



**PENGUKURAN KANDUNGAN GULA PADA NIRA TEBU  
MENGUNAKAN FOTODETEKTOR**

**SKRIPSI**

Oleh  
**Alex Taufiqurrohman Zain**  
**NIM 111810201003**

**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2015**



**PENGUKURAN KANDUNGAN GULA PADA NIRA TEBU  
MENGUNAKAN FOTODETEKTOR**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh  
**Alex Taufiqurrohman Zain**  
**NIM 111810201003**

**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2015**

## PERSEMBAHAN

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, skripsi ini penulis persembahkan untuk:

1. Ibunda Hj. Zaimatus Sholihah, S.Pd. dan Ayahanda H. Mustain, S.Pd.I terimakasih atas segala pengorbanan, kasih sayang dan motivasi yang telah diberikan, doa yang selalu dilantunkan, serta dukungan yang mengiringi setiap langkahku;
2. adik-adikku yang telah memberikan motivasi dan keceriaan;
3. seluruh pendidik sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mengamalkan ilmunya kepada saya;
4. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

**MOTTO**

Tidak akan berhasil seseorang dalam mencari ilmu kecuali dengan enam syarat, maka akan aku sampaikan keenam syarat itu: 1) cerdas, 2) giat, 3) sabar, 4) memiliki biaya, 5) petunjuk guru, dan 6) waktu yang lama.

(Sayyidina Ali bin Abi Thalib)\*

---

\* Munif Ahmad. 2011. Persyaratan Mencari Ilmu Bagi Siswa Menurut Al-Zarnuji. Semarang: Institut Agama Islam Negeri Walisongo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alex Taufiqurrohman Zain

NIM : 111810201003

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengukuran Kandungan Gula pada Nira Tebu Menggunakan Fotodetektor” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa, dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, November 2015

Yang menyatakan,

Alex Taufiqurrohman Zain

NIM 111810201003

**SKRIPSI**

**PENGUKURAN KANDUNGAN GULA PADA NIRA TEBU  
MENGUNAKAN FOTODETEKTOR**

Oleh

Alex Taufiqurrohman Zain

NIM 111810201003

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama: Ir. Misto, M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota: Tri Mulyono, S.Si., M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengukuran Kandungan Gula pada Nira Tebu Menggunakan Fotodetektor” telah diuji dan disahkan secara akademis pada:

hari :

tanggal :

tempat : Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember

**Tim Penguji**

Ketua (Dosen Pembimbing Utama)      Sekretaris (Dosen Pembimbing Anggota)

Ir. Misto, M.Si.

NIP 19591121 199103 1 002

Tri Mulyono, S.Si., M.Si.

NIP 19681020 199802 1 002

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Drs. Sujito, Ph.D.

NIP 19610204 198711 1 001

Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si.

NIP 1974 1215 200212 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Prof. Drs. Kusno, DEA, Ph.D.

NIP 19610108 198602 1 001

## RINGKASAN

**Pengukuran Kandungan Gula pada Nira Tebu Menggunakan Fotodetektor;** Alex Taufiqurrohman Zain, 111810201003: 89 halaman; Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Tebu merupakan salah satu tanaman penghasil gula yang paling utama dibandingkan dengan tanaman lain seperti jagung dan aren. Tebu tumbuh subur di daerah tropis dan sub tropis, sehingga tanaman ini cocok ditanam di Indonesia. Sebagai sumber karbohidrat, permintaan tebu semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk. Kualitas gula yang dihasilkan oleh tebu sangat dipengaruhi oleh bahan baku utamanya yaitu nira tebu. Kandungan utama pada nira tebu adalah air dan beberapa zat terlarut lainnya seperti sukrosa, gula reduksi serta bahan organik dan anorganik lainnya. Sehingga untuk menentukan kualitas tebu diperlukan pengukuran pada nira tebu.

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui kandungan gula dari nira tebu dengan memanfaatkan fotodetektor yang selanjutnya terintegrasi dengan sistem *personal computer* (PC). Alat ukur yang dibuat memanfaatkan prinsip penjalaran sinar ketika sumber sinar melewati objek penelitian. Pada penelitian ini RGB (Red-Green-Blue) *bright* LED digunakan sebagai sumber sinar, PIN fotodioda BPW 34 sebagai fotodetektor, dan *fiber optic* sebagai media penjalaran. Modul Arduino UNO digunakan sebagai modul mikrokontroler untuk menghubungkan alat ukur yang dibuat dengan sistem PC berupa laptop. Sedangkan objek penelitian yang digunakan adalah larutan gula dan nira tebu. Sebagai data pembanding digunakan refraktometer digital.

Pengendalian keadaan RGB *bright* LED serta pembacaan sistem sensor menggunakan laptop berhasil dirangkai. RGB *bright* LED akan menyala sesuai dengan besaran bit yang diberikan pada setiap komponen warna. Semakin besar bit yang



diberikan, semakin terang intensitas sinar RGB *bright* LED yang dihasilkan. Bit maksimal yang dapat diberikan adalah 255. Besaran tegangan keluaran dari sistem sensor akan berubah ketika intensitas sinar yang diterima oleh PIN fotodiode BPW 34 berbeda. Semakin terang intensitas sinar yang diterima, semakin besar tegangan keluaran yang ditampilkan pada laptop.

Penelitian pada larutan gula digunakan untuk mendapatkan kurva kalibrasi serta mencari sinar terbaik yang selanjutnya digunakan untuk penelitian pada nira tebu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kurva kalibrasi konsentrasi larutan terhadap tegangan keluaran sistem sensor adalah berbanding terbalik, sedangkan kurva kalibrasi konsentrasi larutan terhadap % Brix refraktometer digital adalah sebanding. Sinar merah memiliki perubahan tegangan terbesar ketika konsentrasi larutan berubah. Kurva kalibrasi serta sinar merah tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan konsentrasi nira tebu.

Data hasil penelitian pada nira tebu yang didapatkan adalah tegangan keluaran dari sistem sensor serta % Brix dari refraktometer digital. Data tersebut selanjutnya dikonversikan menjadi konsentrasi dari nira tebu berdasarkan kurva kalibrasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa masih terdapat perbedaan hasil nilai konsentrasi nira tebu ketika diukur menggunakan fotodetektor terhadap refraktometer digital yaitu antara 3,1 gram/liter – 5,7 gram/liter.

Hasil pengukuran kandungan gula pada nira tebu menggunakan fotodetektor dan refraktometer digital selanjutnya diuji statistik menggunakan uji-t. Dengan menggunakan taraf kepercayaan sebesar 95 % didapatkan nilai t tabel sebesar 2,1 dan nilai t hitung sebesar 0,6. Karena t hitung kurang dari t tabel maka hasil pengukuran menggunakan fotodetektor tidak berbeda signifikan terhadap pengukuran menggunakan refraktometer digital. Sehingga pengukuran kandungan gula dalam nira tebu menggunakan fotodetektor dapat digunakan sebagai alat ukur alternatif.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengukuran Kandungan Gula pada Nira Tebu Menggunakan Fotodetektor”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, pengarahan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ir. Misto, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Tri Mulyono, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dosen Penguji I dan Puguh Hiskiawa, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Prof. Drs. Agus Subekti, M.Sc., Ph.D. dan Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
4. segenap Dosen dan Karyawan Fakultas MIPA Universitas Jember yang selalu membantu dan mendukung;
5. kedua orang tuaku tersayang Ibunda Hj. Zaimatus Sholihah, S.Pd. dan Ayahanda H. Mustain, S.Pd.I yang telah memberikan restu, kasih sayang serta doanya hingga sekarang;
6. adik-adikku Arini Fitria Zain dan Amalia Azizah Zain yang telah memberikan motivasi dan keceriaan serta menemani kedua orang tua di rumah selama saya menuntut pendidikan di bangku kuliah;

7. Mela Yunita, S.E., yang telah sabar dan setia dalam menemani, memberikan semangat dan motivasi;
8. Bapak Taufiq Usman Wibowo dan Mas Edi Sutrisno yang telah memberikan bantuan selama penelitian;
9. teman-teman seperjuangan angkatan 2011, GP 11 yang telah memberikan bantuan dan dukungannya;
10. sahabat seperjuanganku di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Abdul Hamid serta sahabat-sahabat yang telah membantu selama penelitian dan penyusunan skripsi, Toto, Bagus, Ardy, Devi, Nova, Alvy, dan Ria;
11. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Dengan segala kerendahan hati penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang Fisika.

Jember, November 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Tebu</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Teori Diode</b> .....	<b>9</b>
2.2.1 <i>LED (Light Emitting Diode)</i> .....	9
2.2.2 Fotodioda .....	13
<b>2.3 Serat Optik</b> .....	<b>16</b>

<b>2.4 Rangkaian Operational Amplifier</b> .....	20
2.4.1 Rangkaian Op-Amp Konfigurasi Pembalik .....	22
2.4.2 Rangkaian Op-Amp Konfigurasi Non-pembalikan .....	23
<b>2.5 Arduino Uno</b> .....	24
<b>2.6 Software LabVIEW</b> .....	26
2.6.1 Virtual Instrument .....	27
2.6.2 Menu .....	30
2.6.3 Data Flow Programming .....	33
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	35
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	35
<b>3.2 Alat dan Bahan Penelitian</b> .....	35
3.2.1 Alat Penelitian .....	35
3.2.2 Bahan Penelitian .....	36
<b>3.3 Diagram Alir Penelitian</b> .....	37
<b>3.4 Desain Penelitian</b> .....	37
<b>3.5 Prosedur Penelitian</b> .....	39
<b>3.6 Analisis Data</b> .....	41
3.6.1 Pengujian Alat .....	41
3.6.2 Menentukan nilai skala terkecil pembacaan alat .....	42
3.6.3 Uji-t .....	43
3.6.4 Ralat .....	44
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	45
<b>4.1 Pengujian Alat</b> .....	45
4.1.1 Pengujian Rangkaian Pengendali RGB <i>Bright</i> LED .....	46
4.1.2 Pembacaan Tegangan Keluaran Rangkaian Transimpedansi ....	49
<b>4.2 Pengukuran % Brix dan Tegangan Keluaran pada Larutan Gula</b> .....	52
<b>4.3 Pengukuran Kandungan Gula pada Nira Tebu</b> .....	57
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	63

