ADC) mikrokontroler ATmega 8535. Informasi dari mikrokontroler ini akan dikirim kepada sebuah personal computer untuk dilakukan proses pengolahan serta pembacaan sehingga perangkat ini nantinya dapat berguna sebagai pemonitor jarak jauh.

Di samping itu, rangkaian ini juga dapat disebut sebagai alat ukur. Namun, alat ini hanya mengukur besarnya tegangan listrik pada kedua ujung resistor pengisian yang kemudian akan direpresentasikan atau dikonversikan menjadi arus listrik pada sebuah *personal computer* (PC) melalui ADC mikrokontroler.



Gambar 2.1 Blok Diagram Rangkaian (Sistem)

### 2.1.1 Konsep Dasar

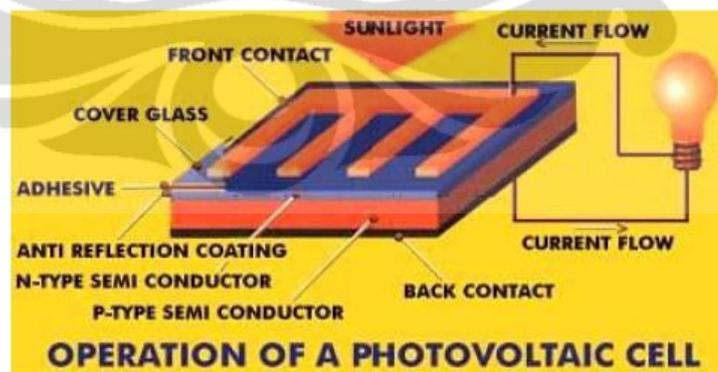
Rangkaian *charging current monitor* ini sebenarnya hanya terdiri dari tiga komponen utama, yaitu *voltage detector*, mikrokontroler, dan komputer. *Voltage detector* berfungsi sebagai pendeteksi tegangan jatuh pada resistor pengisian, di mana prinsip kerjanya dirancang menggunakan prinsip *voltage subtraction* dan *inverting amplifier*. Mikrokontroler pada sistem ini berfungsi sebagai *analog to digital converter* (ADC) agar besarnya tegangan yang terdeteksi dapat dijadikan bentuk digital agar terkirim dan terbaca oleh komputer. Di samping membaca besarnya tegangan yang terdeteksi, komputer juga mempunyai fungsi untuk mengkonversikan besarnya tegangan tersebut menjadi arus listrik yang melewati resistor pengisian.

Berikut ini merupakan penjelasan teori dasar tiap bagian pada Gambar 2.1 blok diagram di atas.

### 2.1.1.1 Sel Surya dan Prinsip Kerjanya

Sel surya, atau dikenal dengan *solar cell*, merupakan suatu divais elektronika yang terbuat dari bahan semikonduktor yang berguna untuk mengkonversikan atau mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung. Energi yang dihasilkan oleh satu sel surya sangatlah kecil, sehingga produk yang dikeluarkan oleh industri-industri sel surya biasanya lebih banyak dalam bentuk modul, yaitu gabungan dari beberapa sel surya. Dasar pembuatan sel surya mengacu kepada pemanfaatan efek *photovoltaic* yang dikemukakan pertama kali pada tahun 1839 oleh Becquerel, yang mengamati sebuah tegangan bergantung terhadap cahaya diantara elektroda-elektroda yang dicelupkan pada sebuah elektrolit [2].

Material penyusun sel surya ini terdiri dari kaca pelindung dan material *adhesive* transparan yang dapat melindungi sel surya dari keadaan lingkungan, material anti-refleksi yang berguna untuk menyerap lebih banyak cahaya serta mengurangi jumlah cahaya yang dapat dipantulkan, semikonduktor tipe-n dan tipe-p yang kemudian menjadi hubungan pn (pn-junction) untuk menghasilkan medan listrik, serta saluran awal dan akhir yang terbuat dari logam yang berguna untuk mengalirkan elektron. Struktur dari material penyusun sel surya dapat kita lihat pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2. 2 Struktur Penyusun Sel Surya [6]

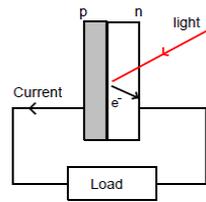
Sel surya, atau biasa dikenal juga sebagai *photovoltaic*, dapat dibuat dari berbagai jenis material semikonduktor, dimana karakteristik yang dihasilkan juga akan berbeda-beda sesuai dengan jenis material yang digunakan. Sel

surya berbahan dasar silikon adalah divais yang paling banyak kita temukan karena material silikon merupakan bahan semikonduktor yang banyak terdapat di bumi. Selain menggunakan silikon, bahan lain yang digunakan dalam pembuatan sel surya biasanya antara lain adalah *Germanium* (Ge), *Gallium Arsenide* (GaAs), *Cadmium Silicade* (CdS), *Gallium-Aluminium-Arsenide* ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ), dan lain sebagainya [2].

Pada prinsipnya, sel surya merupakan divais yang identik dengan semikonduktor dioda atau pn-junction. Hanya saja strukturnya menjadi lebih rumit akibat perancangannya yang lebih cermat untuk meningkatkan besarnya efisiensi. Proses perubahan atau konversi dari cahaya matahari menjadi listrik dapat terjadi karena bahan penyusunnya merupakan gabungan dua semikonduktor, tipe-p dan tipe-n, di mana struktur sambungan pn ini yang disebut sebagai daerah deplesi akan menghasilkan medan listrik akibat adanya perbedaan muatan positif dan negatif.

Seperti terlihat pada Gambar 2.2 di atas, semikonduktor tipe-n diletakkan pada lapisan atas dari pn-junction yang akan menghadap langsung kepada cahaya matahari, dan dibuat lebih tipis dari semikonduktor tipe-p dengan tujuan agar cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor tipe-p. Ketika photon yang dihasilkan oleh cahaya matahari jatuh ke permukaan sel surya dan diserap oleh semikonduktor, photon tersebut akan mentransfer energinya ke atom-atom yang ada pada bahan semikonduktor dan melepaskan sebagian elektron dari ikatan kovalennya seperti pada Gambar 2.3. Elektron yang terlepas ini akan menjadi bebas dan menimbulkan hole pada daerah yang ditinggalkannya yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole, yaitu terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat adanya cahaya matahari.

Elektron bebas tadi akan tertarik ke arah semikonduktor tipe-n sedangkan hole akan tertarik ke arah semikonduktor tipe-p. Pemisahan muatan elektron dan hole ini akan menghasilkan perbedaan potensial pada ujung divais, sehingga ketika sel surya ini dihubungkan dengan beban maka elektron dan hole dapat mengalir keluar yang kemudian dikenal dengan sebagai arus listrik atau arus fotovoltaiik (arahnya berlawanan dengan arah aliran elektron).



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Sederhana Sel Surya [7]

Photon sebagai bentuk dari sifat cahaya sebagai partikel mempunyai besar energi yang tergantung dengan besarnya nilai frekuensi cahaya yang dipancarkan yang dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.1):

$$E_{ph} = h \cdot \nu \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana  $E_{ph}$  merupakan besarnya energi photon (Joule),  $h$  merupakan nilai dari konstanta Plank ( $6.625 \times 10^{-34}$  Joule.Detik), dan  $\nu$  merupakan nilai dari frekuensi cahaya yang dipancarkan (Hertz). Persamaan di atas juga dapat dinyatakan bahwa untuk besar frekuensi berbeda maka panjang gelombangnya akan berbeda pula yang dinyatakan dalam Persamaan (2.2):

$$\lambda = c/\nu = h \cdot c/E_{ph} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan  $c$  merupakan kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s), sehingga hubungan antara  $E_{ph}$  dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.3) [3]:

$$\lambda = 1.24/E_{ph} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Panjang gelombang ketika energi photon sama dengan energi band gap dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.4):

$$\lambda_G = 1.24/E_G \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

### 2.1.1.2 Karakteristik Sel Surya

Karakteristik dari keluaran sel surya biasanya ditentukan oleh tiga parameter [2]. Parameter pertama dilihat dari arus ketika rangkaian terjadi hubung singkat (*short-circuit current*) yang dilambangkan dengan  $I_{sc}$ . Parameter yang kedua merupakan besarnya tegangan ketika rangkaian dalam keadaan terbuka (*open-circuit voltage*) yang dilambangkan dengan  $V_{oc}$ . Sedangkan parameter yang ketiga merupakan faktor pengisian (*Fill Factor*) dari sel surya yang biasanya dilambangkan dengan FF.

Di samping itu, hal lain yang mempunyai pengaruh terhadap keluaran sel surya adalah sudut jatuhnya sinar matahari, luas area dari sel surya, spektrum cahaya yang diterima, dan lamanya penyinaran sinar matahari.

#### Arus *Short-Circuit*

Arus *short-circuit*,  $I_{sc}$ , merupakan arus yang melalui sel surya ketika beban dihubungkan singkat atau ketika tegangan yang melalui sel surya bernilai nol. Arus ini timbul disebabkan oleh proses fotogenerasi dan adanya pengumpulan dari pembawa yang dihasilkan oleh cahaya. Arus ini juga dapat disebut juga sebagai arus maksimum yang dapat diperoleh dari sel surya [3]. Idealnya, arus ini sama dengan arus *light-generated* ( $I_L$ ) yaitu arus yang dibangkitkan oleh adanya iluminasi cahaya yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.5) sebagai berikut [2]:

$$I_L = qAG(L_e + W + L_h) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

- W = Lebar daerah deplesi
- q = Muatan elektron
- G = *Generation Ratio*
- $L_e$  = Panjang difusi elektron
- $L_h$  = Panjang difusi hole
- A = *Cross-sectional area of the diode*

### Tegangan *Open-Circuit*

Tegangan *open-circuit*,  $V_{oc}$ , merupakan tegangan maksimum yang dapat dipenuhi oleh sel surya [3] dan terjadi ketika arus bernilai nol. Besarnya tegangan *open-circuit* idealnya dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.6) berikut [2]:

$$V_{oc} = (kT/q) \cdot \ln ((I_L / I_o) + 1) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

$I_L$  = Arus yang dibangkitkan oleh cahaya

$I_o$  = Arus saturasi dioda

Besarnya tegangan *open-circuit* ini bergantung kepada besarnya arus saturasi dioda  $I_o$ .

### *Fill Factor*

*Fill Factor* atau biasa disingkat FF merupakan parameter ketiga yang menentukan daya maksimum dari sel surya dalam kaitannya dengan  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$ . FF ini merupakan rasio daya maksimum sel surya terhadap hasil kali  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$ , yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.7) berikut [2]:

$$FF = (V_{mp} \cdot I_{mp}) / (V_{oc} \cdot I_{sc}) \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

$V_{mp}$  dan  $I_{mp}$  = titik operasi tegangan dan arus ketika daya keluaran maksimum.

Idealnya, FF hanya merupakan sebuah fungsi dari tegangan *open-circuit*  $V_{oc}$ , yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.8) berikut [2]:

$$FF = ((v_{oc} - \ln (v_{oc} + 0.72)) / (v_{oc} + 1)) \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

$v_{oc}$  merupakan tegangan hasil normalisasi  $V_{oc}$  yang dapat didefinisikan menggunakan Persamaan (2.9) berikut:

$$V_{oc} = V_{oc} / (kT/q) \dots\dots\dots (2.9)$$

**2.1.1.3 Kurva Karakteristik I-V Sel Surya**

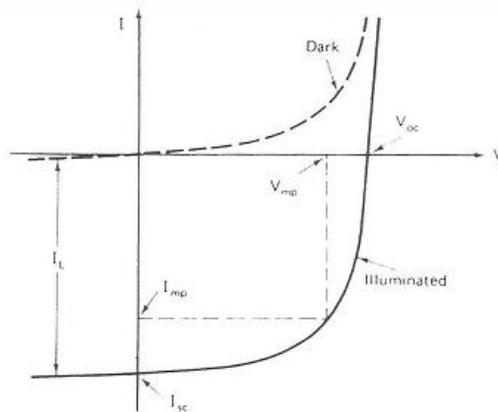
Kurva karakteristik I-V (arus-tegangan) dari sebuah sel surya merupakan superposisi kurva I-V dari sel surya ketika keadaan gelap dengan arus yang dibangkitkan oleh cahaya. Ketika keadaan gelap, sel surya mempunyai karakteristik seperti dioda biasa, di mana karakteristik arus-tegangannya mengikuti Persamaan (2.10) berikut ini [2]:

$$I = I_o (e^{qV/kT} - 1) \dots\dots\dots (2.10)$$

Saat sel surya teriluminasi oleh datangnya cahaya, karakteristik dioda di atas akan mengalami pergeseran kurva I-V oleh adanya arus *light-generated* ( $I_L$ ). Kurva dari kuadran satu turun ke kuadran empat sehingga daya dapat dihasilkan dari sel surya [2]. Pemberian cahaya ini menyebabkan besarnya arus pada Persamaan (2.10) mengalami perubahan menjadi seperti Persamaan (2.11) berikut:

$$I = I_o (e^{qV/kT} - 1) - I_L \dots\dots\dots (2.11)$$

Bentuk kurva dari karakteristik sel surya baik saat gelap dan teriluminasi dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4 di bawah ini:



**Gambar 2.4 Kurva karakteristik I-V Sel Surya [2]**

#### 2.1.1.4 Efisiensi Sel Surya

Efisiensi sel surya secara sederhana dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara *output* daya listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya dengan daya *input* (cahaya matahari) yang dapat diserapnya. Secara matematis, besarnya efisiensi ini biasanya dinyatakan dalam bentuk persen seperti pada Persamaan (2.13) berikut ini:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

Perhitungan besarnya nilai efisiensi sel surya ini sendiri pada kenyataannya merupakan perbandingan antara daya maksimum yang diperoleh dengan daya *input* seperti dinyatakan pada Persamaan (2.14) berikut [3]:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Atau Persamaan (2.14) juga dapat dinyatakan dengan Persamaan (2.15) di bawah ini, di mana besarnya efisiensi secara tidak langsung berhubungan dengan besarnya arus *short-circuit*, tegangan *open-circuit*, dan *fill factor* [2]:

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

#### 2.1.1.5 Resistor Pengisian

Resistor merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai penghambat arus dalam suatu rangkaian listrik. Resistor dalam elektronika dibagi dalam dua kategori utama, yaitu resistor linear (yang tidak tergantung lingkungan sekitar) dan resistor nonlinear (tergantung keadaan sekitar). Dalam perancangan ini, resistor yang digunakan hanya resistor linear saja.

Hal terpenting pada resistor selain besar tahanannya adalah besar daya atau watt-nya. Besaran watt pada resistor bervariasi mulai dari 1/8 W, 1/4 W, 1/2 W, 1 W, 2 W, 5 W, dan seterusnya. Khusus untuk resistor pengisian pada

perancangan ini, maka yang digunakan adalah jenis resistor dengan besar daya 5 W. Hal ini dimaksudkan karena ketika proses pengisian berlangsung, arus yang akan melewati resistor pengisian cukup besar. Sehingga untuk mencegah terjadinya kerusakan akibat panas berlebih pada komponen resistor maka digunakanlah resistor dengan jenis 5 W.

#### **2.1.1.6 Baterai (Akumulator)**

Baterai Aki merupakan suatu alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Baterai merupakan komponen penting dalam sistem pengkonversian energi matahari menjadi energi listrik karena dapat menyimpan muatan energi listrik sebelum digunakan sebagai sumber listrik pada peralatan elektronik. Baterai digunakan dalam sistem ini karena arus yang dihasilkan oleh sel surya merupakan sumber arus listrik searah.

Baterai yang digunakan untuk sistem pembangkit listrik tenaga matahari mempunyai fungsi ganda, yaitu sebagai penyimpan energi dan juga sebagai catu daya dengan tegangan yang konstan untuk menyuplai beban. Menurut penggunaannya baterai dapat diklasifikasikan menjadi baterai primer dan baterai sekunder.

Baterai primer hanya digunakan dalam pemakaian sekali saja, sedangkan baterai sekunder merupakan baterai yang dapat digunakan kembali untuk dimuati. Pada waktu pengisian baterai, elektroda dan elektrolit mengalami perubahan kimia. Kemudian, elektroda dan elektrolit dapat dimuati kembali setelah baterai digunakan dengan cara melewatkan arus dengan arah yang berlawanan dengan arah saat baterai digunakan.