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>70</b>



## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Penyebaran area tanaman tebu di Indonesia .....	7
2.2 Hasil analisis kandungan nira tebu .....	8
2.3 Karakteristik Arduino UNO .....	26
4.1 Hasil pengujian pada kendali RGB <i>bright</i> LED menggunakan <i>software</i> LabVIEW .....	46
4.2 Hasil pengujian pada pembacaan tegangan keluaran rangkaian transimpedansi .....	52
4.3 Persamaan regresi linier dan nilai koefisien determinasi ketika menggunakan refraktometer digital .....	53
4.4 Nilai aproksimasi dari frekuensi dan panjang gelombang sinar tampak pada ruang hampa .....	54
4.5 Persamaan regresi linier dan nilai koefisien determinasi ketika menggunakan fotodetektor .....	55
4.6 Data hasil pengukuran nilai tegangan keluaran rangkaian transimpedansi pada larutan gula.....	56
4.7 Data hasil pengukuran % Brix refraktometer digital pada nira tebu .....	57
4.8 Data hasil pengukuran nilai tegangan keluaran rangkaian transimpedansi pada nira tebu.....	58
4.9 Selisih pengukuran konsentrasi nira tebu dengan refraktometer digital terhadap fotodetektor .....	60
4.10 Hasil uji-t dari pengukuran menggunakan refraktometer digital dan fotodetektor .....	62

DAFTAR GAMBAR

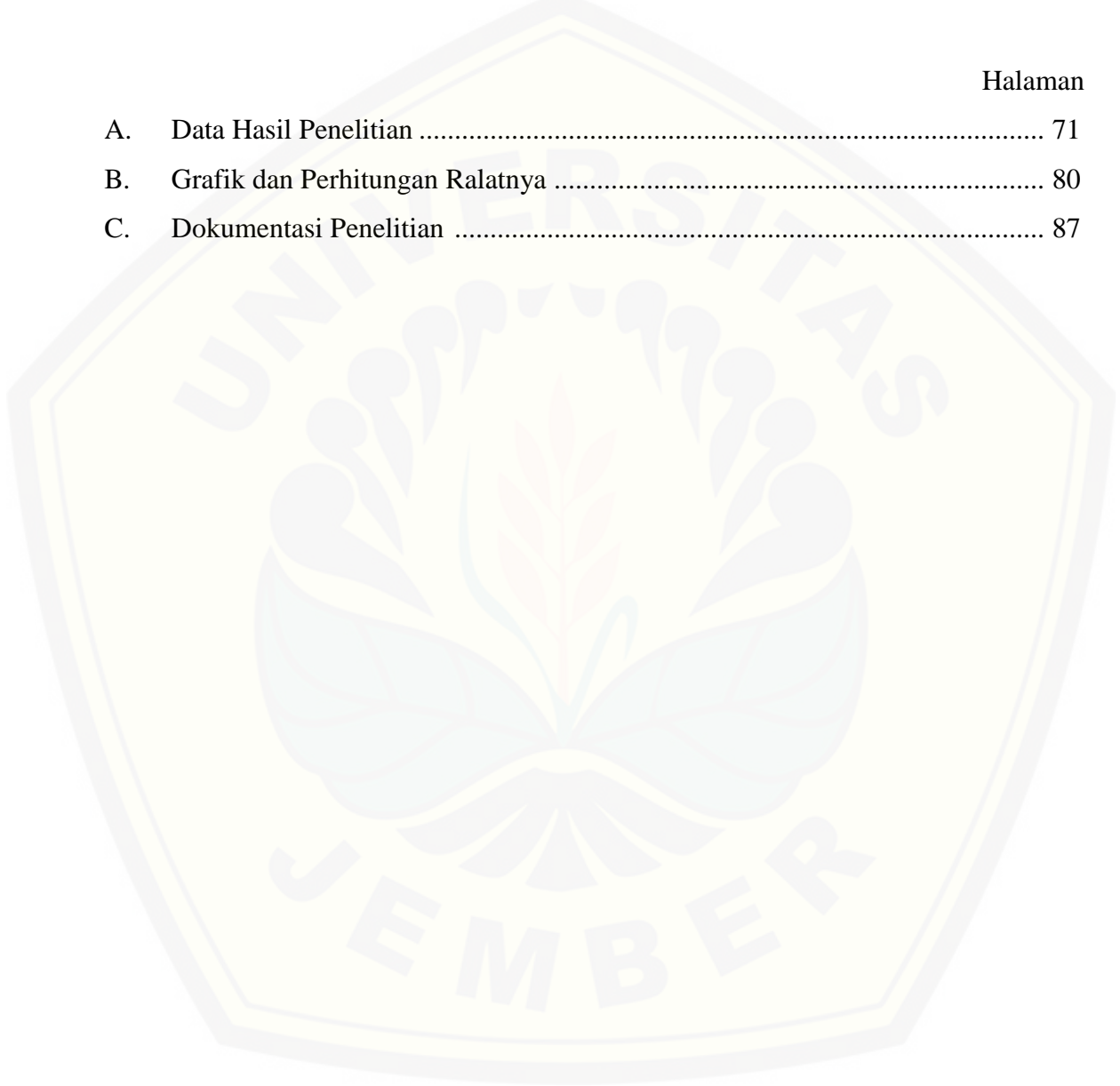
	Halaman
2.1 Penampilan tanaman tebu .....	6
2.2 Lambang LED .....	10
2.3 Diagram pita energi dari semikonduktor .....	11
2.4 Rangkaian seri LED terhadap resistor .....	12
2.5 Lambang fotodiode .....	13
2.6 Rangkaian fotodiode pada mode fotovoltaiik .....	15
2.7 Rangkaian fotodiode pada mode fotokonduktif .....	16
2.8 Tiga jenis utama serat optik .....	17
2.9 Pemantulan sinar pada bidang batas medium .....	19
2.10 Diagram blok sistem transmisi data menggunakan serat optik .....	19
2.11 Penguat operasional dan persambungannya .....	21
2.12 Rangkaian Op-Amp konfigurasi pembalik .....	22
2.13 Rangkaian Op-Amp konfigurasi non-pembalik .....	23
2.14 Modul Arduino Uno .....	25
2.15 Tampilan jendela “ <i>Getting Started</i> ” pada LabVIEW 2013 .....	27
2.16 Tampilan jendela <i>Front Panel</i> .....	28
2.17 Tampilan jendela <i>Block Diagram</i> .....	29
2.18 Tampilan jendela <i>Connector Pane</i> atau <i>Icon</i> .....	30
2.19 Pilihan rangkaian menu awal pada jendela <i>Front Panel</i> .....	30
2.20 Tampilan jendela <i>Control Pallette</i> .....	31
2.21 Tampilan jendela <i>Function Pallette</i> .....	32
2.22 Tampilan jendela <i>Tools Pallette</i> .....	33
2.23 Contoh penggunaan <i>Dataflow Programming</i> .....	34
3.1 Diagram alir penelitian .....	37



3.2	Desain rangkaian penelitian .....	38
3.3	Rangkaian penguat operasional yang digunakan .....	38
3.4	Bagian tebu yang akan diteliti .....	39
3.5	Grafik hubungan antara konsentrasi terhadap tegangan keluaran dan konsentrasi terhadap % Brix.....	41
4.1	Jendela <i>Block Diagram</i> LabVIEW untuk pengendalian RGB <i>bright</i> LED.....	47
4.2	Jendela <i>Front Panel</i> LabVIEW untuk pengendalian RGB <i>bright</i> LED.....	48
4.3	Jendela <i>Block Diagram</i> pada LabVIEW untuk pembacaan tegangan keluaran rangkaian transimpedansi .....	50
4.4	Jendela <i>Front Panel</i> LabVIEW untuk pembacaan tegangan keluaran rangkaian transimpedansi .....	51
4.5	Grafik hubungan antara konsentrasi larutan gula terhadap % Brix refraktometer digital yang terukur.....	53
4.6	Grafik hubungan antara konsentrasi larutan gula terhadap tegangan keluaran rangkaian transimpedansi yang terukur .....	55

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A. Data Hasil Penelitian .....	71
B. Grafik dan Perhitungan Ralatnya .....	80
C. Dokumentasi Penelitian .....	87



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, kemajuan teknologi ditandai dengan semakin berkembangnya industri elektronik yang mampu memproduksi peralatan untuk menunjang aktivitas dan kreativitas manusia (Priambodo, 2013). Salah satu teknologi yang mengalami perkembangan adalah pada bidang instrumentasi optik. Perangkat instrumentasi optik terdiri dari sumber sinar, media transmisi dan sensor penerima yang digunakan untuk mengukur besaran fisis dari suatu bahan. Serat optik merupakan media transmisi sinar dari laser atau *Light Emitting Diode* (LED) menuju fotodetektor. Selain untuk transmisi data, serat optik juga dapat digunakan sebagai sensor. Pemanfaatan serat optik sebagai sensor dapat digunakan pada pengukuran kadar gula, *biomedical*, dan *pharmaceutical* (Fajarini, 2011).

Pendeteksian kadar glukosa dalam air destilasi menggunakan serat optik berbasis sensor pergeseran dengan *probe* bundel telah dikembangkan oleh Yasin *et al.*, (2010). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa puncak tegangan atau intensitas sinar adalah sebanding dengan konsentrasi glukosa. Sejalan dengan penelitian tersebut Aini *et al.*, (2013) juga melakukan pengujian kadar glukosa dalam air destilasi menggunakan serat optik berbasis sensor pergeseran dengan *fiber coupler*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan glukosa yang digunakan, semakin tinggi pula tegangan keluaran yang dihasilkan.

Metode lain yang umum digunakan untuk mengukur kadar gula adalah dengan metode *refractometric*, *Near Infrared Reflectance* (NIR), *polarimetric*, dan kromatografi. Beberapa metode tersebut memiliki keterbatasan untuk digunakan di lapang karena membutuhkan waktu yang cukup lama, ketergantungan operator, dan membutuhkan reagen yang berbahaya (Nawi *et al.*, 2012). Beberapa penelitian di laboratorium telah menunjukkan bahwa metode spektroskopi dengan gelombang

inframerah dapat berhasil digunakan untuk memprediksi kualitas tebu berdasarkan sampel nira tebu (Valderrama *et al.*, 2007).

Pengukuran yang lebih sederhana dilakukan menggunakan alat refraktometer, yaitu dengan meneteskan nira tebu ke salah satu bagian refraktometer. Pengukuran ini memanfaatkan prinsip indeks bias. Semakin tinggi kadar gula pada nira tebu maka indeks biasnya akan semakin tinggi sehingga refraktometer akan menunjukkan skala yang semakin besar. Kelemahan dari alat ini adalah adanya pengaruh sinar matahari ketika pengukuran dilaksanakan di lapang. Semakin tinggi intensitas sinar matahari maka semakin tinggi skala refraktometer yang akan didapatkan.

Kelemahan dari penelitian sebelumnya antara lain belum terintegrasinya penelitian menggunakan *personal computer* (PC) untuk pengendalian alat ukur dan media penyimpanan data, serta akurasi rendah yang disebabkan oleh keterbatasan alat dan sampel yang digunakan. Beberapa kelemahan dari penelitian sebelumnya mengindikasikan perlunya perbaikan dalam melakukan kegiatan pengukuran. Sejalan dengan kondisi tersebut, prinsip optik memberikan peluang untuk mengukur nira tebu melalui pengamatan transmisi sinar yang diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik.

Berdasarkan gagasan di atas, maka diperlukan sebuah alat ukur berupa *prototype* yang digunakan untuk mengukur kadar gula pada nira tebu. Alat yang akan dibuat memanfaatkan sensor cahaya berupa PIN fotodioda BPW 34, RGB (*Red-Green-Blue*) *bright* LED yang digunakan sebagai sumber cahaya, serat optik yang digunakan sebagai media transmisi dari sumber sinar, serta modul Arduino UNO yang digunakan sebagai modul mikrokontroler yang dihubungkan dengan PC. Prinsip alat ini adalah sinar dilewatkan melalui serat optik. Selanjutnya oleh serat optik, paket-paket energi dari sinar akan diteruskan ke nira tebu. Karena sifat optik dari larutan yang mengandung gula maka akan ada sinar yang diserap oleh larutan. Selanjutnya, sinar RGB *bright* LED ditransmisikan oleh serat optik menuju sensor PIN fotodioda. Penggunaan PC akan mengendalikan intensitas sumber sinar,

menampilkan data hasil pengukuran kadar gula serta digunakan sebagai media penyimpan data.

Selain menggunakan fotodetektor, pada penelitian ini juga digunakan refraktometer digital. Penggunaan refraktometer digital tersebut adalah untuk mendapatkan data pembandingan. Selanjutnya hasil penelitian dari kedua alat tersebut akan diuji statistik menggunakan uji-t.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan pemaparan latar belakang di atas, maka pada penelitian ini permasalahan yang dapat diangkat adalah:

1. Sinar RGB *bright* LED manakah yang paling baik digunakan untuk pengukuran kadar gula pada nira tebu?
2. Bagaimanakah hasil pengukuran kadar gula pada nira tebu yang diperoleh dari penggunaan fotodetektor jika dibandingkan dengan refraktometer digital?

### **1.3 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini terdapat batasan-batasan masalah yang perlu diketahui, yaitu:

1. Suhu pengukuran nira tebu berada pada suhu ruang.
2. Sampel tebu yang digunakan adalah tebu di Kecamatan Umbulsari Kabupaten Jember.
3. Tiga bagian ruas dalam satu batang tebu yang digunakan diasumsikan memiliki kandungan zat pengotor yang sama.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui sinar RGB *bright* LED yang paling baik digunakan untuk pengukuran kadar gula pada nira tebu.

2. Mengetahui perbandingan hasil pengukuran kadar gula pada nira tebu yang diperoleh dari penggunaan fotodetektor terhadap refraktometer digital.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak yang terkait sehingga memberikan nilai lebih pada penelitian yang dilakukan.

#### **1. Manfaat Teoritis**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi dan memperkaya khasanah ilmu pengetahuan di bidang fisika khususnya pada bidang instrumentasi optik.

#### **2. Manfaat Praktis**

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah memberikan sumbangsih terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi berupa alat ukur kadar gula. Alat ukur yang dihasilkan pada penelitian ini digunakan untuk memperbaiki kekurangan dari beberapa alat ukur yang sebelumnya sudah dibuat. Alat ukur yang digunakan diharapkan mampu membantu mempermudah pengukuran kadar gula pada nira tebu dan meminimalkan kesalahan pengukuran pada sampel tebu yang akan diuji.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tebu

Menurut Juwita (2012) tebu (*Saccharum officinarum* L.) dalam ilmu taksonomi memiliki klasifikasi:

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Super Divisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Sub kelas	: Commelinidae
Ordo	: Poales
Famili	: Poaceae
Genus	: Saccharum
Spesies	: <i>Saccharum officinarum</i> .

Secara keseluruhan terdapat tiga spesies tebu, meliputi *S. officinarum*, *S. robustum*, dan *S. spontaneum*, serta dua sub spesies, yaitu *S. sinense* dan *S. barberi* (Fauconnier dalam Marliani, 2011), namun *Saccharum officinarum* adalah jenis tebu yang paling banyak dibudidayakan karena kandungan sukrosa yang dimilikinya sangat tinggi (Sudiatso dalam Marliani, 2011).

Tanaman tebu tumbuh subur di daerah tropis dan sub tropis sampai batas garis isotherm 20<sup>0</sup> C yaitu antara 19<sup>0</sup> LU – 35<sup>0</sup> LS. Kondisi tanah yang baik bagi tanaman tebu adalah tanah yang tidak terlalu kering dan tidak terlalu basah, selain itu karena akar tanaman tebu sangat sensitif terhadap kekurangan udara dalam tanah, maka sistem pengairan dan drainase harus sangat diperhatikan (Indrawanto *et al.*, 2010). Tanaman tebu merupakan salah satu komoditas penting untuk dijadikan bahan utama pembuatan gula (Royyani dan Lestari dalam Putri *et al.*, 2010). Sebagai salah

satu penghasil terbesar karbohidrat, tebu sangat diperlukan dalam kehidupan sehingga kebutuhan tebu terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk (Putri *et al.*, 2013).



Gambar 2.1 Penampilan tanaman tebu  
(Sumber: Indrawanto, 2010)

Menurut Tambunan (2011) kekayaan alam Indonesia merupakan sumber daya alam yang sangat berharga, iklim tropis yang dimiliki negara ini membuatnya menjadi negara agraris yang banyak mengandalkan sektor agraria dalam menunjang pembangunan dan kebutuhan masyarakatnya. Salah satu tanaman yang tumbuh subur di Indonesia adalah tanaman tebu. Nasir (2013) mendapati bahwa pada tahun 2013 luas areal tanaman tebu di Indonesia mencapai 463.566,60 hektar dengan kontribusi utama adalah pulau Jawa dengan provinsi Jawa Timur sebagai provinsi dengan areal tanaman tebu terluas di Indonesia. Lahan tanaman tebu yang cukup luas tersebut menjadikan gula tebu sebagai salah satu komoditas pertanian yang telah ditetapkan Indonesia sebagai komoditas khusus dalam forum perundingan Organisasi Perdagangan Dunia (WTO), bersama beras, jagung dan kedelai (Hairani *et al.*, 2014). Adapun perincian luas areal tanaman tebu di Indonesia adalah sebagai berikut:



Tabel 2.1 Data penyebaran area tanaman tebu di Indonesia

Provinsi	Luas Lahan dalam %
Jawa Timur	45,7
Jawa Tengah	12,5
Jawa Barat	4,5
Lampung	27,3
Gorontalo	2,1
Sulawesi Selatan	2,9
Sumatera Selatan	2,1
Sumatera Utara	2,1
DIY	0,8

Sumber: Nasir, (2013)

Kualitas gula yang dihasilkan sangat ditentukan oleh bahan baku utamanya yaitu nira tebu (Erwinda dan Wahono, 2014). Agar gula yang dihasilkan berkualitas baik, maka perlu dilakukan proses pemurnian nira untuk menghilangkan kotoran-kotoran dan menjadikannya bentuk garam yang mengendap, sehingga nira menjadi jernih (Latief *et al.*, 2010). Selain hal tersebut kualitas nira juga dipengaruhi oleh lokasi penanaman tebu, kondisi iklim tanam, komposisi nira dan kondisi penyimpanan. Selama masa penyimpanan nira tidak akan mengalami banyak perubahan sifat fisis maupun kimia, karena sifat dari molase yang memiliki pH 5,5 – 6,5 dan memiliki konsentrasi gula yang cukup tinggi (Prescott dan Dunn dalam Apriwinda, 2013).

Nira merupakan cairan yang keluar dari pohon aren, lontar, sorgum maupun batang tebu serta pohon penghasil nira lainnya. Komposisi nira dari suatu jenis tanaman diantaranya dipengaruhi oleh varietas tanaman, umur tanaman, kesehatan tanaman, keadaan tanah, iklim, pemupukan, dan pengairan. Sehingga setiap jenis tanaman mempunyai komposisi nira yang berbeda yang umumnya terdiri dari air, sukrosa, gula reduksi, bahan organik lain dan bahan anorganik. Kandungan air dalam nira sangat besar yaitu antara 75 – 90 %. Sukrosa merupakan bagian zat padat

yang terdapat dalam nira dan berkisar antara 12,30 – 17,40 %. Gula reduksi antara 0,50 – 1,00 % dan sisanya merupakan senyawa organik serta anorganik (Apriwinda, 2013). Sedangkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Erwinda dan Wahono (2014) tentang kandungan nira tebu mendapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2.2 Data hasil analisis kandungan nira tebu

Parameter	Nira tebu pH 4.5 (±0.1)		Nira tebu pH 5.0 (±0.1)		Nira tebu pH 5.5 (±0.1)	
	Hasil Analisis	Pustaka	Hasil Analisis	Pustaka	Hasil Analisis	Pustaka
	<b>Kadar Air (%)</b>	80,19	-	80,26	-	80,38
<b>Kadar Sukrosa (%)</b>	15,05	15,30	16,98	17,26	18,08	18,25
<b>Kadar Gula Reduksi (%)</b>	1,59	1,23	0,98	0,69	0,54	0,57
<b>Kadar Abu (%)</b>	0,35	-	0,41	-	0,45	-

Sumber: Erwinda dan Wahono, (2014)

Salah satu produk dari nira tebu adalah gula kristal. Gula kristal berasal dari nira tebu yang dicampur dengan air imbibisi dan bahan kimia lainnya dan melalui beberapa tahap proses sehingga siap dipasarkan atau dijual. Sedangkan tetes adalah air sisa dari gula kristal setelah dilakukan pencucian antara nira kental dengan bahan kimia (Hasanah, 2013).

Karakterisasi nira tebu dilakukan terhadap hasil ekstraksi batang tebu. Hasil ekstraksi tersebut berupa nira tebu. Parameter yang diukur dari nira meliputi kadar sukrosa, gula pereduksi, total asam dan pH (Filianty *et al.*, 2006). Kualitas gula diukur dengan menganalisis Nira Perahan Pertama (NPP) tebu. Analisis kualitas nira meliputi %Brix, %Pol, pH, gula reduksi %Brix, Harkat Kemurnian (HK) dan Nilai Nira Perahan Pertama (NNPP). %Brix adalah zat padat kering terlarut dalam larutan (gr/100 gr larutan) yang dihitung sebagai sukrosa. %Pol adalah jumlah gula

(gr) yang terlarut dalam 100 gram larutan. pH merupakan parameter keasaman yang mempengaruhi kualitas nira tebu pada setiap proses pengolahan menjadi gula. Gula reduksi %Brix merupakan hasil inversi dari sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa. HK merupakan persentase %Pol terhadap %Brix. Sedangkan NNPP adalah besaran yang menyatakan kristal (%) yang diperkirakan dapat diperoleh dari NPP (Santoso Kuspratomo *et al.*, 2012).