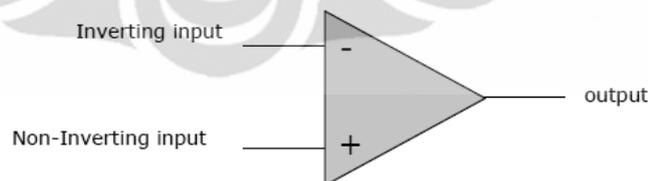
Satuan kapasitas suatu baterai adalah Ampere Jam (Ah). Biasanya informasi ini terdapat pada label suatu baterai, misalnya suatu baterai dengan kode 120 Ah 100h mempunyai arti bahwa baterai mampu bekerja selama 100 jam dengan jumlah arus yang dikeluarkan sekitar 1,2 Ampere dalam setiap jam. Hal ini diperoleh dengan cara ( $120 \text{ Ah} / 100 \text{ Hr} = 1,2 \text{ A}$ ). Dengan demikian, baterai dengan kondisi penuh diperkirakan dapat menyuplai beban sebesar  $1,2 \text{ A} \times 12 \text{ Volt} = 14,4 \text{ Watt}$ . Sehingga baterai tersebut mampu

menyuplai beban sebesar 14,4 Watt selama 100 jam atau sekitar 4 hari hingga baterai kosong.

Untuk proses pengisian baterai, dapat ditentukan dengan mengetahui perbandingan jumlah arus yang dihasilkan oleh sel surya dengan kapasitas baterai yang akan diisi. Tegangan output untuk pengisi baterai harus lebih besar dari tegangan baterai. Misalkan sel surya menghasilkan arus sebesar 3 A dalam keadaan puncak dan baterai yang diisi memiliki kapasitas 10 Ah, maka waktu yang dibutuhkan adalah  $10 \text{ Ah} / 3 \text{ A} = 3,3 \text{ Jam}$ .

### 2.1.1.7 Operational Amplifier (Op-Amp)

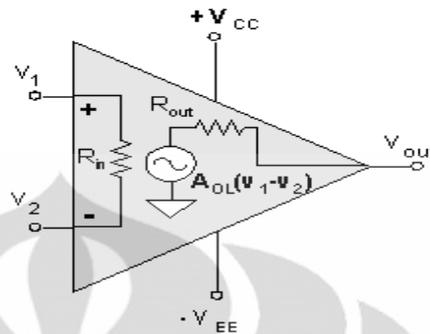
*Operational Amplifier*, atau biasa disingkat Op Amp, merupakan sebuah penguat yang mempunyai impedansi *input* sangat tinggi (biasanya beberapa megaohms) dan impedansi *output* yang rendah (kurang dari 100  $\Omega$ ). Pada dasarnya, Op Amp adalah sebuah *differential amplifier* (penguat differential) yang mempunyai dua *input* (plus dan minus) dan satu *output* [4]. Gambar 2.5 menunjukkan gambar rangkaian dasar dari operational amplifier. Terminal input plus (+) disebut sebagai terminal *non-inverting* (bukan pembalik) karena hasil output yang dihasilkan polaritasnya selalu sama (sefasa) dengan polaritas input yang diberikan. Sedangkan terminal input minus (-) disebut sebagai terminal *inverting* (pembalik) karena output yang dihasilkan polaritasnya berlawanan (beda fasa  $180^\circ$ ) dengan polaritas input yang diberikan [4].



**Gambar 2.5 Basic Op-Amp [4]**

Pada umumnya, Op-Amp dapat bekerja menggunakan *dual supply* (+Vcc dan -Vee) tetapi banyak juga Op-Amp yang sudah dibuat dapat bekerja menggunakan *single supply* (Vcc dan Ground). Symbol rangkaian di dalam

Op-Amp yang juga menjadi parameter sebuah Op-Amp dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Simbol Diagram Skematik Op-Amp [8]

Op-Amp idealnya mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. Resistansi *input*,  $R_{in} = \infty$
2. Resistansi *output*,  $R_{out} = 0$
3. Penguatan tegangan *open loop*,  $A_{OL} = \infty$
4. Selisih tegangan antara masukan *inverting* dan *non-inverting*,  
 $V_d = V_1 - V_2 = 0$
5. Arus input,  $I_{in} = 0$

Tegangan keluaran dari Op-Amp berdasarkan Gambar 2.6 sendiri dapat dinyatakan pada Persamaan (2.16) [5] berikut ini:

$$V_{out} = V_d \cdot A_{OL} \quad \dots \dots \dots (2.16)$$

Idealnya, nilai  $A_{OL}$  sangatlah besar sehingga dengan  $V_d$  yang kecil saja akan menghasilkan nilai  $V_{out}$  yang sangat besar pula. Namun, tegangan yang sangat tinggi tersebut tidak mungkin dapat tercapai karena tegangan tersebut sudah melebihi tegangan suplai untuk menghidupkan Op-Amp itu sendiri. Oleh sebab itu, tegangan keluaran yang mungkin dapat muncul pada sebuah Op-Amp hanya berayun di antara nilai suplai tegangan positif ( $+V_{cc}$ ) dan negatifnya ( $-V_{ee}$ ) saja.

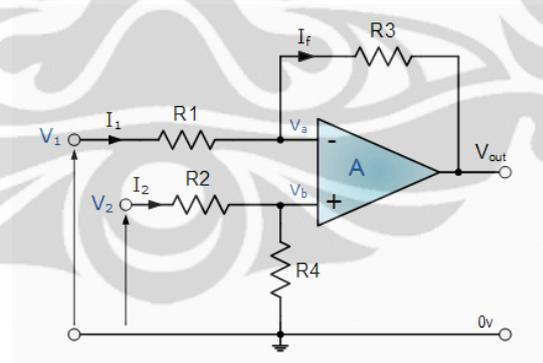
Apabila tegangan keluaran dari Op-Amp hampir sama dengan tegangan suplainya maka hal ini akan membuat Op-Amp tersebut berada dalam kondisi

saturasi. Pada saat terjadi saturasi ini, tegangan output akan cenderung tetap dan tidak akan dapat bertambah lagi meskipun tegangan masukan terus dinaikkan.

Op-Amp dikemas dalam bentuk sebuah kepingan IC (*Integrated Circuit*) dan dapat digunakan pada berbagai aplikasi, di mana yang paling dasar yaitu sebagai penguat (*inverting dan non-inverting*), *integrator*, *differensiator*, dan komparator. Di samping itu, Op-Amp juga dapat digunakan sebagai *voltage summing*, *voltage buffer*, *active filters*, dan aplikasi lainnya.

### 2.1.1.8 Op-Amp sebagai *Voltage Subtraction*

*Voltage subtraction* merupakan salah satu aplikasi rangkaian dasar dari sebuah Op-Amp. Rangkaian ini digunakan untuk mendapatkan besarnya tegangan keluaran yang proporsional dengan perbedaan atau selisih antara dua tegangan input Op-Amp tersebut. Rangkaian yang paling dasar ditunjukkan pada Gambar 2.7 di bawah ini yang hanya menggunakan sebuah Op-Amp saja untuk menghasilkan pengurangan dari dua sinyal inputnya [5]. Istilah lain yang dikenal untuk *voltage subtraction* ini adalah *differential amplifier*.



**Gambar 2.7 Rangkaian Op-Amp sebagai *Voltage Subtraction* [9]**

Terdapat dua aturan penting dalam melakukan analisa rangkaian Op-Amp berdasarkan karakteristik Op-Amp ideal. Aturan ini meliputi, yaitu:

1. Selisih antara input (+) dan input (-) adalah nol ( $V_+ = V_-$ )
2. Arus pada input Op-Amp adalah nol ( $I_+ = I_- = 0$ )

Dengan menggunakan prinsip KCL (*Kirchoff's Current Law*) dan superposisi kita akan dapatkan penurunan rumus untuk mendapatkan Persamaan *voltage subtraction* adalah sebagai berikut:

Diketahui bahwa  $V_a = V_b$

$$\text{Di mana besarnya } V_b = \frac{R_4}{R_2 + R_4}(V_2)$$

$$\text{Pada titik } V_a, \quad \frac{V_a - V_1}{R_1} = \frac{V_{out} - V_a}{R_3}$$

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_3}{R_1}(V_a) - \frac{R_3}{R_1}(V_1)$$

$$\text{Maka, } V_{out} = \frac{R_4}{R_2 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_3}{R_1}(V_2) - \frac{R_3}{R_1}(V_1) \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

Jika besarnya  $R_1 = R_3$  dan  $R_2 = R_4$ , maka akan didapatkan Persamaan:

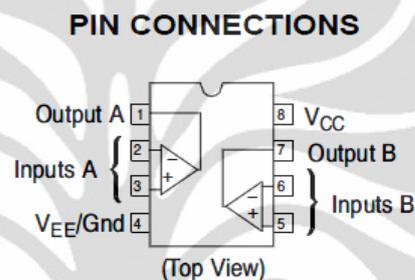
$$\mathbf{V_{out} = V_2 - V_1} \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

*Voltage subtraction*, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, merupakan salah satu aplikasi sebuah Op-Amp yang berguna untuk mengetahui selisih tegangan di antara tegangan masukan *inverting* dan *non-inverting*. Dengan kata lain, aplikasi ini bertujuan untuk mengetahui berapa selisih tegangan di antara ujung-ujung resistor pengisian ketika sel surya dengan baterai dihubungkan dalam suatu system pengisian (*charging*). Selisih tegangan pada ujung-ujung resistor pengisian yang terukur nantinya disebut juga sebagai tegangan jatuh (*drop voltage*) resistor. Oleh sebab itu, arus listrik dari sel surya pada sistem pengisian baterai ini dapat kita ketahui atau deteksi hanya dengan membagi selisih tegangan tersebut dengan besarnya resistor pengisian yang terhubung langsung pada sistem.

Op-Amp yang digunakan untuk *voltage subtraction* ini adalah IC LM 358, yang merupakan IC *low power dual operational amplifier* atau dalam satu *chip* IC terdapat dua Op-Amp yang juga rendah konsumsi dayanya. Alasan digunakannya IC ini adalah karena terdapatnya beberapa keuntungan dari LM

358 yaitu: banyak dipasaran sehingga murah harganya, dapat menghemat pemakaian PCB karena terdapat dua Op-Amp dalam satu *chip*, serta dapat beroperasi menggunakan *single supply* atau *dual supply*.

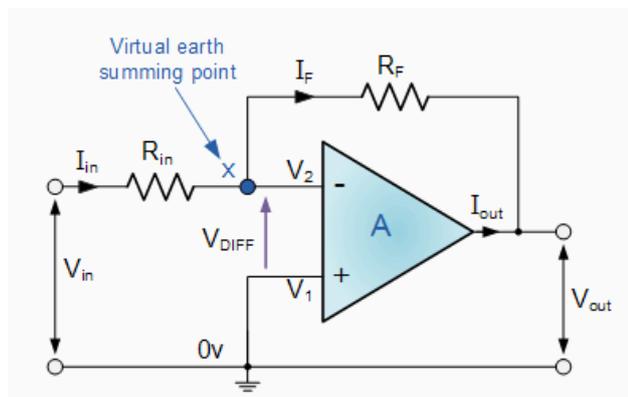
IC ini mempunyai karakteristik rating maksimum seperti yang dapat ditemukan pada *datasheet*-nya yaitu suplai tegangan untuk *single supply* adalah 32 V sedangkan untuk *dual suplai* mencapai 16 V. Tegangan masukan yang diperbolehkan yaitu sampai dengan 32 V, dan yang lainnya terdapat pada *datasheet* tersebut. Gambar 2.8 menunjukkan konfigurasi LM 358 tampak atas.



Gambar 2.8 Konfigurasi LM 358 (Tampak Atas) [10]

### 2.1.1.9 Op-Amp sebagai *Inverting Amplifier*

*Inverting amplifier* merupakan salah satu aplikasi Op-Amp yang paling umum digunakan. Sinyal keluarannya menghasilkan polaritas yang berkebalikan dengan sinyal masukan dan penguatannya (gain) ditentukan oleh rasio antara resistor *feedback* ( $R_f$ ) dengan resistor input ( $R_i$ ). Gambar 2.9 berikut menggambarkan sebuah rangkaian Op-Amp yang digunakan sebagai *Inverting amplifier*, di mana input *non-inverting* (+) dihubungkan dengan *ground* [4].



Gambar 2.9 Rangkaian Op-Amp sebagai *Inverting Amplifier* [9]

Dengan menggunakan aturan Op-Amp untuk analisa rangkaian yang telah dijelaskan sebelumnya, untuk rangkaian *inverting amplifier* ini akan didapatkan Persamaan sebagai berikut:

Pada titik x didapatkan, 
$$\frac{V_2 - V_{in}}{R_{in}} = \frac{V_{out} - V_2}{R_f}$$

Karena  $V_1 = V_2 = 0$ , maka  $V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}}(V_{in})$  ..... (2.19)

Berdasarkan Persamaan (2.19) di atas, kita dapat melihat bahwa besarnya tegangan keluaran pasti selalu berbeda polaritas dengan besarnya tegangan masukan karena terdapat tanda minus (-) pada penguatannya.

*Inverting amplifier*, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, merupakan salah satu aplikasi Op-Amp yang digunakan sebagai penguatan sinyal tegangan. Tegangan keluaran pada terminal *output* Op-Amp selain terjadi penguatan juga polaritas yang dihasilkan merupakan kebalikan dari polaritas sinyal tegangan *input*. Selain sebagai penguat, aplikasi dari rangkaian *inverting amplifier* ini juga dapat digunakan sebagai pelemahan sinyal tegangan. Hal ini hanya bergantung pada konfigurasi dari resistor input dan resistor *feedback*.

Dibutuhkannya *inverting amplifier* pada alat ini karena adanya beberapa faktor yaitu tegangan yang diperbolehkan masuk sebagai input mikrokontroler maksimum hanya sebesar 5 V dan hasil keluaran *voltage subtraction* polaritasnya berkebalikan dengan apa yang diharapkan sehingga untuk mengembalikan ke bentuk sinyal aslinya maka polaritas tersebut harus dibalik kembali menggunakan *inverting amplifier* ini.

Op-Amp yang digunakan adalah IC LM 358 yang masih sama dengan *voltage subtraction*. Hal ini dikarenakan masih terdapatnya Op-Amp yang belum digunakan sehingga hal ini dapat menghemat biaya sekaligus pemakaian PCB karena cukup hanya menggunakan satu IC saja.

#### 2.1.1.10 Mikrokontroler ATmega 8535

Mikrokontroler merupakan piranti elektronik berupa IC (*Integrated Circuit*) yang memiliki kemampuan untuk manipulasi data (informasi)

berdasarkan suatu urutan instruksi atau program yang dibuat oleh programmer. Mikrokontroler adalah satu contoh komputer sederhana di mana dalam strukturnya kita dapat temukan juga komponen-komponen seperti *processor*, *memory*, *clock*, dll. Salah satu contohnya adalah yang berasal dari keluarga mikrokontroler AVR yaitu ATmega 8535.

Mikrokontroler ATmega 8535 memiliki fitur yang cukup lengkap, di mana telah dilengkapi dengan ADC *internal*, EEPROM *internal*, Timer/Counter, PWM, *analog comparator*, dll. Di samping itu, mikrokontroler ATmega 8535 juga menggunakan teknologi RISC (*Reduce Instruction Set Computing*) di mana program berjalan lebih cepat karena hanya membutuhkan satu siklus clock untuk mengeksekusi satu instruksi program.

Fitur-fitur yang dimiliki oleh mikrokontroler ATmega 8535 adalah sebagai berikut:

1. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu port A, port B, port C, dan port D.
2. ADC *internal* sebanyak 8 saluran yang masing-masing 10 bit.
3. EEPROM sebesar 512 byte yang dapat deprogram saat operasi.
4. SRAM sebesar 512 byte.
5. 2 buah timer 8 bit dan 1 buah timer 16 bit.
6. *In-System Programmable Flash* sebesar 8 KByte.
7. Port USART untuk komunikasi serial.
8. 32 General Purpose Register.
9. Interupsi internal dan eksternal.
10. Antarmuka komparator analog.
11. Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
12. Dan lain-lainnya.

ATmega 8535 merupakan mikrokontroler tipe AVR yang sudah dilengkapi dengan ADC *internal* 8 saluran dengan resolusi sebesar 10 bit. Dalam mode operasinya, ADC ATmega 8535 dapat dikonfigurasi baik secara *single ended input* maupun *differential input*. Di samping itu, ADC ini juga memiliki konfigurasi pewaktuan, tegangan referensi, mode operasi, dan

kemampuan filter derau yang amat fleksibel sehingga dengan mudah disesuaikan dengan kebutuhan ADC itu sendiri.

ATmega 8535 memiliki 3 buah *timer* yang terdiri dari 2 buah timer/counter 8 bit dan 1 buah timer/counter 16 bit. Ketiga *timer/counter* ini dapat diatur dalam mode yang berbeda secara individu dan tidak saling mempengaruhi satu sama lain. *Timer/counter* ini juga dapat difungsikan sebagai sumber interupsi.