## 2.2 Teori Diode

*Diode* merupakan singkatan dari kata *di* yang berarti dua dan *ode* yang berasal dari kata *elektrode*. *Diode* memiliki prinsip kerja sebagai penghantar bila beda tegangan listrik diberikan pada arah tertentu, akan tetapi *diode* akan bersifat sebagai isolator apabila beda tegangan listrik diberikan pada arah yang berlawanan. Pada awalnya *diode* merupakan piranti tabung hampa dengan filamen panas (disebut *katode*) yang memancarkan elektron-elektron bebas, dan suatu pelat positif (disebut *anode*) yang mengumpulkan elektron-elektron tersebut. Namun dalam perkembangannya, saat ini *diode* merupakan sebuah piranti semikonduktor dengan bahan tipe N yang menyediakan elektron-elektron bebas dan bahan tipe P yang mengumpulkannya (Malvino, 1985).

Optoelektronika adalah teknologi yang memanfaatkan penggabungan antara bidang optika dan elektronika yang didasarkan atas perilaku persambungan p-n. Beberapa contoh alat optoelektronika adalah *Light Emitting Diode* (LED), fotodiode, dan *optocoupler* (Malvino, 1984).

### 2.2.1 LED (*Light Emitting Diode*)

Ginting *et al.* (2013) memberikan penjelasan bahwa cahaya merupakan sejenis energi berbentuk gelombang elektromagnetik yang bisa dilihat dengan mata. Cahaya juga merupakan dasar ukuran meter, 1 meter adalah jarak yang dilalui cahaya melalui vakum pada  $\frac{1}{299,792,458}$  detik. Kecepatan cahaya adalah

299,7924,458 meter per detik. Wilson (2005) juga menjelaskan bahwa cahaya adalah fenomena mekanika kuantum yang berasal dari partikel diskrit yang disebut sebagai foton. Panjang gelombang  $\lambda$ , kecepatan  $c$  sebesar  $3 \times 10^8$  m/s, dan frekuensi

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda} \quad (2.1)$$

Energinya adalah sebesar

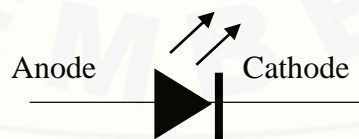
$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.2)$$

Sedangkan momentumnya adalah sebesar

$$P = \frac{h}{\lambda} \quad (2.3)$$

Dimana  $h$  adalah tetapan Plank dengan nilai  $6,67 \times 10^{-34}$  Js. Dari keseluruhan persamaan tersebut hal yang penting diingat adalah hubungan antara energi terhadap panjang gelombang.

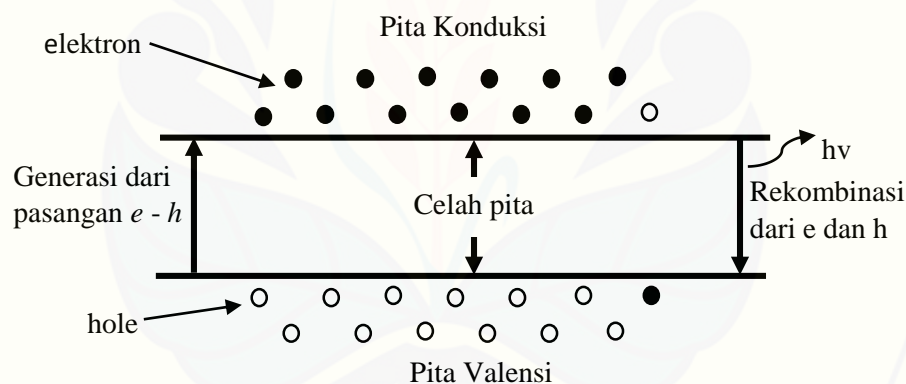
LED adalah salah satu komponen elektronika yang dapat mengeluarkan emisi cahaya. LED akan memancarkan cahaya saat diberikan arus listrik. LED hanya mampu mengeluarkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang tersebut akan ditangkap oleh mata manusia sebagai suatu sinar sehingga LED hanya memiliki satu warna saja (Sary, 2009). Secara simbolik LED dapat digambar dalam bentuk:



Gambar 2.2 Lambang LED  
(Sumber: Sary, 2009)

LED termasuk dalam bahan semikonduktor sambungan p-n yang memancarkan sinar apabila diberi panjar maju. Elektron bebas pada bahan jenis n akan berdifusi masuk ke dalam bahan jenis p dan sebaliknya *hole* pada bahan jenis

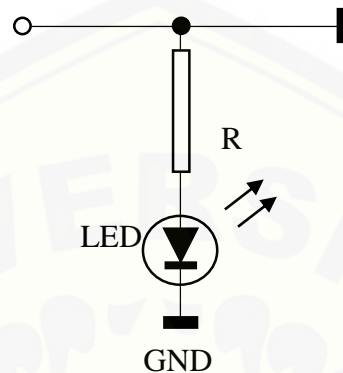
p akan berdifusi masuk ke dalam bahan jenis n melalui sambungan. Akibatnya, tepat pada sambungan p-n terjadi daerah tanpa muatan bebas yang biasa disebut sebagai daerah deplesi (Sutrisno, 1986). Baik *hole* bebas maupun elektron bebas tidak memiliki cukup energi untuk berekombinasi. Apabila diberi suatu tegangan maju maka daerah deplesi akan mengecil, sehingga *hole* bebas dan elektron bebas memiliki cukup energi untuk berpindah melewati sambungan. Selanjutnya elektron akan turun ke bidang valensi dan kemudian berekombinasi dengan *hole* tersebut. Ketika elektron telah berekombinasi dengan *hole*, elektron akan terlepas dari energi ikatnya. Rekombinasi tersebut menghasilkan energi yang terlepas dari elektron. Energi tersebut digunakan untuk memancarkan foton (rekombinasi radiaktif), dan memanaskan partikel-partikel kristal (rekombinasi non-radiaktif). Pancaran foton tersebut menghasilkan sinar pada LED (Sary, 2009).



Gambar 2.3 Diagram pita energi dari semikonduktor  
(Sumber: Puri dan Babbar, 2001)

Emisi sinar dari bahan semikonduktor didapatkan dari bahan Galium Arsenida (GaAs) yang dapat memancarkan sinar infra-merah, atau Galium Arsenida Phospida (GaAsP) yang dapat memancarkan sinar merah atau kuning, atau juga Galium Phospida (GaP) yang dapat memancarkan sinar merah atau hijau. Setiap jenis LED mempunyai karakteristik tegangan dan arus yang berbeda. Semakin besar arus yang melewati LED maka semakin terang nyala dan daya yang dibutuhkan. Arus ini tidak boleh melebihi batas dari spesifikasi LED tersebut

karena jika melebihi batas tersebut, maka LED akan rusak atau mungkin terbakar. Sehingga, untuk membatasi arus besar yang lewat maka diperlukan suatu resistor (Sary, 2009). Resistor dirangkai seri terhadap LED seperti desain berikut ini:



Gambar 2.4 Rangkaian seri LED terhadap resistor  
(Sumber: Mashuri, 2009)

Secara umum, arus LED sebesar 10 mA sampai dengan 20 mA sudah cukup untuk menghasilkan pancaran sinar yang memadai untuk berbagai aplikasi. Arus maksimum yang dapat diterima oleh LED besarnya sekitar 50 mA (Malvino, 1985). Tingkat intensitas sinar yang dipancarkan oleh LED bergantung pada arus yang mengalir padanya. Salah satu metode untuk mengendalikan intensitas sinar LED adalah menghubungkan LED dengan catu daya yang memiliki nilai tegangan besar serta resistor yang memiliki nilai resistansi besar dan disusun secara seri terhadap LED. Dalam kasus tersebut, arus yang mengalir pada LED adalah sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$I = \frac{V_S - V_{LED}}{R_S} \quad (2.4)$$

Dengan :  $I$  = Arus pada LED (mA)

$V_S$  = Tegangan sumber (V)

$V_{LED}$  = Tegangan LED (V)

$R_S$  = Hambatan yang disusun seri terhadap LED (Ohm)

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar  $V_s$ , maka tegangan  $V_{LED}$  akan memiliki pengaruh yang kecil terhadap arus yang terdapat pada LED (Malvino, 1984). Menurut Malvino (1985) sebagian besar penggunaan lampu pijar sudah digantikan oleh LED karena kelebihanannya yaitu:

1. Tegangan operasi yang rendah;
2. Umur penggunaan yang panjang;
3. Sistem penyaklaran (*switching*) *on-off* yang cepat.

### 2.2.2 Fotodioda

Menurut Wilson (2005) sensor pendeteksi cahaya dibagi dalam dua kategori utama yaitu detektor kuantum dan detektor suhu. Prinsip kerja dari detektor kuantum adalah seluruh radiasi dari sinar akan diubah menjadi elektron oleh perangkat semikonduktor, selanjutnya akan diproses dan menghasilkan arus pada rangkaian elektronika. Sedangkan detektor suhu memiliki prinsip kerja berupa penyerapan energi dari radiasi cahaya yang menyebabkan perubahan suhu sehingga detektor akan bekerja. Secara simbolik fotodioda dapat digambar dalam bentuk:



Gambar 2.5 Lambang fotodioda  
(Sumber: Sary, 2009)

Fotodioda adalah suatu jenis dioda yang resistansinya berubah menyesuaikan dengan intensitas cahaya yang jatuh mengenainya. Pada keadaan gelap nilai tahanan fotodioda sangat besar sehingga tidak ada arus yang mengalir. Semakin kuat cahaya yang jatuh pada dioda maka semakin kecil nilai tahanannya, sehingga arus yang mengalir semakin besar. Jika fotodioda persambungan p-n yang diberi tegangan balik disinari, maka arus akan berubah secara linier dengan kenaikan fluks cahaya yang dikenakan pada persambungannya. Berdasarkan prinsip kerja tersebut dapat dibuat alat untuk mendeteksi intensitas cahaya dengan memanfaatkan

karakteristik fotodioda yang selanjutnya dapat dikembangkan sebagai sensor yang peka terhadap intensitas cahaya yang mengenainya (Sary, 2009). Fotodioda termasuk dalam sensor optik yang terbuat dari bahan semikonduktor. Kegunaan dari sensor optik berbahan semikonduktor adalah mengubah sinyal masukan berupa optik menjadi sinyal keluaran berupa listrik (Abid, 2011). Sehingga fotodioda dapat digunakan sebagai detektor cahaya dengan mengamati arus yang mengalir melaluinya. Malvino (1984) menjelaskan bahwa fotodioda merupakan salah satu peralatan semikonduktor yang memiliki fungsi paling baik berdasarkan kepekaannya terhadap cahaya.

Menurut Wilson (2005) jika sebuah foton diserap dan elektron akan bergerak bebas dari pita valensi ke pita konduksi, maka elektron akan melewati *energy barrier* ketika energi dari foton mencukupi. Pada keadaan tersebut, fotodioda akan menghasilkan arus jika foton yang terserap memiliki energi lebih untuk melewati persambungan p-n.

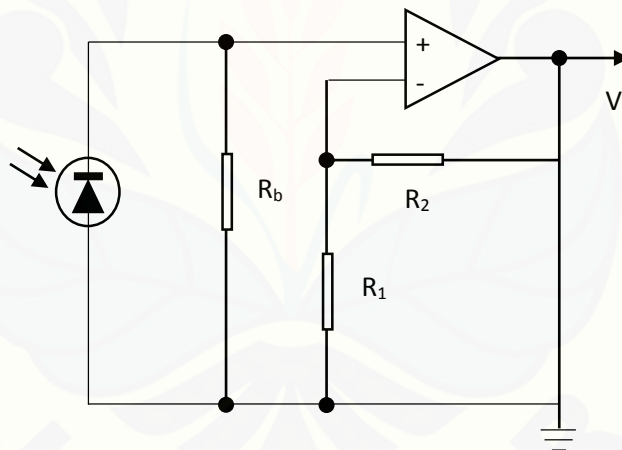
Kecepatan respon fotodioda dapat ditingkatkan dengan meningkatkan lebar daerah deplesi. Daerah deplesi dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan semikonduktor intrinsik pada persambungan p-n (Abid, 2011). Peningkatan lebar daerah deplesi tersebut akan mengubah persambungan fotodioda dari persambungan p-n menjadi p-i-n. Pada fotodioda persambungan p-n, daerah deplesi pasangan muatan pembawa terpisah dan mengalir di dalam pengaruh medan listrik, sedangkan di luar daerah deplesi *hole* akan berdifusi ke daerah deplesi. Proses difusi berlangsung sangat lambat dibandingkan dengan aliran pasangan muatan sehingga berpengaruh terhadap pembatasan respon fotodioda. Namun pada fotodioda persambungan p-i-n, proses difusi dan aliran pembawa muatan berlangsung begitu cepat dibandingkan pada fotodioda persambungan p-n sehingga berpengaruh pada respon fotodioda yang begitu cepat (Kundu *et al.*, 2012). Karena respon yang begitu cepat terhadap sinar, fotodioda persambungan p-i-n dengan material semikonduktor InGaAs menjadi komponen penting dalam sistem komunikasi berbasis *fiber optic* (Wang *et al.*, 2008).



Fotodioda sambungan p-i-n sering digunakan pada komunikasi serat optik. Efisiensi kuantum dari fotodioda p-i-n lebih besar dari pada fotodioda untuk sel surya (fotovoltaik). Karakteristik dari fotodioda sambungan p-i-n sangat dipengaruhi oleh tebal dari konsentrasi doping dari lapisan-i. Tebal dari lapisan-i adalah  $3\mu\text{m}$  pada fotodioda sambungan p-i-n yang terbuat dari bahan campuran semikonduktor unsur golongan III dan golongan V (Fukuda, 1999). Secara umum fotodioda dapat dioperasikan pada dua keadaan dasar, yaitu fotovoltaik dan fotokonduktif.

### 1. Mode Fotovoltaik

Pada mode fotovoltaik, fotodioda dihubungkan dengan *ground* dari rangkaian *preamplifier* seperti pada gambar berikut:

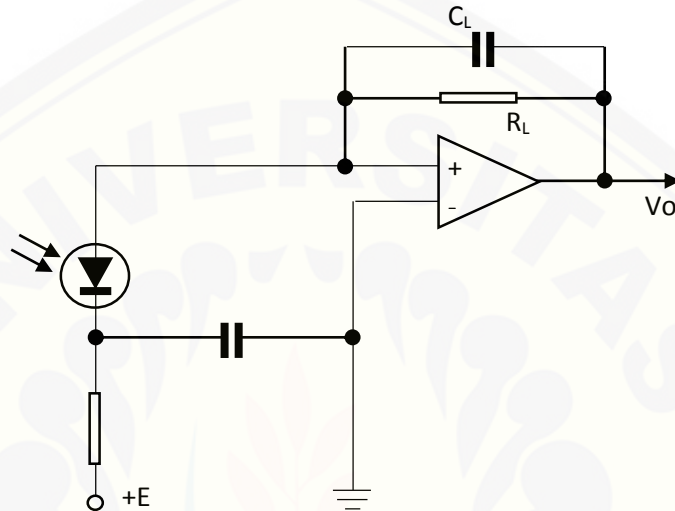


Gambar 2.6 Rangkaian fotodioda pada mode fotovoltaik  
(Sumber: Wilson, 2005)

Foton yang mengenai fotodioda menyebabkan adanya tegangan yang akan dikuatkan oleh rangkaian Op-Amp. Karakteristik dari rangkaian ini adalah sinyal yang terdeteksi akan cukup besar. (Wilson, 2005).

## 2. Mode Fotokonduktif

Pada mode fotokonduktif, fotodiode dipanjar mundur dan arus yang melewati fotodiode diubah menjadi tegangan yang akan dikuatkan seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.7 Rangkaian fotodiode pada mode fotokonduktif  
(Sumber: Wilson, 2005)

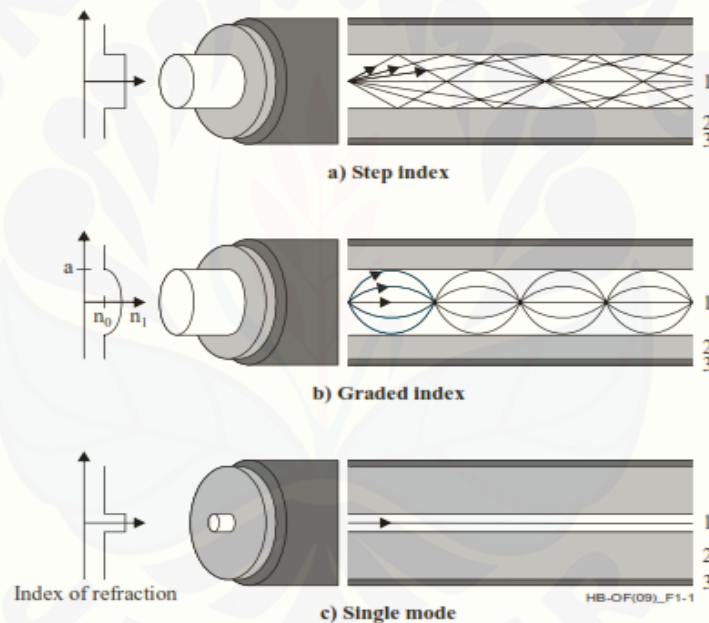
Keuntungan dari rangkaian mode ini adalah karena dipanjar mundur maka efektifitas kapasitansi akan meningkat (karena perluasan daerah deplesi) sehingga akan memiliki respon yang lebih cepat. Namun kekurangan dari rangkaian mode ini adalah sinyal yang terdeteksi memiliki kekuatan yang kecil (Wilson, 2005).

## 2.3 Serat Optik

Pertumbuhan industri jaringan telekomunikasi serat optik beberapa tahun terakhir membahas topik utama yang perlu dikembangkan yaitu kecepatan transmisi yang harus meningkat ketika saluran serat optik semakin kecil (Zurita, 2011). Terdapat dua jenis serat optik yaitu *Single mode fiber optic* dan *Multi mode fiber optic*. *Single mode fiber optic* mempunyai diameter *core* sekitar  $10\ \mu\text{m}$  dan diameter *cladding*  $125\ \mu\text{m}$ . *Fiber optic* jenis ini pada umumnya digunakan pada

sistem telekomunikasi. Sedangkan *Multi mode fiber optic* memiliki diameter *core* sekitar  $50\ \mu\text{m}$  dan diameter *cladding*  $125\ \mu\text{m}$  dan biasanya digunakan pada sistem jaringan *Local Area Network* (LAN) (Waluyo dan Agus, 2009).

*Multi mode fiber optic* adalah pandu gelombang dielektrik yang dapat memiliki banyak arah mode perambatan. Cahaya dalam mode ini mengikuti jalur yang dapat diwakili oleh sinar seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.a dan 2.8.b, dimana daerah 1, 2 dan 3 masing-masing adalah *core*, *cladding* dan *coating*. *Cladding* memiliki indeks bias dan parameter terkait dengan konstanta dielektrik yang sedikit lebih rendah dari pada indeks bias *core*.



Gambar 2.8 Tiga jenis utama serat optik  
(Sumber: Johnson, 2010)

Gambar 2.8.a disebut sebagai *Step index* karena memiliki indeks bias yang berubah secara tiba-tiba dari *cladding* ke *core*. Akibatnya, semua sinar akan sepenuhnya dipantulkan dalam arah sudut tertentu pada batas antara *core* dengan *cladding*. Lapisan *coating* adalah bahan plastik yang melindungi *cladding* dari abrasi. Karena penjalaran sinar berbeda-beda bergantung pada sudut relatif terhadap sumbu yang terbentuk maka pulsa akan sampai pada ujung serat dengan selisih waktu yang

lama, sehingga pulsa akan menyebar dan menyebabkan terbatasnya bit dari sinyal digital yang dapat ditransmisikan. Gambar 2.8.b disebut sebagai *Graded index*. Karena memiliki indeks bias yang berubah secara lambat dari *cladding* ke *core* maka pulsa akan sampai pada ujung serat dengan selisih waktu yang relatif bersamaan meskipun melalui jalur yang berbeda-beda karena kecepatan transmisinya yang hampir sama. Kecepatan tersebut mengakibatkan penyebaran pulsa yang tereduksi hingga 100 kali atau lebih dibandingkan pada jenis *Step Index*. *Single mode* merupakan jenis serat optik yang memiliki diameter *core* paling kecil diantara dua jenis serat optik sebelumnya. Pada serat optik jenis *Single mode* tidak ada pulsa yang menyebar seperti pada Gambar 2.8.c (Johnson, 2010).