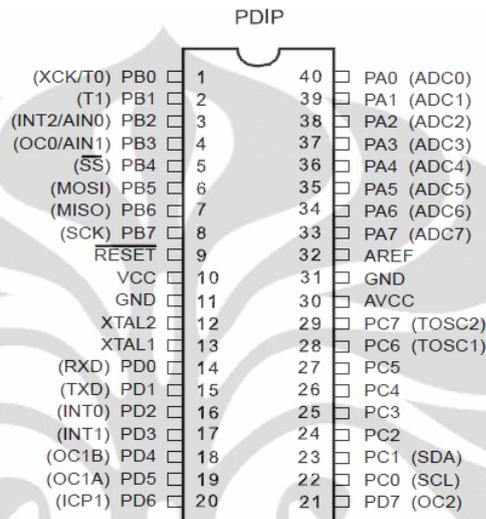
*Serial Peripheral Interface* (SPI) merupakan salah satu mode komunikasi serial *synchronous* kecepatan tinggi yang dimiliki oleh ATmega 8535. Di samping itu, ATmega 8535 juga mempunyai mode komunikasi serial lain yaitu *Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter* (USART). USART ini merupakan komunikasi yang memiliki fleksibilitas tinggi, yang dapat digunakan untuk melakukan transfer data baik antar mikrokontroler maupun dengan modul-modul eksternal termasuk PC yang memiliki fitur UART.

### **Pin-pin pada ATmega 8535**

Konfigurasi pin ATmega 8535 dapat dilihat pada Gambar 2.10 di bawah ini. Berdasarkan gambar tersebut, fungsi dari masing-masing pin dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. VCC : *input* suplai tegangan
2. GND : pin *ground*
3. Port A (PA0...PA7) : merupakan port I/O 8 bit yang berfungsi juga sebagai *input* untuk *Analog to Digital Converter*. Port A memiliki kemampuan *pull-up* resistor serta dapat diakses tiap bit-nya.
4. Port B (PB0...PB7) : merupakan port I/O 8 bit yang memiliki fungsi khusus.
5. Port C (PC0...PC7) : merupakan port I/O 8 bit yang beberapa pin-nya memiliki fungsi khusus.
6. Port D (PD0...PD7) : merupakan port I/O 8 bit yang beberapa pin-nya memiliki fungsi khusus.
7. RESET : pin untuk *me-reset* mikrokontroler.

8. XTAL1 : pin *input inverting oscillator amplifier* dan *input clock internal*.
9. XTAL2 : pin *output* dari *inverting oscillator amplifier*.
10. AVCC : pin *input* tegangan untuk port A atau ADC.
11. AREF : pin *input* tegangan referensi ADC.



**Gambar 2.10 Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega 8535 [11]**

Mikrokontroler ATmega 8535 pada perancangan sistem ini berfungsi sebagai pengontrol *analog to digital converter* (ADC) di mana informasi dari detektor arus merupakan informasi analog yang kemudian akan dikonversikan ke dalam bentuk digital untuk pembacaan pada komputer. Di samping itu, mikrokontroler ini juga berfungsi sebagai pengontrol untuk pengiriman data ke komputer sesuai yang diinginkan programmer.

#### 2.1.1.11 *Personal Computer* (PC)

*Personal computer* (PC) merupakan sebuah perangkat yang berguna sebagai penerima informasi dari mikrokontroler. Informasi dalam bentuk tegangan ini merupakan informasi asli dari detektor arus karena fungsi dari mikrokontroler sendiri hanya sebagai penghubung dengan komputer. Pembacaan tegangan output dilakukan dengan bantuan software MATLAB yang sebelumnya dibuatkan sebuah program agar PC dapat membaca sinyal keluaran langsung dari mikrokontroler.

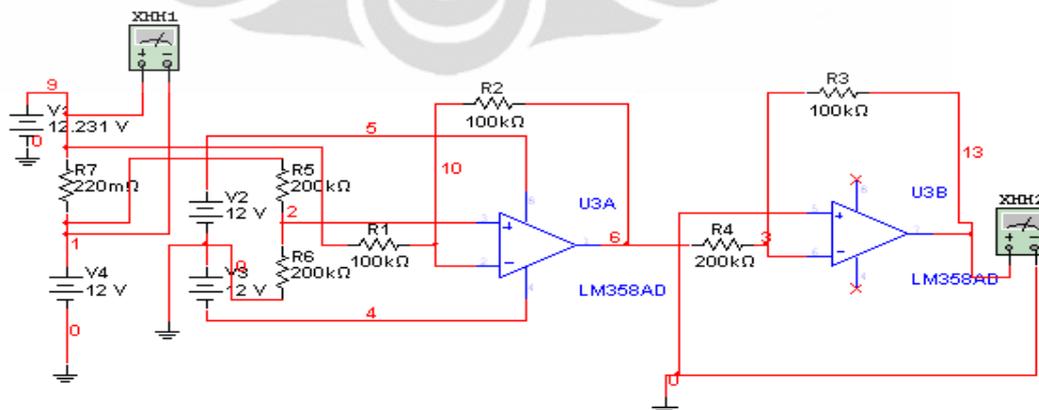
### 2.1.2 Peralatan Pendukung

Dalam penelitian ini, peralatan pendukung yang digunakan antara lain adalah sebagai berikut:

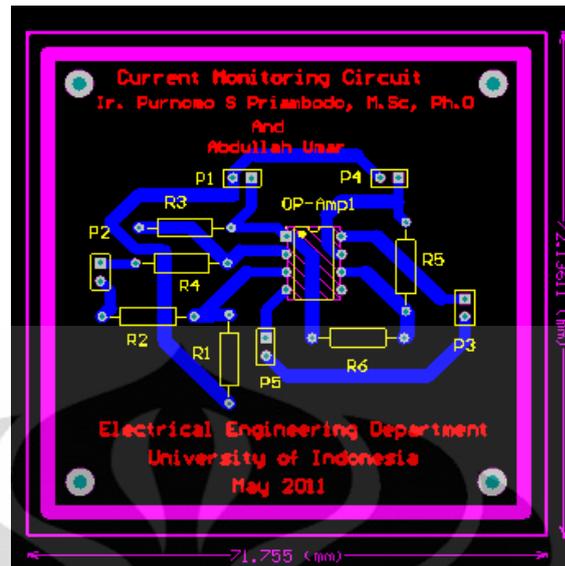
1. Sel Surya (Solar Cell)
2. Baterai 12 Volt
3. Resistor (1/2 Watt dan 5 Watt)
4. Dioda 6 A
5. IC Op-Amp LM 358
6. Mikrokontroler ATmega 8535
7. Board Mikrokontroler DT-AVR *Low Cost Micro System*
8. Kabel Serial to USB
9. Personal Computer atau Laptop
10. Multimeter Digital dan Analog

### 2.1.3 Gambar Rangkaian

Berikut ini merupakan gambar rangkaian yang telah dibuat dengan dua buah perangkat lunak (software). Gambar 2.11 merupakan gambar rangkaian detektor arus system pengisian baterai dari sel surya menggunakan prinsip voltage subtraction menggunakan software NI Multisim 10 yang dapat digunakan juga untuk simulasi perancangan. Sedangkan Gambar 2.12 merupakan gambar rangkaian yang akan dicetak ke PCB menggunakan software Altium Designer.



Gambar 2.11 Skema Rangkaian dengan Software Multisim 10



Gambar 2.12 Skema Rangkaian Implementasi PCB menggunakan Software Altium Designer 9.3

#### 2.1.4 Cara Kerja Rangkaian

Cahaya matahari yang jatuh pada permukaan sel surya dan terserap akan menimbulkan suatu medan listrik yang bila diberi beban akan menghasilkan sebuah aliran arus listrik. Hal inilah yang menyebabkan energi matahari dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Energi listrik ini direpresentasikan dalam bentuk tegangan listrik.

Pada dasarnya tegangan yang dihasilkan oleh sel surya ini besarnya tidaklah stabil tergantung dari intensitas cahaya matahari yang diterima sel surya. Apabila saat awal cahaya matahari jatuh ke permukaan sel surya dan tegangan yang dihasilkan melebihi tegangan batas pengisian dari baterai yang digunakan maka proses pengisian dapat langsung dilakukan, di mana pada perancangan ini diatur agar langsung dapat melalui resistor pengisian.

Ketika *photon* yang dihasilkan oleh cahaya matahari jatuh ke permukaan sel surya dan diserap oleh semikonduktor, *photon* tersebut akan mentransfer energinya ke atom-atom yang ada pada bahan semikonduktor dan melepaskan sebagian elektron dari ikatan kovalennya. Elektron yang terlepas ini akan menjadi bebas dan menimbulkan hole pada daerah yang ditinggalkannya yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole, yaitu terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat adanya cahaya matahari.

Elektron bebas tadi akan tertarik ke arah semikonduktor tipe-n sedangkan hole akan tertarik ke arah semikonduktor tipe-p. Pemisahan muatan elektron dan hole ini akan menghasilkan perbedaan potensial pada ujung divais, sehingga ketika sel surya ini dihubungkan dengan beban maka elektron dan hole dapat mengalir keluar yang kemudian dikenal dengan sebagai arus listrik atau arus fotovoltaik (arahnya berlawanan dengan arah aliran elektron).

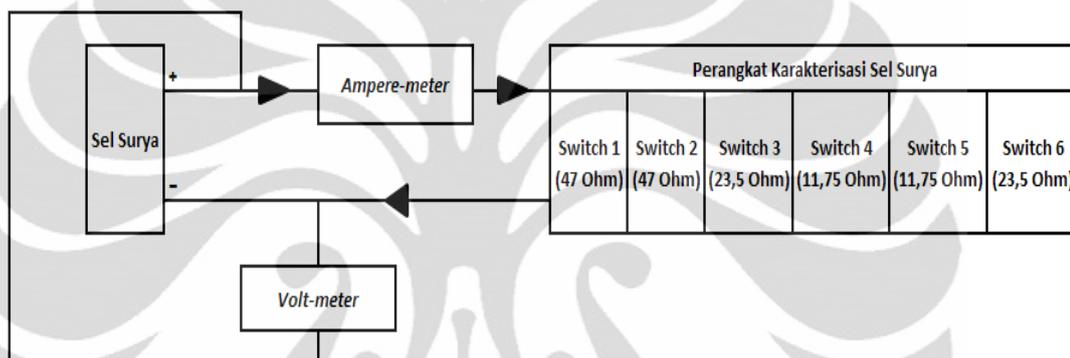
Arus listrik ini berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya matahari yang jatuh, di mana suatu saat arus tersebut dapat melebihi batas dari arus maksimum pengisian baterai yang diperbolehkan. Tegangan pada ujung-ujung resistor pengisian akan dideteksi dengan cara mencari selisih kedua tegangan (*drop voltage*) menggunakan prinsip *voltage subtraction*. Hasil output yang terjadi polaritasnya berkebalikan (negatif) dengan sinyal inputnya. Kemudian, sinyal tegangan tersebut akan dilemahkan menggunakan *inverting amplifier* karena tegangan maksimum yang diperbolehkan masuk mikrokontroler adalah sebesar 5 V. Akibat polaritas keluaran *voltage subtraction* berubah (kebalikan input) maka dibutuhkan sebuah pembalik sinyal untuk mengembalikan pada polaritas sebenarnya. Hal inilah yang menjadi pertimbangan untuk menggunakan *inverting amplifier* karena bisa mendapatkan dua keuntungan di atas sekaligus.

## 2.2 Perangkat Karakterisasi Sel Surya

Perangkat karakterisasi sel surya merupakan suatu rangkaian yang berfungsi untuk mengetahui karakteristik sel surya yang akan digunakan pada suatu sistem. Hal ini dilakukan agar sebelum digunakan di dalam suatu sistem maka sel surya tersebut dapat diketahui kinerja atau performanya secara umum. Dengan adanya perangkat ini, parameter-parameter yang menentukan karakteristik keluaran sel surya dapat kita ketahui. Seperti yang telah dijelaskan pada bagian karakteristik sel surya sebelumnya, parameter-parameter itu adalah arus hubung singkat (*short-circuit*), tegangan *open-circuit*, dan faktor pengisian (*Fill Factor*). Tujuan lain dengan adanya perangkat ini adalah kita akan dapat mengetahui kurva karakteristik arus-tegangan (kurva I-V) dari sel surya sehingga kinerja dari sel surya yang akan digunakan dapat dianalisis.

Perangkat karakterisasi sel surya ini dirancang untuk digunakan saat sel surya dibebani dengan baterai dan tidak dibebani baterai. Karakterisasi sel surya tanpa dibebani baterai berfungsi untuk mendapatkan kurva karakteristik I-V sesungguhnya dari sel surya tersebut, sedangkan karakterisasi dengan dibebani baterai berfungsi untuk mengetahui pengaruh baterai ketika melakukan proses pengisian terhadap sel surya yang dihubungkan secara langsung.

Langkah awal di dalam perencanaan untuk mendesain perangkat karakterisasi sel surya adalah dengan membuat blok diagram dari rangkaian tersebut. Blok diagram ini telah digambarkan seperti terlihat pada Gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13 Blok Diagram Rangkaian (Tanpa Beban Baterai)

### 2.2.1 Peralatan Pendukung

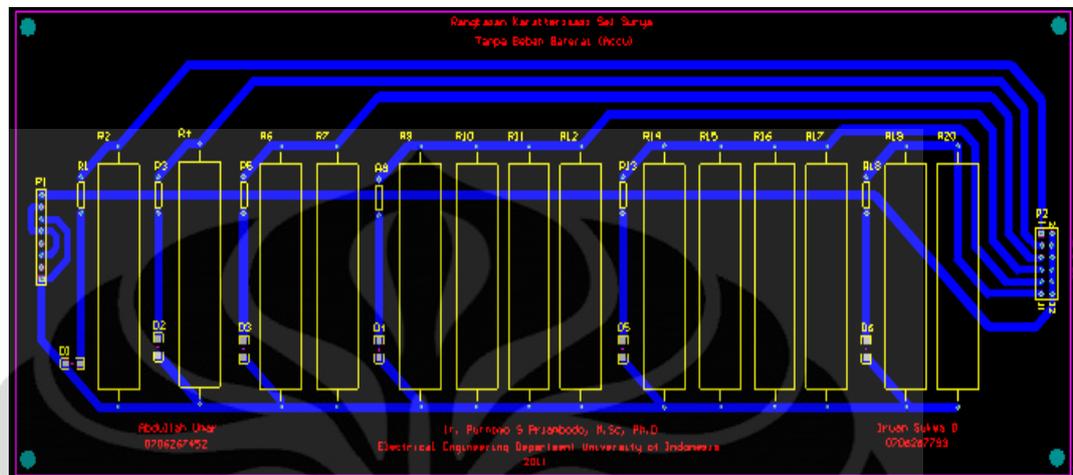
Dalam penelitian ini, peralatan pendukung yang digunakan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Sel Surya (*Solar Cell*).
2. Baterai 12 Volt.
3. Resistor (1/2 Watt, 5 Watt, 10 Watt) dengan besaran seperti pada diagram.
4. Dioda 6 A.
5. Multimeter Digital dan Analog.
6. Lux-meter

### 2.2.2 Gambar Rangkaian

Berikut ini merupakan gambar rangkaian yang telah dibuat untuk dicetak ke PCB dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) Altium Designer. Gambar

2.14 merupakan gambar rangkaian untuk karakterisasi sel surya tanpa dibebani baterai.



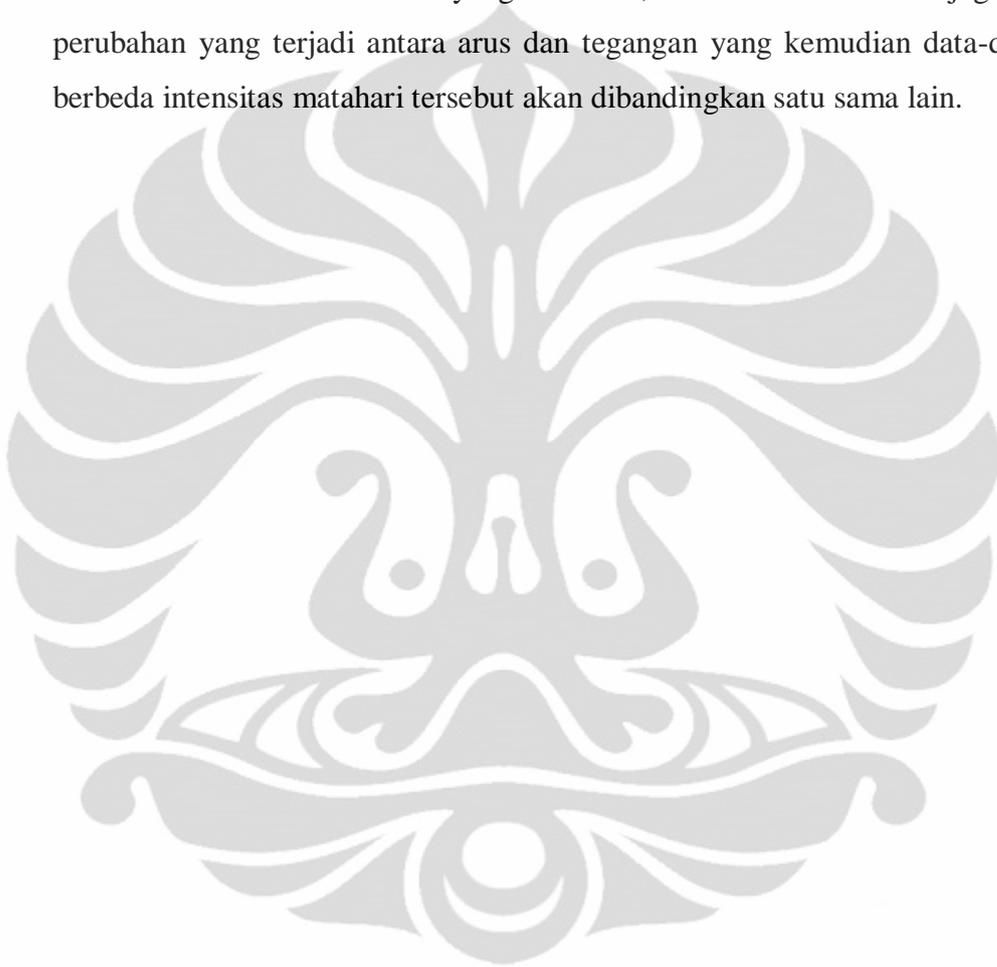
**Gambar 2.14 Skema Rangkaian Karakterisasi Sel Surya Tanpa Dibebani Baterai**

### 2.2.3 Cara Kerja Rangkaian

Cara kerja dari dua rangkaian karakterisasi sel surya (dengan dan tanpa beban baterai) pada dasarnya adalah sama. Ketika cahaya matahari jatuh ke permukaan sel surya dan sel surya ini belum terhubung dengan suatu rangkaian, dengan kata lain masih terbuka (*open-circuit*), maka yang akan terukur oleh multimeter adalah tegangan *open-circuit* dari sel surya itu sendiri. Pada kedua rangkaian tersebut disediakan beberapa *switch* yang berfungsi sebagai pengatur besarnya nilai hambatan (*resistor*) untuk keadaan rangkaian tertutup (*close-loop*) baik ditambahkan beban baterai maupun tidak. Dengan mengatur besar-kecilnya nilai hambatan maka akan terlihat suatu bentuk perubahan untuk nilai arus yang mengalir dan tegangan sel surya sehingga hubungan bentuk perubahan tersebut dapat diubah ke dalam bentuk kurva arus-tegangan (*I-V*).

Untuk rangkaian karakteristik sel surya tanpa beban baterai digunakan 14 resistor daya 10 Watt dengan besar yang sama, yaitu 47 Ohm. Resistor-resistor tersebut disusun sedemikian rupa untuk kemudian dihubungkan dengan switch agar mendapatkan nilai yang diinginkan yang secara lengkap akan dijelaskan pada bagian pengujian. Penggunaan resistor sebesar 47 Ohm dimaksudkan agar

tegangan jatuh pada resistor cukup besar sehingga tegangan yang terukur pada ujung-ujung sel surya juga menjadi cukup besar, mendekati tegangan open-circuit, sehingga kurva karakteristik arus-tegangannya dapat terlihat. Pada saat intensitas matahari yang jatuh ke permukaan sel surya sama, akan diambil data tegangan dan arus yang terjadi ketika besarnya hambatan diubah menggunakan switch. Kemudian untuk intensitas yang berbeda, kita akan melihat juga bentuk perubahan yang terjadi antara arus dan tegangan yang kemudian data-data yang berbeda intensitas matahari tersebut akan dibandingkan satu sama lain.



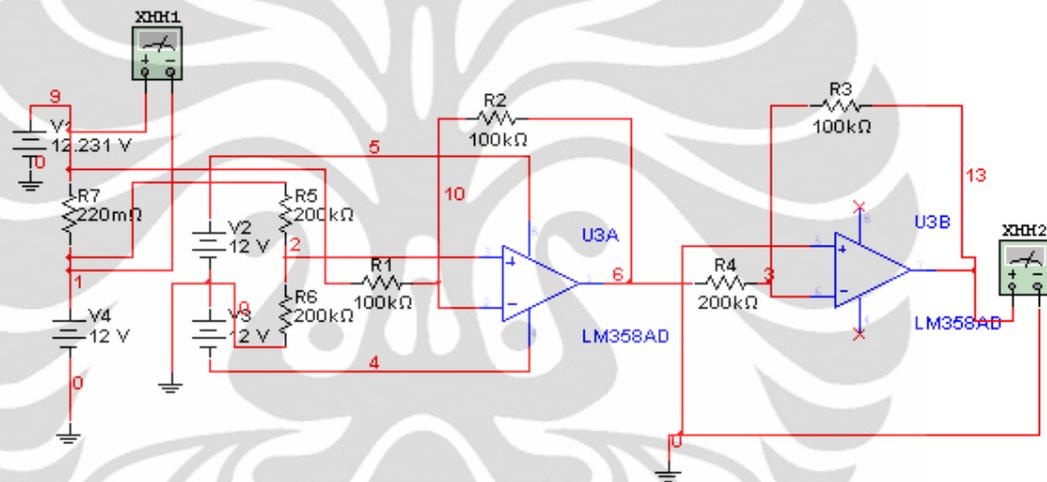
## BAB 3

### SIMULASI DAN ANALISIS PERANCANGAN

#### 3.1 Rangkaian Detektor Arus

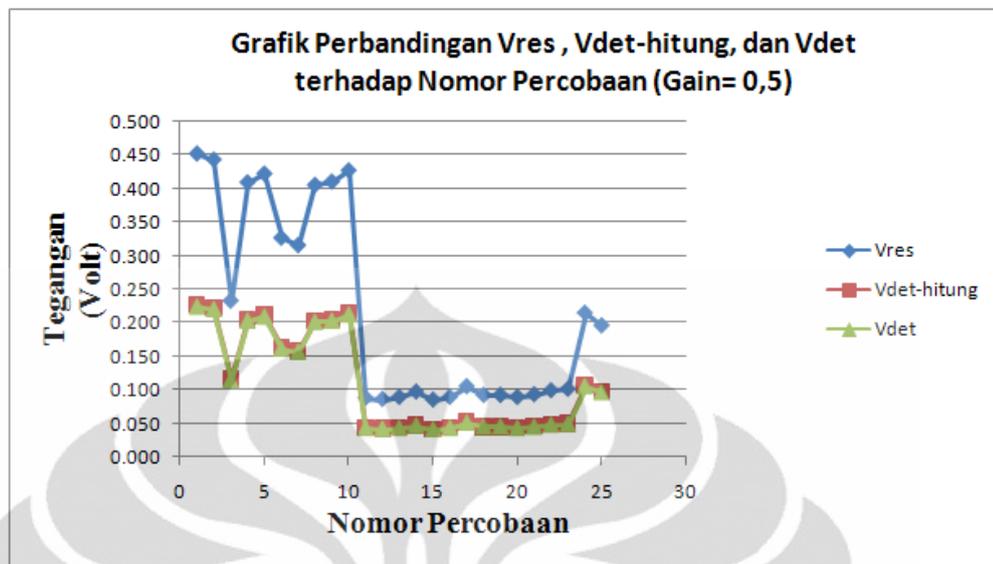
##### 3.1.1 Hasil Simulasi

Simulasi perancangan disain rangkaian detektor arus untuk sistem *charging current monitor* berbasis mikrokontroler ATmega 8535 telah penulis simulasikan menggunakan alat bantu berupa software NI Multisim 10. Simulasi dilakukan dengan dua konfigurasi penguatan dengan rangkaian seperti pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Gambar Rangkaian *Charging Current Detector*

Tabel pada Lampiran 1 menunjukkan data hasil simulasi dengan konfigurasi penguatan 0,5 kali tegangan aslinya dan konfigurasi penguatan 9,09 kali. Hasil simulasi akan dibuat dalam bentuk grafik. Grafik tersebut meliputi grafik perbandingan antara tegangan jatuh resistor ( $V_{res}$ ), tegangan terdeteksi secara perhitungan ( $V_{det}$ -hitung), dan tegangan sebenarnya yang terdeteksi ( $V_{det}$ ) terhadap beberapa percobaan, serta grafik perbandingan antara arus yang terukur pada multimeter ( $I$ ) dan arus yang terdeteksi oleh rangkaian ( $I_{det}$ ) terhadap percobaan yang dilakukan. Grafik dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 untuk penguatan 0,5 dan Gambar 3.4 serta Gambar 3.5 untuk penguatan 9,09.



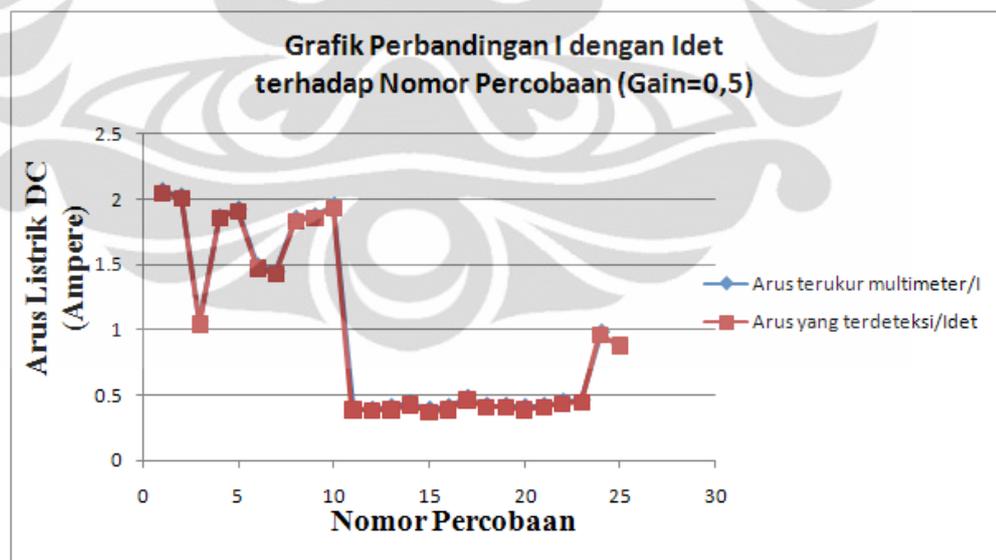
**Gambar 3.2 Grafik Perbandingan Tegangan Hasil Simulasi (Gain=0,5)**

Keterangan :

$V_{res}$  = Tegangan jatuh resistor terukur

$V_{det}$ -hitung = Tegangan keluaran rangkaian detector =  $0,5 \times V_{res}$

$V_{det}$  = Tegangan yang terdeteksi

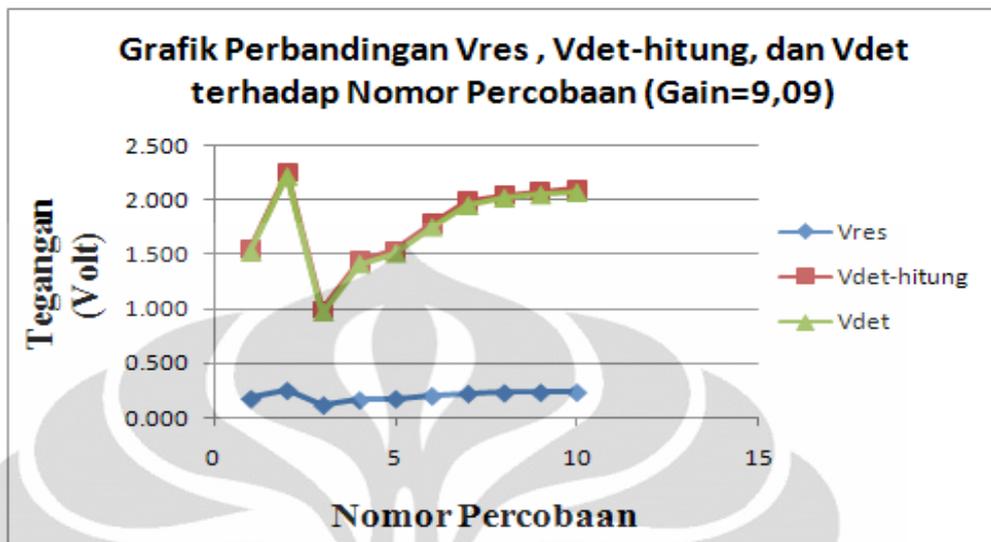


**Gambar 3.3 Grafik Perbandingan Arus Hasil Simulasi (Gain=0,5)**

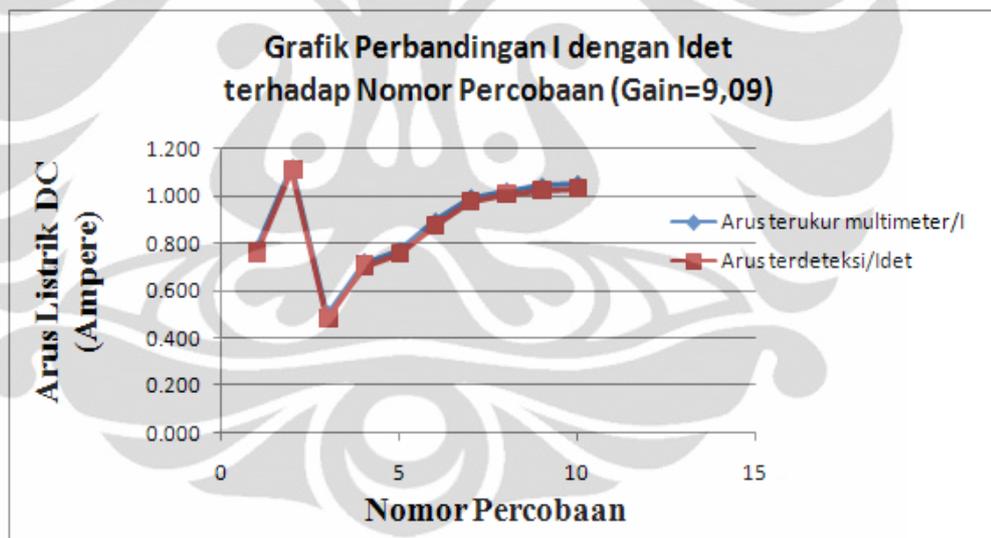
Keterangan :

$I$  = Arus yang terukur pada multimeter

$$I_{det} = \text{Arus yang termonitor} = (V_{det} / 0,5) / 0,22$$



Gambar 3.4 Grafik Perbandingan Tegangan Hasil Simulasi (Gain=9,09)



Gambar 3.5 Grafik Perbandingan Arus Hasil Simulasi (Gain=9,09)

### 3.1.2 Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi di atas dilakukan dengan cara mengambil contoh besar tegangan jatuh pada resistor pengisian yang terjadi ketika dihubungkan dengan sel surya yang berkisar antara 0,085 V sampai dengan 0,453 V. Kemudian simulasi dilakukan secara acak sebagai bentuk perubahan fluktuasi intensitas cahaya matahari yang selanjutnya akan terbaca besarnya tegangan jatuh pada resistor pengisian oleh rangkaian detektor arus. Arus (I) yang

terdapat pada Tabel di Lampiran 1 merupakan arus yang diukur menggunakan multimeter yang dihubungkan langsung dengan sumber.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, kita dapat menghitung bahwa besarnya  $V_{det}$  yang terjadi tidaklah sepenuhnya 0,5 kali dari  $V_{res}$ . Seperti yang tertera pada lembar Lampiran 1, penguatan rata-rata yang terjadi adalah sekitar 0,491 kali dari  $V_{res}$ . Perbedaan ini menunjukkan adanya sedikit *error* pada sistem deteksi arus yang dirancang, di mana *error* rata-rata untuk  $V_{det}$  sebesar 1,881 % seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Untuk besarnya arus yang termonitor sendiri didapatkan dengan cara membagi besarnya  $V_{det}$  yang terbaca oleh detektor dengan besarnya nilai hambatan resistor pengisian, di mana pada simulasi ini digunakan resistor sebesar 220 m $\Omega$  kemudian dikembalikan pada keadaan awal, yaitu dikalikan dengan dua. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh besarnya arus  $I_{det}$  seperti pada Lampiran 1. Arus tersebut mempunyai perbedaan yang cukup kecil bila dibandingkan dengan hasil yang terukur oleh multimeter, di mana *error* rata-rata untuk arus  $I$  adalah sebesar 2,137 % seperti pada Gambar 3.3. Hal ini terjadi akibat hasil simulasi merupakan suatu bentuk pembulatan sehingga bila dilakukan proses perhitungan untuk mendapatkan  $I_{det}$  akan berdampak *error* seperti ini.

Begitu juga dengan simulasi menggunakan konfigurasi penguatan 9,09 kali dari  $V_{res}$ . Berdasarkan lembar data pada Lampiran 1 dapat dilihat bahwa penguatan rata-rata yang terjadi adalah sebesar 8,939, dimana dihasilkan *error* rata-rata untuk  $V_{det}$  adalah sebesar 1,664 % dan untuk arus *error* rata-ratanya adalah 1,616 %. Hasil dari grafik perbandingan juga dapat kita lihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5, di mana hasil tersebut menggambarkan bahwa baik tegangan maupun arus yang terdeteksi menunjukkan grafik yang berhimpit antara simulasi dengan teori perhitungannya.