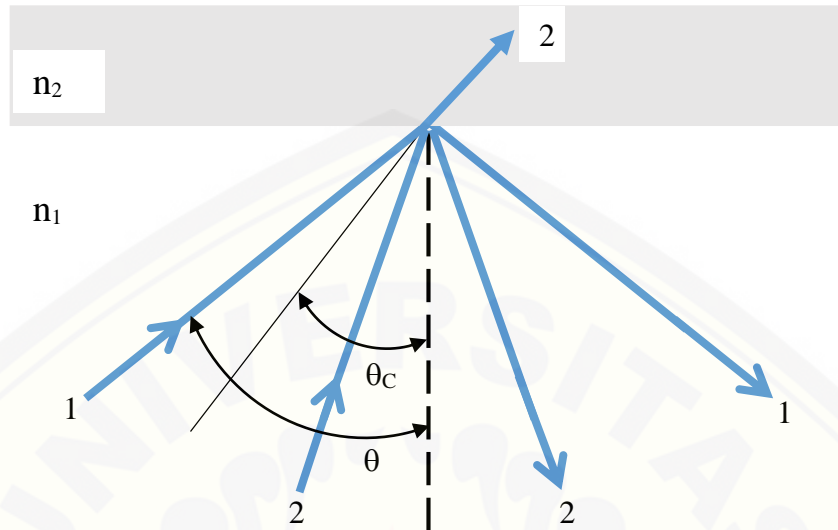
Transmisi sinyal melalui serat optik memiliki keunggulan bila dibandingkan dengan sistem transmisi gelombang listrik maupun gelombang mikro, antara lain ukurannya sangat kecil dan ringan sehingga mudah dalam penanganan dan instalasinya, isyarat gelombang optik yang digunakan sebagai gelombang pembawa (*carrier wave*) tidak mudah terpengaruh oleh gangguan kelistrikan maupun medan magnetik. Selain itu, transmisi sinyal melalui serat optik memiliki lebar pita atau kapasitas transmisi yang besar sehingga dapat mengirimkan data dalam jumlah yang besar dan cepat (Widodo, 1995).

Smith (1999) menyatakan bahwa jika sinar di dalam medium dengan indeks bias  $n_1$  membentur batas medium lain dengan indeks bias  $n_2$  ( $n_2 < n_1$ ) pada sudut  $\theta$  dan  $\theta$  lebih besar dari  $\theta_c$ , maka sinar akan dipantulkan secara keseluruhan menuju ke medium pertama, dimana:

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (2.5)$$

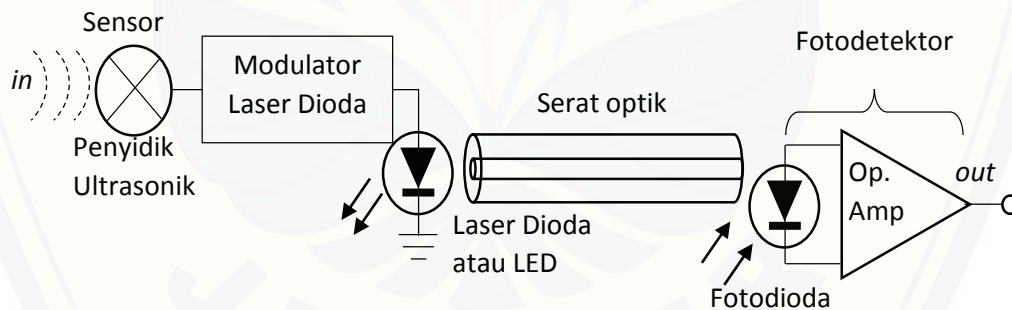
- Dengan :
- $\theta_c$  = sudut kritis
  - $n_1$  = indeks bias medium pertama (*core*)
  - $n_2$  = indeks bias medium kedua (*cladding*)

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut ini:



Gambar 2.9 Pemantulan sinar pada bidang batas medium  
(Sumber: Smith, 1999)

Secara umum, sistem transmisi data analog menggunakan serat optik dinyatakan seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.10 Diagram blok sistem transmisi data menggunakan serat optik  
(Sumber : Waluyo dan Agus, 2009)

Karena yang digunakan adalah *single mode fiber optic* maka sumber cahaya yang digunakan adalah laser dioda atau LED (Waluyo dan Agus, 2009). Menurut Siswanto (2005) cahaya yang merambat dalam serat optik intensitasnya akan berkurang, pengurangan intensitas ini disebut atenuasi. Atenuasi disebabkan adanya penyerapan cahaya oleh bahan material serat optik serta penghamburan

cahaya. Besarnya atenuasi tergantung jarak yang ditempuh dan karakteristik bahan serat optik. Sehingga untuk memperkuat keluaran diperlukan rangkaian penguat operasional.

Jalur transmisi data menggunakan serat optik dengan *bandwidth* yang luas harus diikuti dengan penemuan-penemuan divais optik yang memadai untuk mendukung kinerjanya. Salah satu divais optik yang dikembangkan adalah *directional coupler* yang dapat berfungsi sebagai komponen *optical switching*, *multiplexing*, *demultiplexing*, pemecah berkas (*splitter*) dan pembagi daya atau *power divider* (Farrel, 2002).

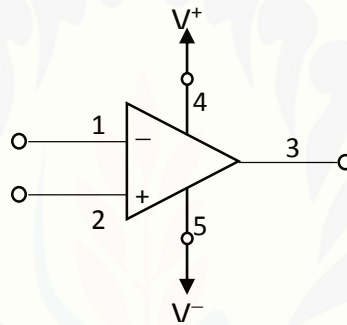
#### **2.4 Rangkaian Operational Amplifier**

Penguat operasional atau *Operational Amplifier* (disingkat Op-Amp) pertama kali dibuat pada tahun 1940-an menggunakan tabung vakum untuk melaksanakan operasi matematis berupa penjumlahan, pengurangan, perkalian, pembagian diferensiasi dan integrasi secara elektrik (Hayt dan Kemmerly, 2012). Selanjutnya, pada pertengahan tahun 1960-an penguat operasional rangkaian terpadu yang pertama dihasilkan. Unit tersebut dibuat dari sejumlah besar transistor dan resistor yang berada dalam *chip* silikon yang sama sehingga masih memiliki karakteristik yang buruk dibandingkan dengan ukuran standar pada saat ini. Seiring dengan penelitian yang dilakukan, penguat operasional dengan kualitas tinggi sudah mulai tersedia. Sebuah penguat operasional yang dikembangkan tersebut menggunakan transistor, resistor, serta sebuah kapasitor yang semuanya dihubungkan dalam sebuah rangkaian kompleks (Sedra dan Kenneth, 1987).

Penguat operasional merupakan suatu penguat gandengan langsung dan bati tinggi yang dilengkapi dengan umpan balik untuk mengendalikan karakteristik tanggapannya secara menyeluruh (Milman & Halkias, 1985). Fungsi dari penguat operasional adalah untuk memperkuat tegangan yang diterima. Penguat operasional pada umumnya terintegrasi dengan sebuah sensor. Suatu isyarat keluaran dari sensor sangat kecil sehingga diperlukan rangkaian penguat operasional untuk

memperkuat isyarat keluaran tersebut. Pada masa kini penguat operasional dibuat dalam rangkaian terpadu atau IC (*Intergrated Circuit*). Penggunaan penguat operasional sangat luas meliputi bidang elektronika audio, kendali otomatis, konverter dari analog ke digital, dan lain-lain. Penggunaan secara luas tersebut dikarenakan kemampuan penguat operasional yang mampu menguatkan tegangan keluaran sampai orde  $10^5$  dari tegangan masukan (Sutrisno, 1987).

Penguat operasional memiliki tiga terminal, yaitu dua terminal masukan dan satu terminal keluaran. Penguat operasional IC membutuhkan dua catu daya DC. Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 2.11 Penguat operasional dan persambungannya  
(Sumber: Sedra dan Kenneth, 1987)

Dengan kaki 1 dan 2 adalah terminal masukan, kaki 3 adalah terminal keluaran serta dua terminal lainnya yaitu terminal 4 dan 5 adalah terminal yang masing-masing dihubungkan dengan tegangan positif  $V^+$  dan tegangan negatif  $V^-$  dari catu daya (Sedra dan Kenneth, 1987). Sutrisno (1987) menyatakan bahwa beberapa sifat ideal dari penguat operasional adalah sebagai berikut:

- Penguat tegangan konfigurasi non-pembalikan adalah tak hingga;
- Hambatan masukan pada rangkaian non-pembalikan adalah tak hingga;
- Impedansi keluaran pada rangkaian non-pembalikan adalah nol;
- Lebar pita yang tak terbatas.

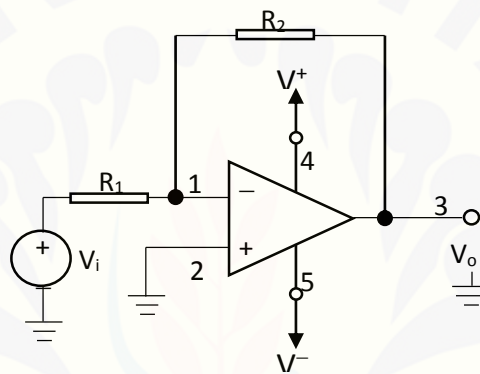
Namun dalam penggunaannya, sifat-sifat tersebut tidak terpenuhi.

Terdapat dua konfigurasi dari rangkaian penguat operasional yang didasarkan pada jalur tegangan *input* yang digunakan, yaitu rangkaian penguat operasional

pembalik dan rangkaian penguat operasional non-pembalik. Jika tegangan *input* dihubungkan dengan jalur *input* pembalik, maka tegangan *output* yang dihasilkan akan berlawanan fasa dengan tegangan masukan. Sebaliknya, Jika tegangan *input* dihubungkan dengan jalur *input* non-pembalik, maka tegangan *output* yang dihasilkan akan sefasa dengan tegangan masukan (Sutrisno, 1987).

#### 2.4.1 Rangkaian Op-Amp Konfigurasi Pembalik

Rangkaian berikut ini merupakan salah satu bentuk konfigurasi pembalik:



Gambar 2.12 Rangkaian Op-Amp konfigurasi pembalik  
(Sumber: Sedra dan Kenneth, 1987)

Pada rangkaian tersebut terdapat sebuah penguat operasional dan dua buah resistor  $R_1$  dan  $R_2$ . Resistor  $R_2$  dihubungkan dari terminal keluaran ke terminal masukan pembalik. Sehingga dapat dikatakan bahwa resistor  $R_2$  memberikan umpan balik negatif. Sedangkan resistor  $R_1$  diletakkan di antara terminal masukan pembalik dan sumber tegangan  $v_1$  (Sedra dan Kenneth, 1987). Sehingga akan didapatkan persamaan (Sutrisno, 1987):

$$v_i = I_1 R_1 \quad (2.6)$$

serta

$$v_o = I_3 R_2 = -I_1 R_2 \quad (2.7)$$

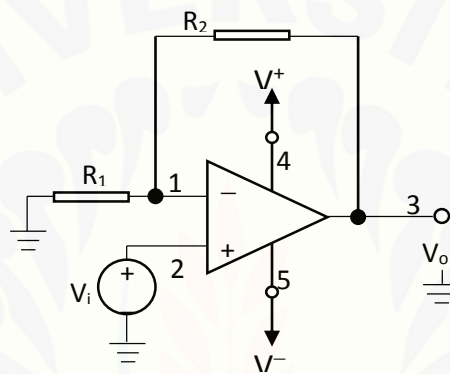


Karena penguat operasiona ( $A_v$ ) adalah perbandingan antara besar tegangan keluaran dan tegangan masukan maka:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{I_3 R_2}{I_1 R_1} = -\frac{I_1 R_2}{I_1 R_1} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2.8)$$

#### 2.4.2 Rangkaian Op-Amp Konfigurasi Non-pembalikan

Rangkaian berikut merupakan salah satu bentuk konfigurasi non-pembalikan:



Gambar 2.13 Rangkaian Op-Amp konfigurasi non-pembalikan  
(Sumber: Sedra dan Kenneth, 1987).