Dengan hasil tersebut, kita dapat mengetahui bahwa pada simulasi pun komponen tidak menunjukkan benar-benar ideal seperti pada teorinya. Akan tetapi, dengan melihat besarnya *error* rata-rata yang terjadi ini, kita dapat menunjukkan bahwa sistem pendeteksian arus untuk *charging current monitoring* masih dapat direalisasikan.

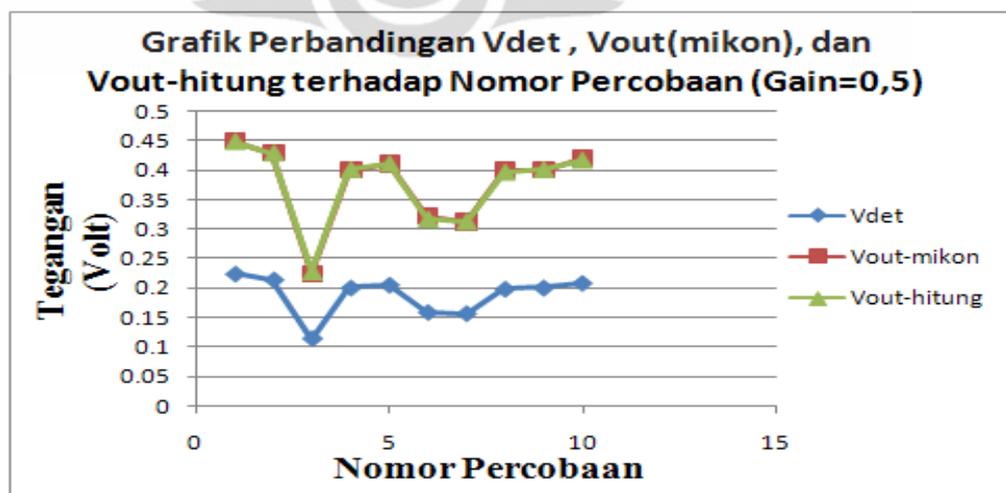
## 3.2 Mikrokontroler ATmega 8535 (sebagai ADC)

### 3.2.1 Hasil Simulasi

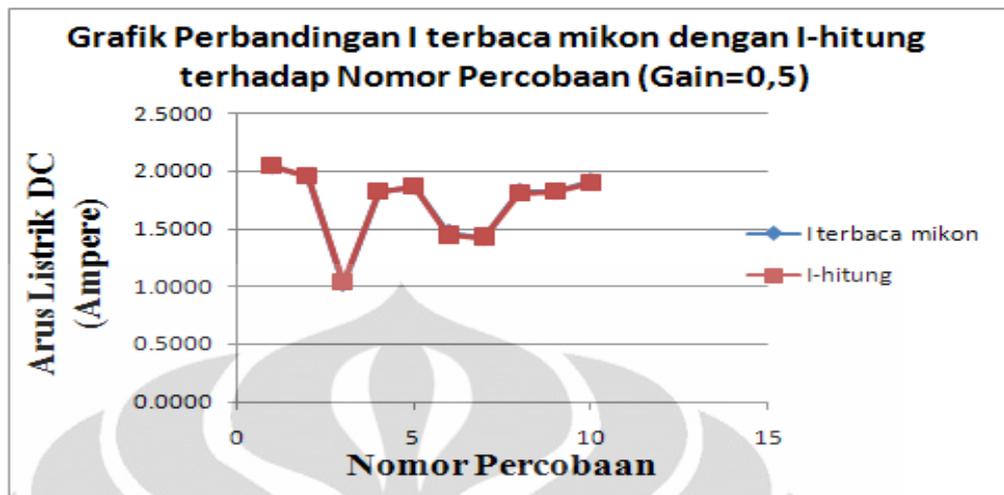
Hasil simulasi perancangan disain mikrokontroler ATmega 8535 sebagai *analog to digital converter* (ADC) untuk sistem *charging current monitor* berbasis mikrokontroler ATmega 8535 telah penulis simulasikan menggunakan alat bantu berupa *software* Proteus Profesional v7.5, Virtual Serial Port Driver dan MATLAB R2008a.

*Software* pendukung seperti Proteus Profesional v7.5 berfungsi untuk mensimulasikan mikrokontroler ATmega 8535 sebagai *analog to digital converter*. Virtual serial port driver merupakan *software* yang digunakan untuk menghubungkan atau mengirimkan informasi keluaran mikrokontroler kepada komputer, yang dalam hal ini pembacaan keluaran serta pengolahan informasi mikrokontroler akan menggunakan program MATLAB R2008a.

Simulasi ini juga menggunakan konfigurasi penguatan 0,5 dan penguatan 9,09 sama dengan simulasi sebelumnya. Masing-masing simulasi tersebut akan dijadikan ke dalam dua bentuk grafik. Grafik yang akan ditunjukkan meliputi grafik perbandingan antara tegangan yang terdeteksi oleh rangkaian (Vdet), tegangan yang terbaca oleh mikon (Vout-mikon), dan tegangan keluaran sebenarnya secara perhitungan (Vout-hitung) terhadap beberapa percobaan, serta grafik yang menunjukkan perbandingan antara arus yang terbaca oleh mikrokontroler dan arus secara perhitungan. Grafik dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 berikut ini untuk penguatan 0,5.



Gambar 3.6 Grafik Perbandingan Tegangan Simulasi Mikrokontroler (Gain=0,5)



Gambar 3.7 Grafik Perbandingan Arus Simulasi Mikrokontroler (Gain=0,5)

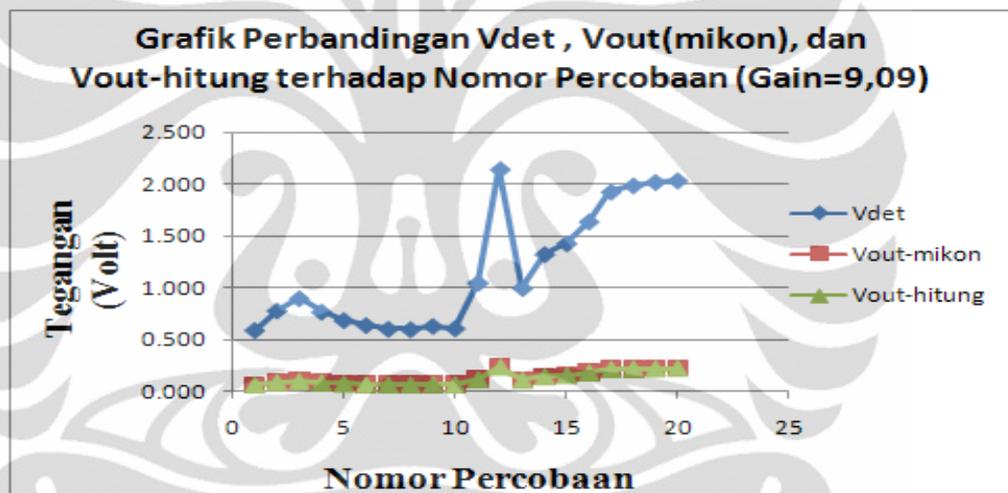
### 3.2.2 Analisis Hasil Simulasi

Seperti pada simulasi rangkaian detektor arus di atas, simulasi ini dilakukan dengan dua konfigurasi penguatan. Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 menunjukkan grafik hasil simulasi dengan konfigurasi penguatan 0,5 kali tegangan aslinya.. Simulasi ini hanya dilakukan dengan memasukkan besarnya tegangan yang terdeteksi ke dalam Port A sebagai *analog to digital converter* (ADC) pada mikrokontroler yang akan mengirimkan data pada komputer. Kemudian, tegangan tersebut akan dibaca oleh komputer dengan menggunakan *software* MATLAB yang sebelumnya telah dirancang program pembacaannya. Selain memunculkan tegangan yang terdeteksi, MATLAB ini juga akan menampilkan besarnya arus yang mengalir pada sistem pengisian baterai yang dihasilkan dari pembagian antara tegangan yang terdeteksi dengan besarnya nilai hambatan resistor pengisian tersebut.

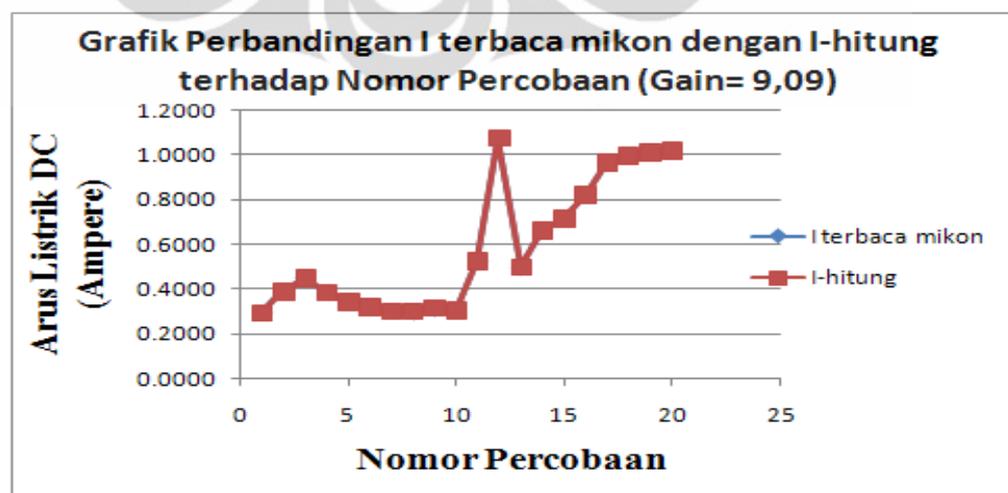
Berdasarkan hasil simulasi tersebut, kita dapat melihat bahwa simulasi menggunakan konfigurasi penguatan 0,5 terdapat perbedaan besarnya tegangan yang terbaca oleh komputer (yang dikirimkan oleh mikrokontroler) sehingga arus yang termonitor-pun juga menjadi berbeda dengan arus yang terukur menggunakan multimeter. Perbedaan ini terjadi akibat mikrokontroler ATmega 8535 hanya mempunyai ADC yang berukuran 10 bit sehingga mengakibatkan tingkat keakurasian dari konversinya juga sedikit kurang.

Oleh sebab itu, simulasi ini tetap menimbulkan *error* di mana besarnya *error*  $V_{out}$  (mikon) yang terbaca oleh komputer adalah sebesar 0,592 %, sedangkan besarnya *error* rata-rata dari arus yang termonitor oleh komputer adalah sebesar 0,585 % untuk penguatan 0,5.

Begitu juga dengan konfigurasi penguatan 9,09, hasil simulasi menunjukkan adanya *error* akibat resolusi mikrokontroler yang digunakan kurang tinggi sehingga tingkat keakurasiannya-pun menjadi sedikit kurang baik. Untuk penguatan 9,09, *error* rata-rata pada tegangan yang terbaca oleh komputer adalah 0,088 % untuk penguatan. dan 0,100 % untuk *error* rata-rata arus yang termonitor. Gambar 3.8 dan Gambar 3.9 menunjukkan hasil simulasi mikrokontroler untuk penguatan 9,09.



Gambar 3.8 Grafik Perbandingan Tegangan Simulasi Mikrokontroler (Gain=9,09)



Gambar 3.9 Grafik Perbandingan Arus Simulasi Mikrokontroler (Gain=9,09)

## **BAB 4**

### **PENGUJIAN DAN ANALISIS PERANCANGAN**

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kemampuan serta kinerja dari sistem atau perangkat yang telah dibangun. Penulis memiliki dua perangkat yang telah dibangun sebelumnya sehingga akan dilakukan dua jenis pengujian yang berbeda fungsi untuk mendapatkan karakteristik, kemampuan serta kinerja dari masing-masing perangkat, yaitu:

1. Pengujian *charging current monitor*
2. Pengujian perangkat karakterisasi sel surya

#### **4.1 Pengujian *Charging Current Monitor***

Pengujian untuk perangkat *charging current monitor* berbasis mikrokontroler ATmega 8535 ini bertujuan untuk melihat kemampuan dari perangkat tersebut sebagai alat pemantau arus pengisian sel surya ke baterai secara otomatis yang dapat terbaca oleh komputer. Pengujian untuk perangkat ini terbagi menjadi dua sistem, yaitu:

1. Pengujian detektor arus
2. Pengujian Mikrokontroler ATmega 8535

##### **4.1.1 Pengujian Detektor Arus**

Pengujian diawali dengan mengimplementasikan rancangan perangkat ke dalam *Printed Board Circuit* (PCB) seperti pada gambar di Lampiran 6. Pengujian dilakukan langsung di bawah sinar matahari pada saat siang sampai dengan sore hari dengan keadaan cuaca cukup cerah dan mendung yang letaknya di Lapangan Basket (Konte) Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Proses pengujian tidak hanya dilakukan dalam 1 hari saja tetapi 2 hari, dengan rentang waktu antara pukul 12.00 sampai dengan 16.30.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

1. Satu buah modul sel surya 50 WP 12 V (W1250 M)
2. Perangkat detektor arus yang terdiri dari rangkaian dengan konfigurasi penguatan 0,5 dan rangkaian konfigurasi penguatan 9,09.

3. Dua buah multimeter digital (Sanwa) dan satu buah multimeter digital (Krisbow), untuk mengukur besarnya arus keluaran sel surya, tegangan jatuh pada resistor, dan tegangan yang terdeteksi oleh rangkaian detektor ini.
4. Satu buah baterai atau akumulator 12 V, 7 Ah (Nagoya).
5. Satu buah Lux-meter yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari.

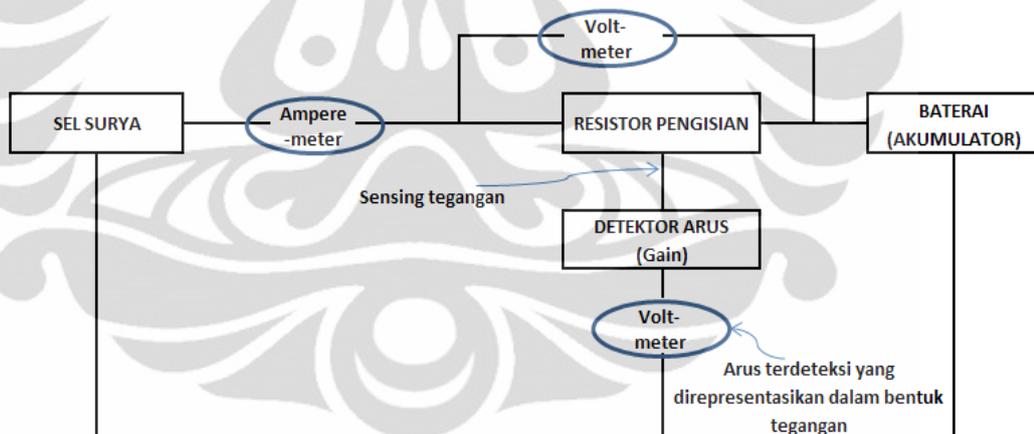
Untuk membantu pengujian sistem, Gambar 4.1 mendeskripsikan blok diagram pengujian sistem. Pengujian dilakukan dalam dua keadaan, yaitu:

1. Konfigurasi penguatan 0,5

Rangkaian pendeteksi akan menghasilkan tegangan yang besarnya adalah 0,5 kali dari tegangan jatuh resistor pengisian yang sebenarnya.

2. Konfigurasi penguatan 9,09

Rangkaian pendeteksi akan menghasilkan tegangan yang besarnya adalah 9,09 kali dari tegangan jatuh resistor pengisian yang sebenarnya.



**Gambar 4.1 Blok diagram pengujian sistem**

Hasil pengujian yang dilakukan dimasukkan ke dalam Tabel pada Lampiran 3, yang berisikan data pengukuran beserta pengolahannya untuk keadaan 1 dan keadaan 2. Tabel pada Lampiran 3 ini masing-masing menunjukkan data-data pengukuran dan pengolahannya untuk tegangan jatuh pada resistor pengisian, arus pengisian yang terukur oleh multimeter, tegangan keluaran rangkaian detektor arus, arus yang akan terdeteksi, serta penguatan yang terjadi pada rangkaian tersebut.