Sedra dan Kenneth (1987) menyatakan bahwa pada rangkaian tersebut terdapat sebuah penguat operasional dan dua buah resistor  $R_1$  dan  $R_2$ . Sumber tegangan  $v_i$  dihubungkan langsung ke terminal masukan non-pembalikan. Resistor  $R_2$  dihubungkan dari terminal keluaran ke terminal masukan pembalik. Sedangkan resistor  $R_1$  diletakkan di antara terminal masukan pembalik dan *ground*. Tegangan yang ada pada terminal masukan pembalik akan sama dengan terminal masukan non-pembalikan yaitu  $v_i$ . Arus yang melalui  $R_1$  adalah:

$$I_1 = \frac{v_i}{R_1} \quad (2.9)$$

Karena impedansi masukan penguat operasional tak terhingga  $A = \infty$ , maka arus akan mengalir melalui  $R_2$ . Sehingga tegangan keluarannya adalah:

$$v_o = v_i + \left( \frac{v_i}{R_1} \right) R_2 \quad (2.10)$$

Dan penguatannya adalah

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \left( \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2.11)$$

## 2.5 Arduino UNO

Rangkaian mikrokontroler adalah sistem komputer yang ringkas karena dapat menggantikan fungsi komputer dalam pengendalian kerja dengan desain yang jauh lebih ringkas dari pada komputer. Mikrokontroler hanya bisa digunakan untuk suatu aplikasi tertentu saja karena program kontrol disimpan pada ROM yang ukurannya relatif besar. Sedangkan RAM hanya digunakan untuk tempat penyimpanan sementara, termasuk *register-register* yang digunakan pada mikrokontroler yang bersangkutan (Pandiangan, 2007).

Arduino adalah sebuah *platform* komputasi fisik yang bersifat *open source* dengan *board input* dan *output* yang sederhana (0/1). Arduino memiliki lingkup pengembangan bahasa pengolahan yang dapat dihubungkan dengan *software* dan *hardware* lainnya sehingga dapat mendeteksi dan merespon situasi dan kondisi lingkungan dan menampilkannya pada PC. Arduino tersusun dari dua bagian utama yaitu *Arduino board* dan *Arduino IDE (Integrated Development Environment)*. *Arduino board* berupa *hardware* yang digunakan ketika menyusun rangkaian. Sedangkan *Arduino IDE* merupakan *software* yang digunakan untuk pengolahan pada PC. IDE digunakan untuk membuat gambaran program komputer yang di-*upload* ke *Arduino board*. Gambaran program digunakan untuk menentukan pekerjaan yang harus dilakukan oleh *Arduino board* (Banzi, 2011).

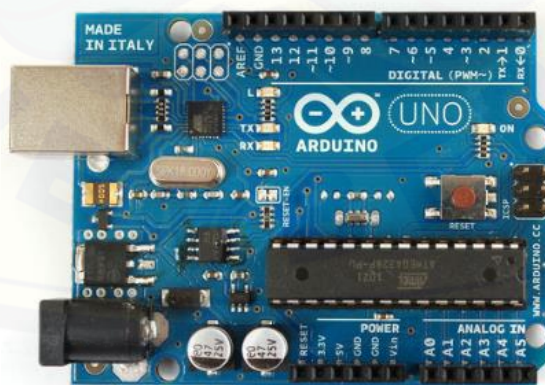
Kelebihan *board* Arduino UNO adalah memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau menyuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC

atau menggunakan baterai untuk memulainya (Saputra *et al.*, 2014). Arduino UNO juga bisa digabungkan bersama modul dengan protokol yang berbeda-beda (Riko dan Muhammad, 2014). Sedangkan Arduino IDE merupakan salah satu *software* khusus yang dapat digunakan untuk memprogram mikrokontroler. *Software* ini memungkinkan pengguna untuk menambah dan mengurangi *library* yang ada. Jika pengguna ingin menggunakan *library* yang telah ada, pengguna harus meng-*copy file* tersebut ke *folder library* Arduino IDE (Yurianto, 2011).

Artanto (2012) menjelaskan bahwa kelebihan Arduino dari *platform* lainnya adalah:

1. Arduino IDE merupakan *multiplatform*;
2. Arduino IDE dibuat berdasarkan pada IDE *processing* yang sederhana;
3. Pemrograman Arduino menggunakan kabel yang terhubung dengan *port* USB sehingga dapat dioperasikan pada semua PC;
4. Arduino IDE adalah *software* yang bersifat *open source*;
5. Proyek Arduino dikembangkan dalam lingkungan pendidikan sehingga bagi pemula akan lebih cepat dan mudah mempelajarinya;
6. Memiliki banyak pengguna dan komunitas secara global;

Berikut ini merupakan bentuk modul Arduino UNO:



Gambar 2.14 Modul Arduino UNO  
(Sumber: Ladyada, 2014)

Riko dan Muhammad (2014) menjelaskan bahwa Arduino UNO menggunakan *chip AVR ATmega168/328*, komunikasi *serial*, ADC (*Analog To Digital Converter*), *timer*, *interrupt*, SPI (*Serial Peripheral Interface*) dan I2C (*inter IC*). Saputri (2014) menyatakan bahwa Arduino UNO memiliki 14 digital *input/output pin* (dimana 6 *pin* dapat digunakan sebagai *output PWM*), 6 *input analog*, 16 MHz *osilator* kristal, koneksi USB, *jack* listrik, tombol *reset*. *Pin-pin* tersebut berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Spesifikasi *board* Arduino UNO berupa:

Tabel 2.3 Karakteristik Arduino UNO

KOMPONEN	SPESIFIKASI
MIKROKONTROLER	ATMega328
OPERATION VOLTAGE	5 V
INPUT VOLTAGE	7 – 12 V (rekomendasi)
INPUT VOLTAGE	6 – 20 V (limit)
I/O	14 pin (6 pin untuk PWM)
ELECTRIC CURRENT	50 mA
FLASH MEMORY	32 KB
BOOTLOADER	SRAM 2 KB
EEPROM	1 KB

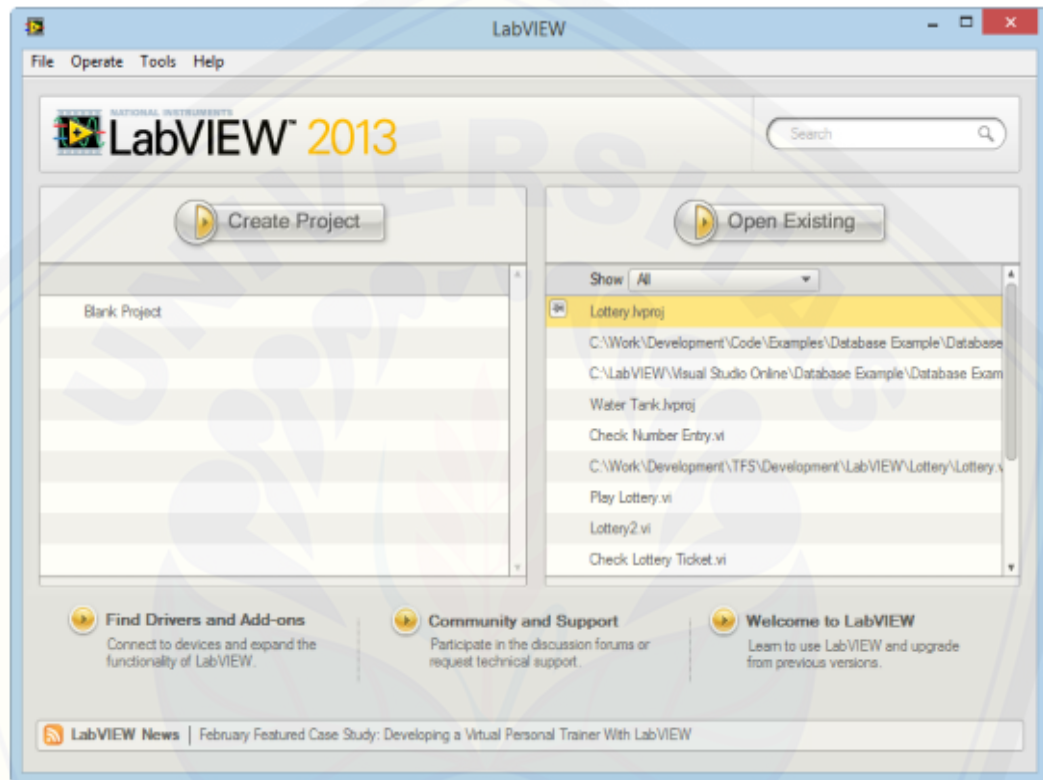
Sumber: Saputri, (2014)

Menurut Margolis (2011) *hardware* mikrokontroler Arduino UNO diprogram dengan menggunakan bahasa pemrograman *wiring-based* yang berbasiskan *syntax* dan *library*. Pemrograman *wiring-based* ini tidak berbeda dengan C/C++, tetapi dengan beberapa penyederhanaan dan modifikasi. Untuk memudahkan dalam pengembangan aplikasinya, modul Arduino menggunakan IDE Arduino berbasis *processing*.

## 2.6 Software LabVIEW

LabVIEW merupakan singkatan dari *Laboratory Virtual Instrument Enginerig Workbench*. *Software* ini pertama kali dikembangkan oleh perusahaan

National Instruments (NI) pada tahun 1986 (Artanto, 2012). LabVIEW merupakan *software* pemrograman dalam bidang industri dan instrumentasi yang banyak mengalami perkembangan. Ketika membuka LabVIEW, maka akan muncul jendela “*Getting Started*” seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.15 Tampilan jendela “*Getting Started*” pada LabVIEW 2013  
(Sumber: Halvorsen, 2014)

*Software* LabVIEW mempunyai tingkat ketelitian dan kehandalan yang baik (Dwi *et al.*, 2013 dalam Novianto *et al.*, 2014). LabVIEW menggunakan pemrograman aliran data (*dataflow*) yang akan menentukan perintah eksekusi berdasarkan VI. VI atau *Virtual Instrument* adalah program LabVIEW yang menirukan instrumen sebenarnya dalam bentuk simbol-simbol (Pratama *et al.*, 2011).