#### 4.1.2 Analisis Pengujian Detektor Arus

##### 4.1.2.1 Analisis Pengujian Dengan Konfigurasi Penguatan (Gain) = 0,5

Pengujian dengan konfigurasi penguatan 0,5 diperoleh dengan cara menentukan besaran resistor yang digunakan untuk rangkaian detektor ini mengikuti Persamaan 2.18 dan Persamaan 2.19, yang telah dijelaskan pada bab 2, karena pada dasarnya rangkaian ini merupakan penggabungan antara prinsip *voltage subtraction* dengan *inverting amplifier*.  $V_{in}$  pada Persamaan 2.19 dibuat sama dengan  $V_{out}$  pada Persamaan 2.18, dengan menganggap bahwa  $(V_a - V_b)$  merupakan tegangan jatuh pada resistor pengisian, sehingga  $V_{out}$  keseluruhan dari system menjadi:

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}}(V_b - V_a) \dots\dots\dots (4.1)$$

Kemudian besarnya nilai  $R_f$  dibuat menjadi 100 K $\Omega$  dan  $R_{in}$  sebesar 200K $\Omega$ , sehingga besarnya nilai  $V_{out}$  menjadi:

$$V_{out} = 0.5(V_a - V_b)$$

Pengujian konfigurasi ini dilakukan sebanyak dua kali, di mana data-datanya ditunjukkan pada Lampiran 3 pengujian 1 dan 2. Dari masing-masing pengujian tersebut akan dilihat berapa besarnya perbedaan antara pengukuran yang sebenarnya dengan pengukuran menggunakan detektor ini sehingga kita dapat mengetahui kemampuan serta kinerja dari sistem yang diimplementasikan. Perbedaan yang akan dilihat antara lain besarnya tegangan yang terdeteksi, arus pengisian yang terdeteksi, serta penguatan yang terjadi sebenarnya pada sistem ini. Perbedaan ini akan menunjukkan seberapa besar terjadi kesalahan pada sistem dibandingkan dengan teori di atas. Perbedaan ini akan dibuat ke dalam bentuk *%error*, yang dapat ditentukan dengan Persamaan 4.2.

$$\%error = \left| \frac{\text{Perhitungan} - \text{Percobaan}}{\text{Perhitungan}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (4.2)$$

Setelah mendapatkan *%error* untuk masing-masing data, kita dapat menentukan berapa rata-rata *%error* untuk tiap pengujian sebagai bahan perbandingan untuk kemampuan dari sistem ini. Nilai rata-rata dapat ditentukan menggunakan Persamaan 4.3 berikut.

$$X_{rata-rata} = \frac{\sum X}{n} \dots\dots\dots (4.3)$$

Keterangan:

$X_{rata-rata}$  = nilai rata-rata suatu data

$\sum X$  = jumlah seluruh data

$n$  = banyak data

Berdasarkan hasil pengujian serta pengolahan data menggunakan Persamaan (4.2) dan Persamaan (4.3) di atas, kita dapat menentukan berapa besar %*error* untuk tegangan yang terdeteksi  $V_{det}$  serta arus yang juga terdeteksi  $I_{det}$ .

Untuk pengujian 1 diperoleh:

%*error* rata-rata  $V_{det}$  = 2,039 %

%*error* rata-rata  $I_{det}$  = 2,072 %

Untuk pengujian 2 diperoleh:

%*error* rata-rata  $V_{det}$  = 9,339 %

%*error* rata-rata  $I_{det}$  = 6,321 %

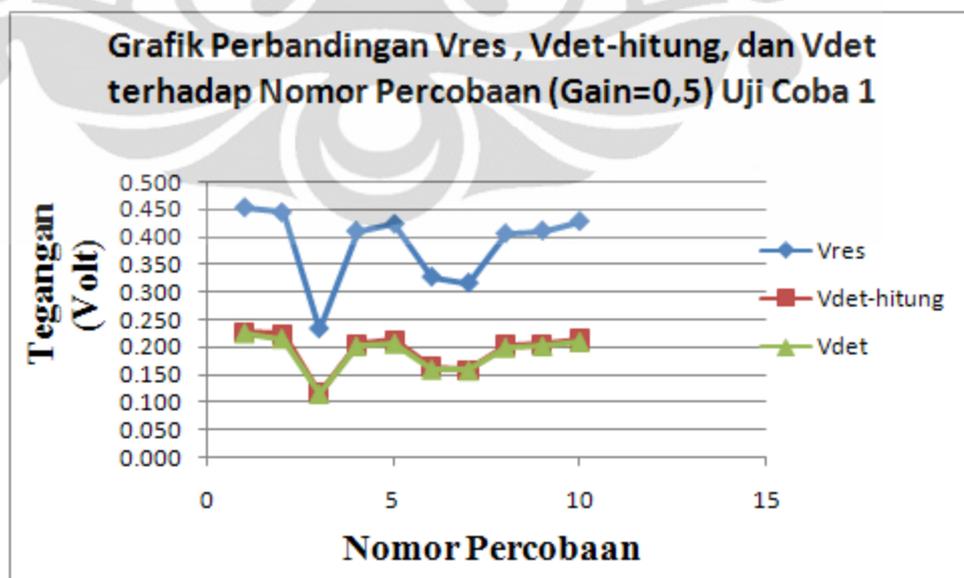
Dari kedua pengujian di atas terlihat bahwa %*error* yang terjadi pada pengujian 1, baik untuk  $V_{det}$  maupun  $I_{det}$ , nilainya lebih kecil daripada %*error* yang terjadi pada pengujian 2. Hal ini terjadi karena pada pengujian 1 rata-rata besarnya tegangan jatuh pada resistor ( $V_{res}$ ) jauh lebih besar dari pada besarnya tegangan jatuh pada resistor ketika dilakukan pengujian 2. Tegangan jatuh ini akan mempengaruhi besarnya tegangan yang terdeteksi ( $V_{det}$ ) sehingga pada akhirnya juga akan mempengaruhi besarnya arus yang terdeteksi ( $I_{det}$ ) karena  $I_{det}$  ini merupakan hasil konversi dari pembagian antara  $V_{det}$  dengan resistor untuk kemudian dikalikan dengan penguatan sesuai konfigurasi masing-masing.

Tegangan jatuh ini sebenarnya sangat dipengaruhi oleh arus yang mengalir dari sel surya. Besarnya nilai arus ini sangat bergantung kepada besarnya intensitas cahaya (flux) matahari yang jatuh pada permukaan sel surya, sehingga  $V_{res}$  disini juga dipengaruhi oleh adanya perubahan besarnya flux yang terjadi. Dengan kata lain, besarnya tegangan yang

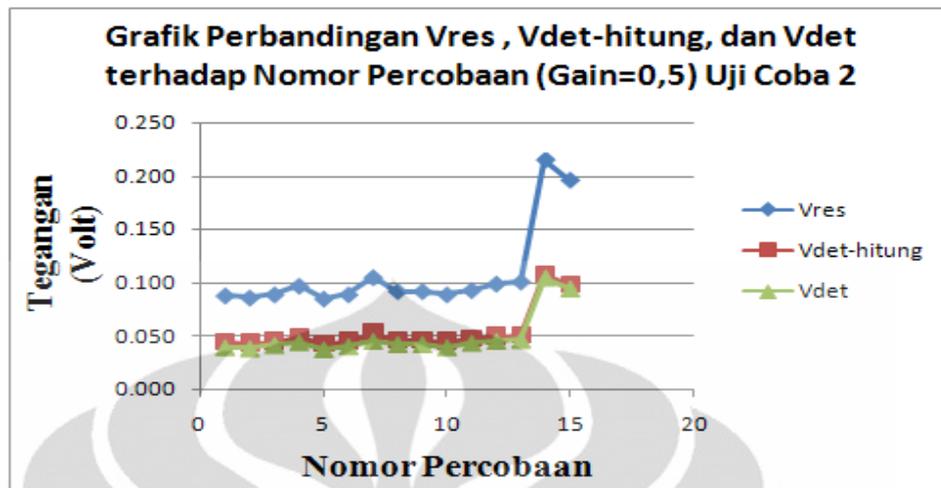
terdeteksi dan arus yang terdeteksi dipengaruhi juga oleh besarnya intensitas cahaya matahari serta arus yang melewati resistor pengisian.

Dari Tabel pada Lampiran 3, kita dapat melihat bahwa besar-kecilnya tegangan jatuh pada resistor pengisian ( $V_{res}$ ) akan berdampak pada besar-kecilnya %*error* arus yang terdeteksi. Berdasarkan Tabel tersebut secara umum, penulis dapat menyimpulkan bahwa semakin kecil intensitas cahaya matahari menyebabkan  $V_{res}$  juga semakin mengecil sehingga tingkat keakurasian pendeteksian arus dari alat dengan konfigurasi penguatan 0,5 ini akan semakin berkurang.

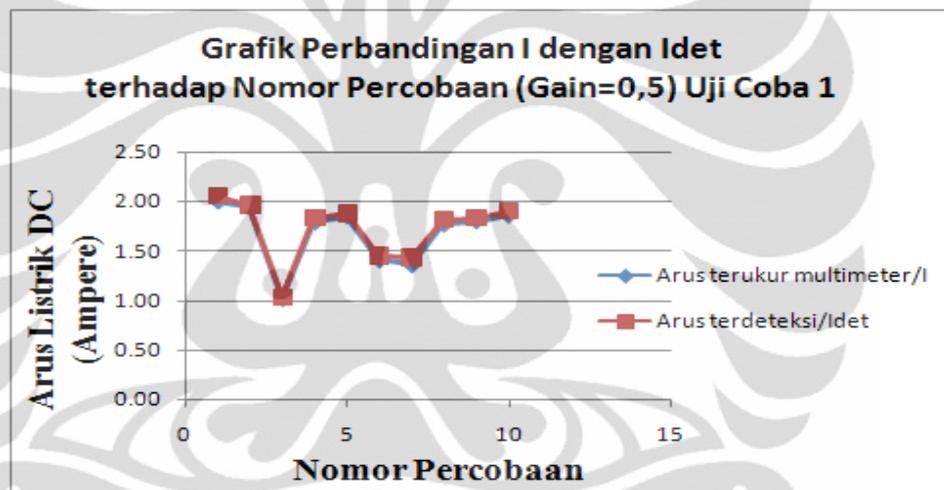
Di samping itu, hasil dari pengujian juga menunjukkan bahwa penguatan rata-rata yang terjadi pada pengujian 1 adalah sebesar 0,490, sedangkan untuk pengujian 2 besarnya penguatan rata-rata adalah 0,453. Kedua data tersebut mendeskripsikan bahwa penguatan yang terjadi tidaklah benar-benar 0,5. Namun, data hasil pengujian 1 memperlihatkan bahwa besarnya penguatan lebih mendekati kepada 0,5 dibandingkan dengan pengujian 2. Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 menunjukkan grafik perbandingan hasil pengujian 1 dan 2 konfigurasi ini, sedangkan Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan grafik perbandingan untuk besarnya arus pada pengujian 1 dan pengujian 2.



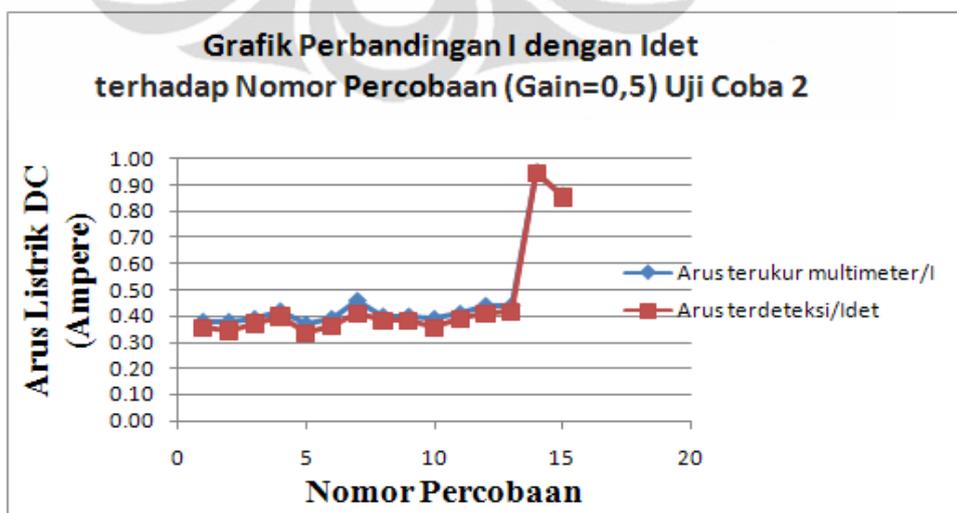
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan  $V_{res}$ ,  $V_{det}$ -hitung, dan  $V_{det}$  uji coba 1



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan  $V_{res}$ ,  $V_{det}$ -hitung, dan  $V_{det}$  uji coba 2



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Arus terukur vs Arus terdeteksi uji coba 1



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Arus terukur vs Arus terdeteksi uji coba 2

#### 4.1.2.2 Analisis Pengujian Dengan Konfigurasi Penguatan (*Gain*) = 9.09

Seperti pada pengujian sebelumnya, pengujian dengan konfigurasi penguatan 9,09 juga diperoleh dengan cara menentukan besaran resistor pada rangkaian sesuai dengan Persamaan (2.17) dan Persamaan (2.19). Nilai resistansi dari R1 harus sama dengan R2 yaitu sebesar 22 K $\Omega$  dan nilai untuk R3 harus sama dengan R4 yaitu 100 K $\Omega$ , sehingga hasil dari Persamaan (2.17) ini akan menjadi seperti:

$$V_{out} = \frac{100}{22}(V_b - V_a)$$

$$V_{out} = 4.545(V_b - V_a) \dots\dots\dots (4.4)$$

Selanjutnya,  $V_{out}$  pada Persamaan (4.4) ini akan menjadi  $V_{in}$  pada Persamaan (2.19), di mana besarnya  $R_{in}$  pada perancangan adalah 100 K $\Omega$  dan  $R_f$  sebesar 200 K $\Omega$ , sehingga konfigurasi penguatan sistem akan menjadi seperti Persamaan (4.5).

$$V_{out} = -9.091(V_b - V_a) \dots\dots\dots (4.5)$$

Pengujian konfigurasi ini juga dilakukan sebanyak dua kali, di mana data-datanya ditunjukkan pada Lampiran 3 pengujian 3 dan 4. Dari hasil pengujian serta pengolahan data menggunakan Persamaan (4.2) dan Persamaan (4.3) di atas, kita dapat menentukan berapa besar % *error* untuk tegangan yang terdeteksi ( $V_{det}$ ) serta arus yang juga terdeteksi ( $I_{det}$ ).

Untuk pengujian 3 diperoleh:

$$\%error \text{ rata-rata } V_{det} = 4,693 \%$$

$$\%error \text{ rata-rata } I_{det} = 2,513 \%$$

Untuk pengujian 4 diperoleh:

$$\%error \text{ rata-rata } V_{det} = 5,714 \%$$

$$\%error \text{ rata-rata } I_{det} = 0,753 \%$$

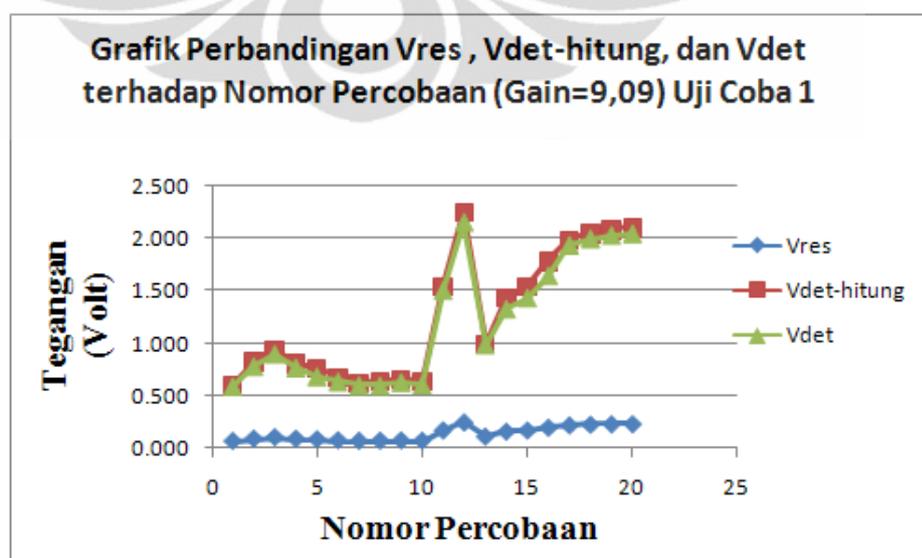
Dari kedua pengujian di atas terlihat bahwa %*error* rata-rata yang terjadi pada pengujian 3 untuk  $V_{det}$  nilainya lebih kecil daripada %*error* yang terjadi pada pengujian 4. Hal ini terjadi karena pada pengujian 3 rata-rata besarnya tegangan jatuh pada resistor ( $V_{res}$ ) jauh lebih besar dari pada besarnya tegangan jatuh pada resistor ketika dilakukan pengujian 4. Tegangan jatuh ini akan mempengaruhi besarnya tegangan yang terdeteksi

(Vdet) sehingga pada akhirnya juga akan mempengaruhi besarnya arus yang terdeteksi (Idet) karena Idet ini merupakan hasil konversi dari pembagian antara Vdet dengan resistor untuk kemudian dikalikan dengan penguatan sesuai konfigurasi masing-masing. Pada pengujian 4 terlihat bahwa dengan kecilnya Vres yang terdeteksi akan menyebabkan %error dari Vdet cukup besar.

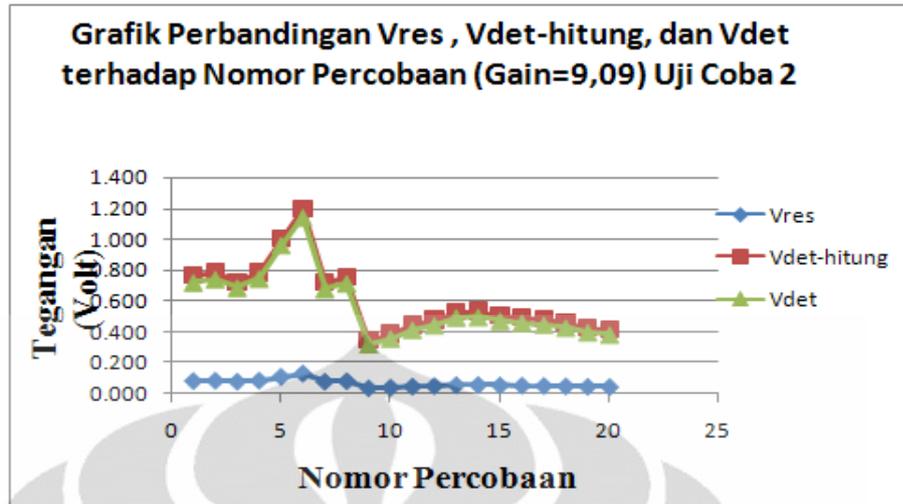
Di samping itu, hasil dari pengujian menunjukkan bahwa penguatan rata-rata yang terjadi pada pengujian 3 adalah sebesar 8,663, sedangkan untuk pengujian 4 besarnya penguatan rata-rata adalah 8.571. Kedua data tersebut mendeskripsikan bahwa penguatan yang terjadi tidaklah benar-benar 9,09. Namun, data hasil pengujian 3 memperlihatkan bahwa besarnya penguatan lebih mendekati kepada 9,09 dibandingkan dengan pengujian 4.

Namun, untuk %error rata-rata Idet pada pengujian 3 nilainya lebih besar dibandingkan dengan pada pengujian 4. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi ini cukup baik bila digunakan saat kondisi lingkungan berada pada keadaan intensitas cahaya matahari kecil karena besarnya Vres tergantung dari besarnya intensitas cahaya matahari.

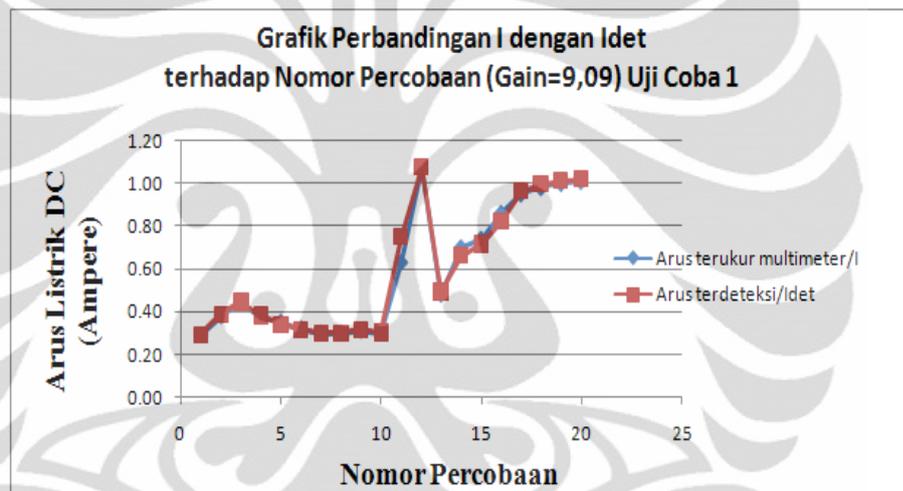
Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menunjukkan grafik perbandingan hasil pengujian 1 dan 2 konfigurasi ini, sedangkan Gambar 4.8 dan 4.9 menunjukkan grafik perbandingan untuk besarnya arus pada pengujian 1 dan pengujian 2.



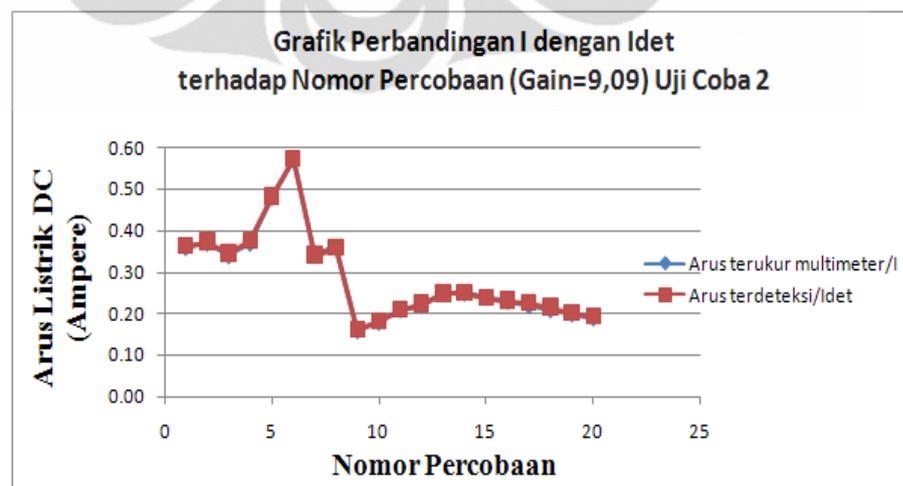
Gambar 4 6 Grafik Perbandingan Vres,Vdet-hitung, dan Vdet uji coba 1 (Gain=9,09)



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Vres, Vdet-hitung, dan Vdet uji coba 2 (Gain=9,09)



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Arus terukur vs Arus terdeteksi uji coba 1 (Gain=9,09)



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Arus terukur vs Arus terdeteksi uji coba2 (Gain=9,09)

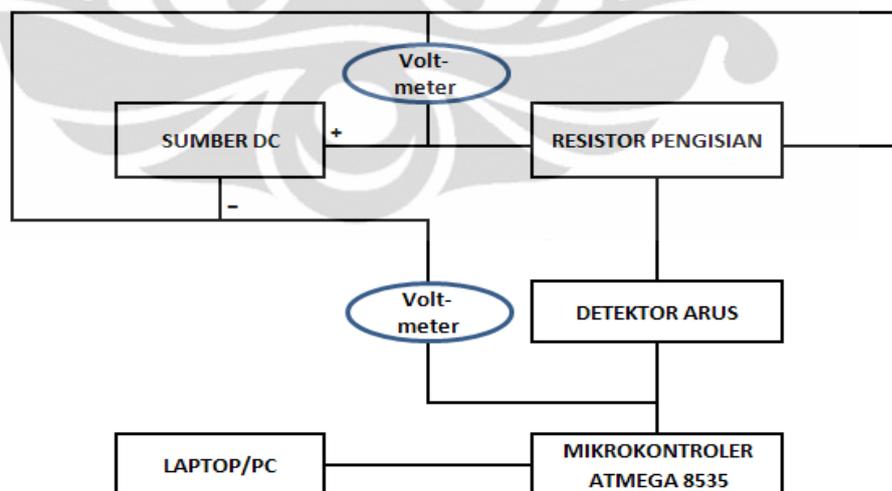
Berbeda dengan konfigurasi penguatan 0,5, berdasarkan Tabel pada Lampiran 3 tersebut secara umum, kita dapat melihat bahwa semakin kecil intensitas cahaya matahari menyebabkan Vres juga semakin mengecil tetapi tingkat keakurasian pendeteksian arus dari alat dengan konfigurasi penguatan 9,09 ini akan semakin baik.

#### 4.1.3 Pengujian Mikrokontroler ATmega 8535

Pengujian dilakukan di Laboratorium Elektronika Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia menggunakan suplai DC yang terdapat pada *board* untuk praktikum. Proses pengujian dilakukan dalam 1 hari saja, dengan rentang waktu antara pukul 17.00 sampai dengan 17.30.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

1. Satu buah *power supply* DC.
2. Dua buah multimeter digital.
3. Perangkat detektor arus dengan konfigurasi penguatan 0,5.
4. Satu buah *notebook* atau *laptop*.
5. Satu buah resistor untuk mendapatkan tegangan jatuhnya.
6. Satu buah board Mikrokontroler DT-AVR *Low Cost Micro System*.
7. Satu buah kabel *serial to usb*



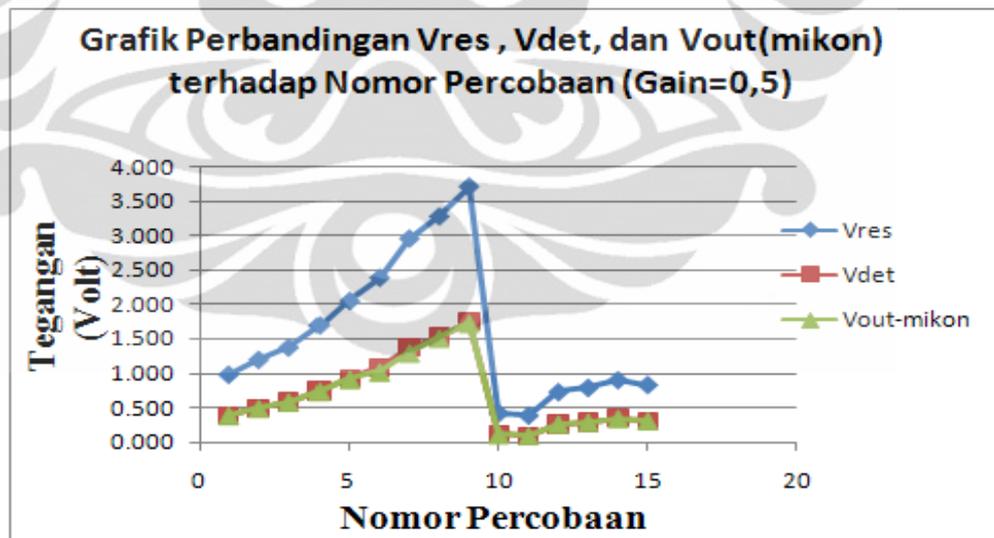
Gambar 4.10 Blok diagram pengujian sistem mikrokontroler

Untuk membantu pengujian sistem, Gambar 4.2 mendeskripsikan blok diagram pengujian sistem. Hasil pengujian yang dilakukan dimasukkan ke

dalam Tabel pada Lampiran 4, yang berisikan data-data pengukuran dan pengolahannya untuk tegangan jatuh pada resistor pengisian, tegangan keluaran rangkaian detektor arus, arus yang akan terdeteksi, serta penguatan yang terjadi pada rangkaian tersebut, tegangan yang terbaca oleh PC, serta arus pengisian yang akan terbaca oleh PC.

#### 4.1.4 Analisis Pengujian Mikrokontroler ATmega 8535

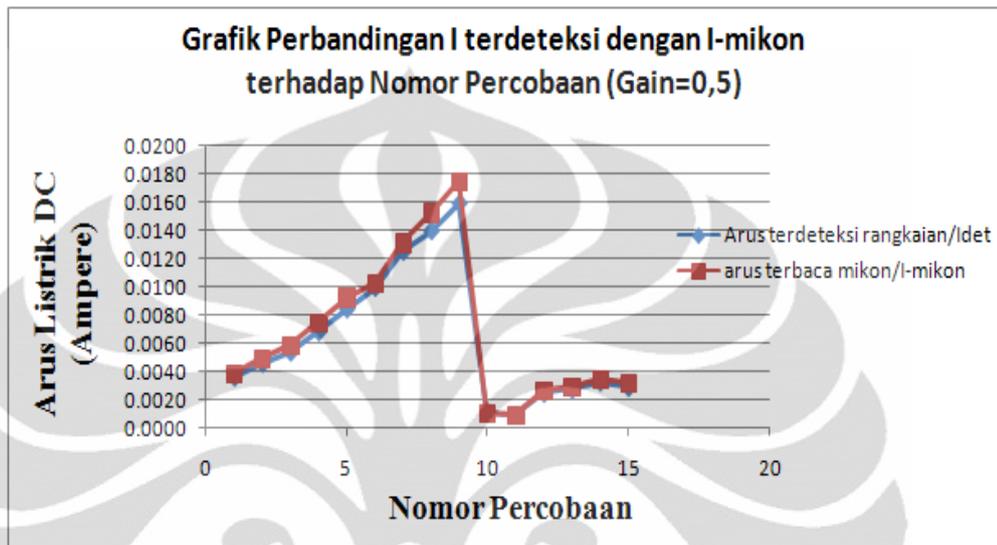
Pengujian aplikasi mikrokontroler ATmega sebagai *analog to digital converter* (ADC) pada sistem ini menggunakan suatu board mikon yang sudah terjual di pasaran, yaitu Mikrokontroler DT-AVR *Low Cost Micro System*, seperti pada gambar di Lampiran 6. Pengujian dilakukan sebanyak satu kali dengan konfigurasi penguatan 0,5. Dari pengujian ini akan dibuat beberapa grafik, yaitu grafik perbandingan antara  $V_{res}$ ,  $V_{det}$ , dan  $V_{out}$  mikon untuk mendapatkan berapa %*error* yang terjadi dan grafik perbandingan antara arus (I) yang terdeteksi dengan arus yang terbaca pada komputer (I-mikon). Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 menunjukkan grafik perbandingan tersebut.



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Tegangan Pengujian Mikrokontroler

Berdasarkan Gambar 4.11, besarnya penguatan konfigurasi rangkaian terlihat hampir setengahnya (0,5) dari tegangan jatuh ( $V_{res}$ ) yang dihasilkan. Ketika informasi tegangan ini dikirimkan oleh mikrokontroler ke komputer, kita dapat melihat bahwa besarnya tegangan yang terbaca ( $V_{out-mikon}$ )

sedikit turun atau kurang dari tegangan yang terdeteksi oleh rangkaian, dengan kata lain kurang akurat. Hal ini dapat terjadi karena mikrokontroler ATmega 8535 hanya mempunyai resolusi 10 bit, sehingga tingkat keakurasiannya agak sedikit kurang.



**Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Arus Pengujian Mikrokontroler**

Gambar 4.12 merupakan grafik yang ditunjukkan ketika tegangan yang terdeteksi dibaca oleh komputer untuk kemudian dikonversikan ke dalam bentuk arus listrik. Berdasarkan grafik tersebut, besarnya arus yang terdeteksi dengan arus yang terbaca oleh mikrokontroler sedikit mengalami pergeseran (tidak sama). Hal ini terjadi dikarenakan yang pertama adalah resolusi ADC yang digunakan kurang tinggi (hanya 10 bit) sehingga keakurasiannya menjadi kurang baik dan yang kedua adalah rangkaian detector arus tidak mengalami penguatan yang semestinya (0,5) sehingga arus yang terkonversi dari besarnya penguatan juga menjadi kurang akurat. Hasil pengujian menunjukkan %error rata-rata  $V_{det}$  sebesar 4,2869 % dan 7,0474 % untuk %error rata-rata arus yang terdeteksi ( $I_{det}$ ).

#### 4.2 Pengujian dan Analisis Perangkat Karakterisasi Sel Surya

Sama halnya dengan pengujian perangkat *charging current monitor*, pengujian ini diawali dengan mengimplementasikan rancangan perangkat ini ke dalam PCB. Pengujian dilakukan langsung di bawah sinar matahari pada saat

siang sampai dengan sore hari dengan keadaan cuaca cukup cerah yang letaknya di Lapangan Badminton Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Proses pengujian hanya mengambil 1 hari saja dengan rentang waktu antara pukul 14.00 sampai dengan 16.30.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

1. Satu buah modul sel surya 50 WP 12 V.
2. Dua buah multimeter digital dan satu buah multimeter analog, untuk mengukur besarnya tegangan *open circuit* sel surya, tegangan keluaran sel surya, arus keluaran sel surya, dan tegangan baterai.
3. Perangkat karakterisasi sel surya yang terdiri dari rangkaian karakterisasi sel surya tanpa beban baterai dan rangkaian karakterisasi sel surya dengan beban baterai.
4. Satu buah Lux-meter yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari.

Tujuan dari pengujian perangkat karakterisasi sel surya ini adalah untuk mengetahui apakah alat ini bekerja dan mampu untuk mengkarakterisasi setiap modul sel surya atau tidak. Perangkat karakterisasi ini terbagi menjadi dua rangkaian, yaitu rangkaian karakterisasi sel surya tanpa beban baterai dan rangkaian karakterisasi sel surya dengan dibebani baterai, tetapi pengujian yang dilakukan hanya untuk mengkarakterisasi sel surya tanpa beban baterai.

Untuk membantu pengujian sistem, Gambar 2.13 telah mendeskripsikan blok diagram pengujian sistem. Hasil pengujian yang dilakukan dimasukkan ke dalam Tabel pada Lampiran 5. Pada pengujian perangkat tanpa beban baterai ini Tabel berisikan data-data pengukuran dan pengolahannya untuk besarnya intensitas cahaya matahari, tegangan sel surya yang terukur, arus keluaran sel surya yang terukur, tegangan sel surya ketika keadaan terbuka, dan besarnya nilai resistansi dari pengujian.

#### **4.2.1 Analisis Pengujian Perangkat Karakterisasi Tanpa Beban Baterai**

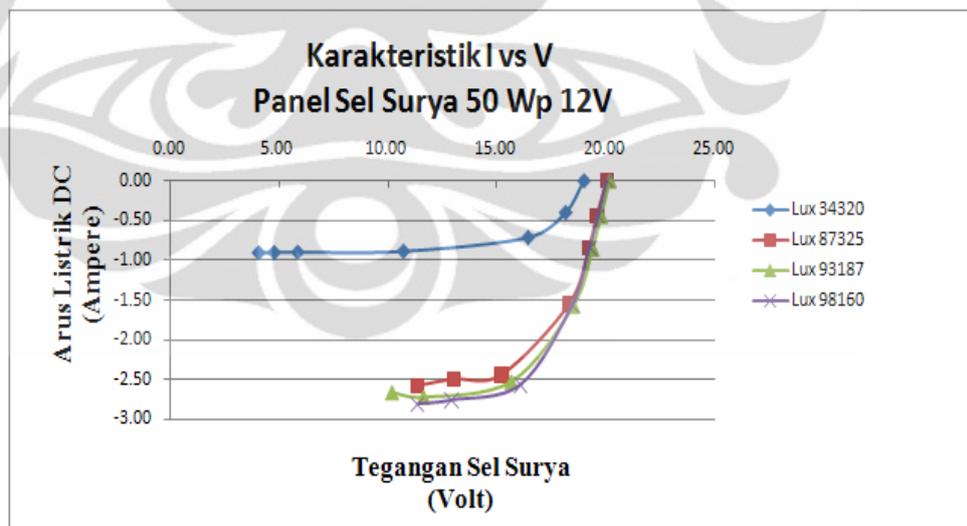
Pengujian karakterisasi sel surya tanpa beban baterai dilakukan sebanyak satu kali dengan menggunakan satu modul sel surya. Hasil dari pengujian ini dimasukkan ke dalam tabel pada Lampiran 5 bagian pengujian 1. Dari pengujian ini akan dibuat beberapa grafik, yaitu grafik hubungan arus-

tegangan sel surya, grafik hubungan arus-intensitas cahaya matahari, dan grafik hubungan arus-resistansi sistem. Grafik ini dibuat dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik sesungguhnya dari sel surya yang akan digunakan serta untuk membandingkannya dengan teori yang selama ini sudah ada.

Intensitas cahaya matahari ketika pengujian jelas selalu berubah. Oleh karena itu, besarnya intensitas cahaya matahari itu diambil nilai rata-ratanya saja untuk memudahkan kita dalam pembacaan grafik. Terdapat tiga buah flux rata-rata pada pengujian 1 (lihat Lampiran 5). Di samping itu, pada perancangan ini resistor yang digunakan mempunyai besaran sebagai berikut, yaitu  $47\Omega$ ;  $23,5\Omega$ ;  $11,75\Omega$ ;  $5,88\Omega$ ;  $3,92\Omega$ ;  $3,35\Omega$ .

#### 4.2.1.1 Analisis Grafik Arus vs Tegangan Sel Surya

Berdasarkan data pada Lampiran 5 pengujian 1, kita dapat membuat grafik seperti pada Gambar 4.13. Grafik dibuat untuk menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan sel surya. Hanya dengan mengubah besaran resistansi yang dihubungkan dengan sel surya, kita akan dapat mengetahui arus yang mengalir serta tegangan sel surya yang sama dengan tegangan jatuh resistor.



Gambar 4.13 Grafik Pengujian Karakteristik I-V Sel Surya

Berdasarkan Gambar 4.13, kita dapat melihat bahwa perbedaan intensitas cahaya matahari (flux) akan mempengaruhi hubungan arus dan tegangan sel surya. Pada kondisi besar resistor sama, ketika intensitas

cahaya matahari turun maka besarnya arus yang mengalir pada rangkaian juga akan menurun. Perbedaan lux yang besar akan mengakibatkan arus yang dihasilkan juga mempunyai perbedaan cukup besar.

Untuk nilai tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ) sendiri, kita dapat melihat bahwa perbedaan flux berpengaruh sangat kecil dengan perubahan  $V_{oc}$  itu sendiri. Tegangan  $V_{oc}$  yang terukur saat itu berkisar antara 18,82 V sampai dengan 20,44 V. Namun, ketika sel surya dalam keadaan terhubung dengan sistem, nilai tegangan sel surya yang terukur hampir sama dengan nilai tegangan jatuh pada resistor. Pada intensitas yang sama, semakin kecil nilai resistansi sistem akan membuat tegangan terukur juga semakin kecil walaupun arus meningkat. Hal ini terjadi akibat peningkatan arus keluaran sel surya sangat kecil di mana arus sangat berpengaruh dengan intensitas cahaya matahari.

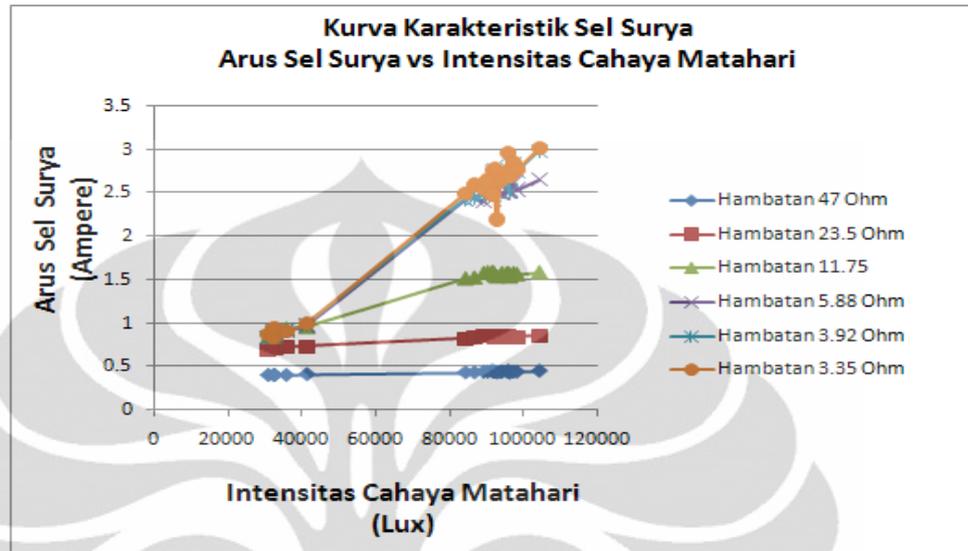
Di samping itu, grafik tersebut juga menunjukkan bahwa pada saat intensitas sama dan kondisi nilai resistor tertentu, besarnya arus hampir cukup stabil sedangkan besarnya tegangan terjadi perubahan yang signifikan, begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu, kita dapat menarik sebuah kesimpulan bahwa selain dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, hubungan arus-tegangan dari sel surya ini juga dipengaruhi oleh besarnya resistansi yang terdapat pada sistem.

Grafik hasil pengujian menunjukkan bahwa sel surya tersebut memiliki karakteristik yang bersesuaian dengan teorinya dan perangkat pengujian karakterisasi ini berhasil diimplementasikan sehingga keduanya, baik sel surya maupun perangkat karakterisasi, dapat digunakan sesuai dengan fungsinya masing-masing. Hanya saja pada grafik ini masih terdapat sedikit kecacatan yang disebabkan pada saat pengujian intensitas cahaya matahari dapat dengan cepat berubah sehingga mempengaruhi hasil pengujian.

#### **4.2.1.2 Analisis Grafik Arus vs Intensitas Cahaya Matahari**

Berdasarkan data pada Lampiran 5 pengujian 1, kita juga dapat membuat grafik hubungan antara arus dengan intensitas cahaya matahari

yang jatuh pada permukaan sel surya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 Grafik Pengujian Karakteristik I-Flux Sel Surya

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 di atas, dapat dilihat bahwa besarnya perubahan intensitas cahaya matahari tidak terlalu berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan arus saat hambatan yang digunakan memiliki nilai resistansi cukup besar, dalam pengujian 47 Ohm, 23,5 Ohm, dan 11,75 Ohm. Perubahan yang signifikan dari arus akan berbanding lurus dengan perubahan intensitas cahaya matahari akan terjadi saat nilai resistansi yang digunakan sistem cukup kecil, dalam pengujian digunakan 5,88 Ohm, 3,92 Ohm, dan 3,35 Ohm.

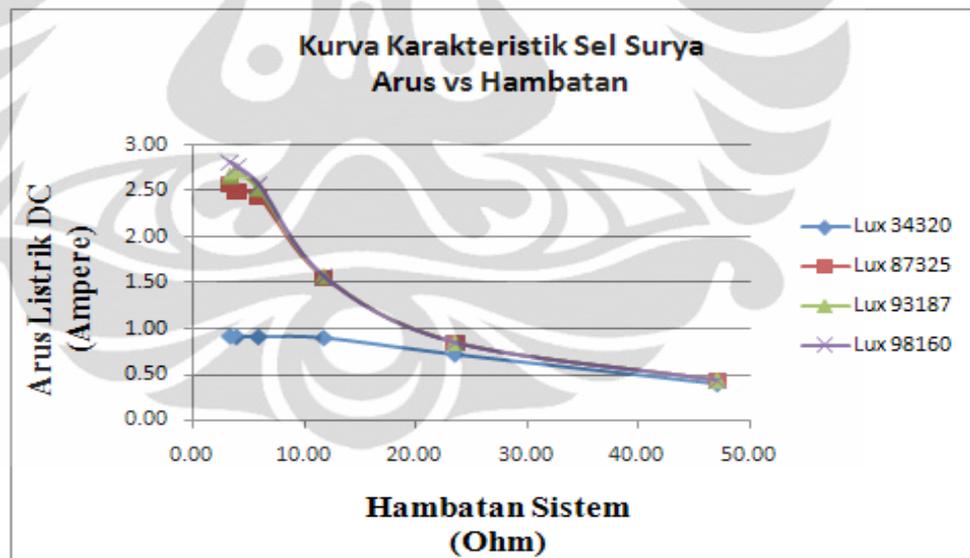
Terdapatnya beberapa arus yang terukur jatuh bisa diakibatkan oleh intensitas cahaya matahari yang berubah secara tiba-tiba dan pengujian dilakukan secara manual sehingga hal ini dapat saja terjadi.

#### 4.2.1.3 Analisis Grafik Hubungan Arus-Resistansi Sistem

Untuk grafik hubungan antara arus dengan resistansi sistem dapat ditunjukkan pada Gambar 4.15 yang juga diperoleh dari Lampiran 5 pengujian 1. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa pada saat lux yang sama, perubahan besaran resistor atau hambatan akan berdampak pada arus yang dihasilkan oleh sel surya. Untuk lux rata-rata 87325, 93187 dan

98160 terlihat hampir berhimpit, hal ini dikarenakan lux yang kecil akan berdampak yang kecil pula pada arus sel surya tersebut.

Jika melihat penjelasan grafik I-V sebelumnya, kita dapat menarik kesimpulan dari grafik pada Gambar 4.7, yaitu saat hambatan resistor nilainya melebihi  $23,5 \Omega$  pada saat intensitas cahaya matahari berubah-ubah maka besarnya arus yang terukur akan terlihat hampir berhimpit. Sedangkan ketika nilai resistor yang digunakan pada system berada di bawah  $23,5 \Omega$ , perubahan besaran lux akan mempengaruhi secara signifikan terhadap arus yang dihasilkan. Sehingga dengan kata lain, besarnya hambatan akan mempengaruhi secara langsung perubahan yang terjadi pada arus secara signifikan. Untuk intensitas yang berbeda. Di samping itu, untuk intensitas yang sama, terlihat bahwa saat lux yang dihasilkan tinggi maka perubahan arus dipengaruhi oleh perubahan resistor. Namun, saat lux-nya rendah arus tidak akan berubah secara signifikan terhadap perubahan yang terjadi pada hambatan system.



Gambar 4.15 Grafik Pengujian Karakteristik I-R Sel Surya

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya tegangan yang terdeteksi dan arus yang terdeteksi dipengaruhi oleh besarnya intensitas cahaya matahari serta arus yang melewati resistor pengisian. (Hal.39)
2. Untuk detektor konfigurasi penguatan 0,5; semakin tinggi intensitas cahaya matahari tingkat keakurasian pendeteksian arus dari alat ini akan semakin tinggi, di mana %error untuk arus = 2,072 %. (Hal.40)
3. Untuk detektor konfigurasi penguatan 9,09 ini cukup baik bila digunakan saat kondisi lingkungan berada pada keadaan intensitas cahaya matahari kecil karena besarnya arus yang terdeteksi akan semakin akurat, dengan %error arus rata-rata pada percobaan = 0,753 %. (Hal. 43)
4. Faktor yang mempengaruhi tingkat keakurasian pendeteksian arus secara digital pada perancangan ini adalah karena resolusi ADC pada mikrokontroler yang kurang tinggi dan akibat penguatan yang terjadi pada rangkaian itu sendiri. (Hal.48)
5. Perangkat karakterisasi sel surya dapat bekerja sesuai teorinya, di mana perbedaan intensitas cahaya matahari (flux) akan mempengaruhi hubungan arus dan tegangan sel surya. (Hal. 50)

## DAFTAR ACUAN

- [1] Marsudi, D. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga. 2005. pp. 1 - 4.
- [2] Green, M.A. *Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications*. Kensington: The University of New South Wales. 1998. pp. 12, 76-81 , 187.
- [3] Pierret, R.F. *Semiconductor Device Fundamentals*. USA: Addison-Wesley Publishing. 1996. Pp. 349-357.
- [4] Boylestad, R.L., dan Louis Nashelsky. *Electronic Devices And Theory*. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 2006. Pp. 597- 637.
- [5] Barmawi dan Tjia. *Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor*. Albert Paul Malvino, Ph.D. Jakarta: Erlangga. 1986. Pp. 402.
- [6] <http://siminiputih.files.wordpress.com/2008/05/solar.pdf>  
(Diambil pada 24/9/2010. 15:36).
- [7] [http://www.icpress.co.uk/etextbook/p276/p276\\_chap1.pdf](http://www.icpress.co.uk/etextbook/p276/p276_chap1.pdf)  
(Diambil pada 2/12/2010. 18:40).
- [8] <http://www.electroniclab.com/op-amp> (Aswan)  
(Diambil pada 10/10/2008. 21:39 ).
- [9] [http:// www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp.html](http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp.html)  
(Diambil pada 30/5/2011. 19:00).
- [10] [http:// www.datasheetcatalog.com/LM358](http://www.datasheetcatalog.com/LM358)  
(Diambil pada 30/5/2011. 19:00).
- [11] [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2502.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf)  
(Diambil pada 30/5/2011. 19:00).
- [12] A. Rerkratn, W. Petchmaneelumka, P. Julsereewong, and V. Riewruja, "Power Monitoring Circuit Using Operational Amplifiers", International Conference on Control, Automation and Systems 2010, Gyeonggi-do, Korea, Oct. 27-30 2010.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bastian Casando S. *Rancang Bangun Perangkat Keras Panel Pengendali Terpusat Peralatan Ruang Kuliah Bebas Mikrokontroler ATmega 8535*. Skripsi Program Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2006/2007.
- Darmoyo. *Penstabil Fluktuasi Tegangan Charger Handphone Tenaga Surya*. Skripsi Program Sarjana Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. 2007.
- Natalita Maulani N. *Optimalisasi Disain Dan Analisis Terhadap  $Al_{0.85}Ga_{0.15}As/GaAs$  Heteroface Homojunction Thin-Film Solar Sel*. Skripsi Program Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2004.
- Rianti Mawarni S. *Rancang Bangun Prototipe Sistem Pengendali Pengisian Muatan Baterai Dengan Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Base Transceiver Station (BTS) GSM*. Skripsi Program Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2010.
- M. Al-Qutayri, W. Tenten, and P. Shepherd, "A Prototype Supply Current Monitor for Testing Analogue Circuits", IEEE, pp.38-41, 1997.
- [http://www.electroniclab.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13:prinsip-dasar-semikonduktor&catid=6:elkadasar&Itemid=7](http://www.electroniclab.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13:prinsip-dasar-semikonduktor&catid=6:elkadasar&Itemid=7)
- <http://www.electroniclab.com/index.php?action=html&fid=41> (Aswan)
- <http://kuliah.imm.web.id/konversi-energi/hasil-tugas/PANELSURYAdan-APLIKASINYA.pdf>
- <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/17248/3/ChapterII.pdf>