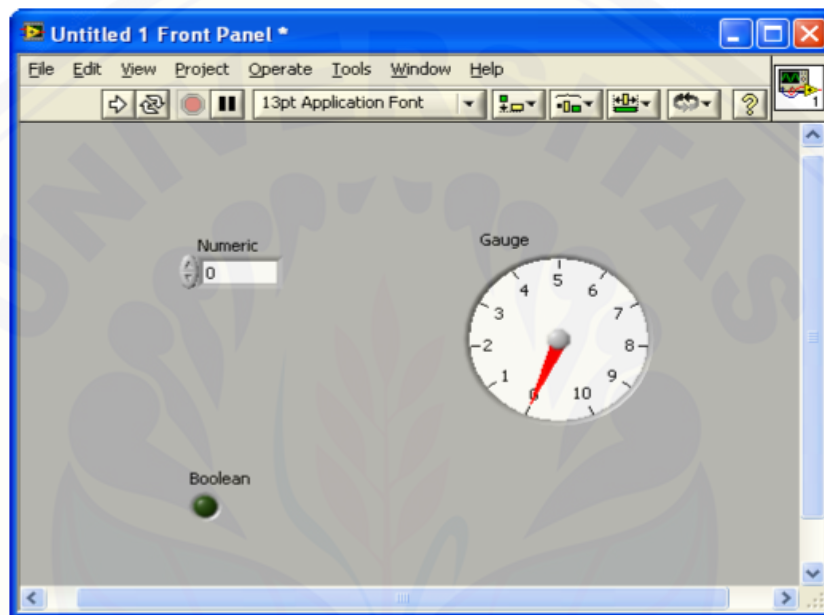
### 2.6.1 *Virtual Instrument (VI)*

VI pada LabVIEW memiliki tiga bagian yaitu *Front Panel*, *Block Diagram*, dan *Connector Pane* atau *Icon*. *Front Panel* pada VI digunakan untuk menampilkan

kontrol dan indikator bagi *user*, *Block Diagram* mengandung kode dari *source code*, dan *Connector Pane* atau *Icon* merupakan tampilan visual VI (Cahyudi, 2014).

a. *Front Panel*

Ketika akan membuat lembar baru dari VI atau membuka file yang sudah ada, maka akan muncul jendela *Front Panel* seperti pada gambar berikut:



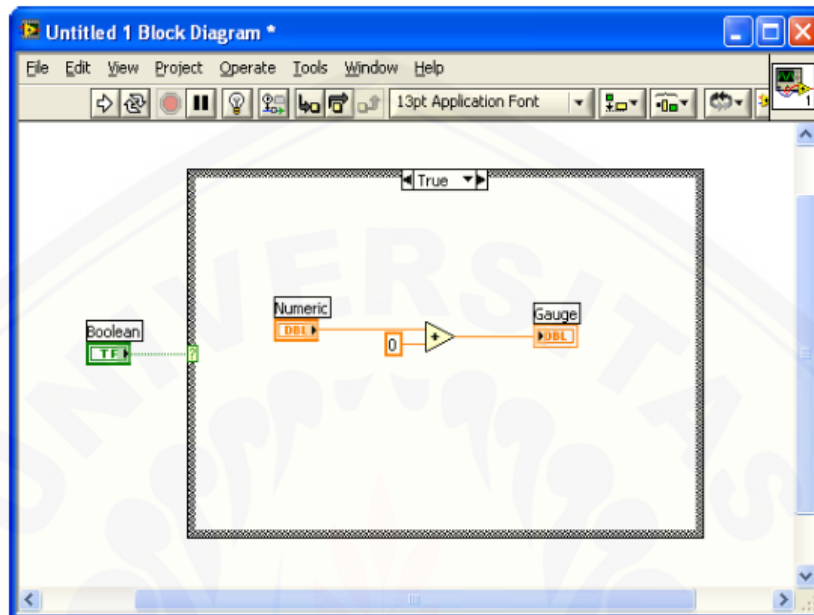
Gambar 2.16 Tampilan jendela *Front Panel*  
(Sumber: Halvorsen, 2014)

Pada LabVIEW akan dibutuhkan indikator dan kontrol ketika membuat *interface* pada *Front Panel*. Kontrol dapat berupa *knobs*, *push buttons*, *dials*, dan *input* lainnya. Sedangkan indikator dapat berupa grafik, LED, dan tampilan *output* lainnya (Halvorsen, 2014). Bagian kontrol digunakan untuk menyimulasikan mekanisme instrumen masukan dan mengisi data pada *Block Diagram* dari VI, sedangkan indikator menyimulasikan instrumen keluaran dan menampilkan data yang dihasilkan oleh *Block Diagram* (Cahyudi, 2014).

b. *Block Diagram*

Selain jendela *Front Panel*, jendela *Block Diagram* juga akan muncul ketika akan membuat lembar baru dari VI atau membuka *file* yang sudah ada. Tampilan

jendela *Block Diagram* adalah seperti pada gambar berikut:



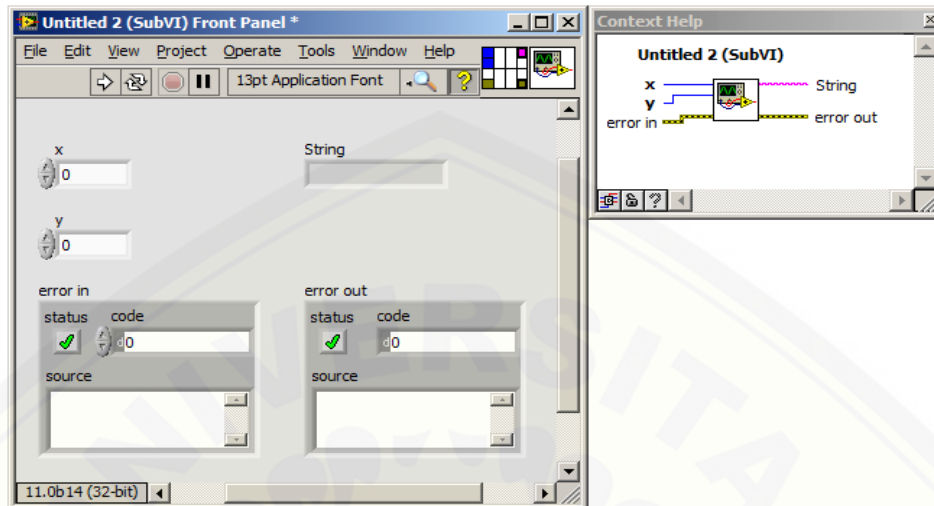
Gambar 2.17 Tampilan jendela *Block Diagram*  
(Sumber: Halvorsen, 2014)

Setelah mengatur *Front Panel*, kode-kode ditambahkan menggunakan tampilan grafik dari fungsi-fungsi. Penambahan kode tersebut digunakan untuk mengontrol objek-objek pada jendela *Front Panel*. *Block Diagram* berisi kode dari sumber grafis (Halvorsen, 2014). Sejalan dengan itu, (Cahyudi, 2014) menyatakan bahwa *Block Diagram* merupakan jendela tempat menuliskan perintah dan fungsi yang bersesuaian dengan *Front Panel* yang berupa simbol, *node* dan garis sebagai *dataflow* untuk mengeksekusi program termasuk kode dari *Front Panel*. Rangkaian pada *Block Diagram* adalah benar ketika panah yang menghubungkan antar simbol tidak putus-putus. Jika rangkaian pada *Block Diagram* sudah benar maka *Front Panel* dapat dikerjakan.

c. *Connector Pane* atau *Icon*

*Connector Pane* atau *Icon* merupakan penghubung antar VI. Hubungan antar VI disebut dengan SubVI. Berikut ini merupakan bentuk tampilan jendela

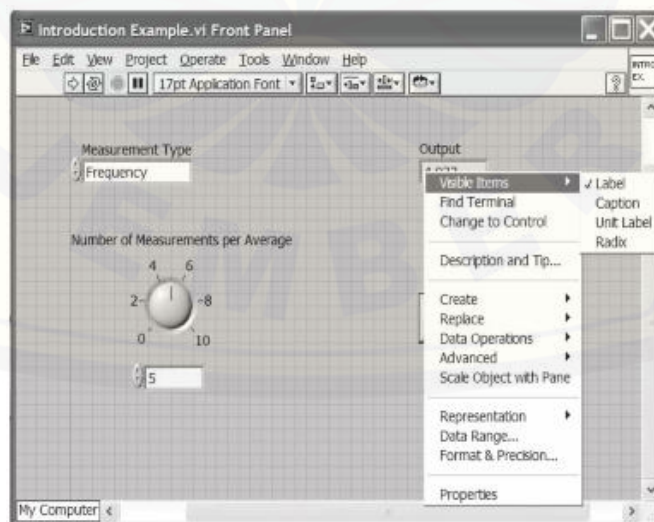
*Connector Pane* atau *Icon* yang ada pada VI dari LabVIEW:



Gambar 2.18 Tampilan jendela *Connector Pane* atau *Icon* (Sumber: Cahyudi, 2014)

### 2.6.2 Menu

Menurut Bitter *et al.* (2007) LabVIEW memiliki dua jenis menu yang digunakan selama pemrograman. Rangkaian menu yang pertama ini terlihat di jendela *Front Panel* seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



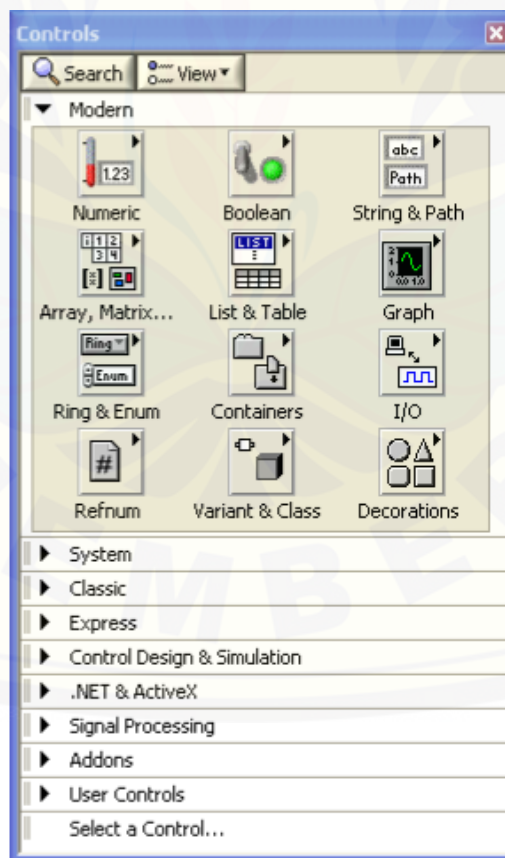
Gambar 2.19 Pilihan rangkaian menu awal pada jendela *Front Panel* (Sumber: Bitter *et al.*, 2007)



Rangkaian menu yang kedua disebut dengan *pop-up menus*. Menu-menu tersebut dapat ditampilkan dengan meng-*click* kanan dan menyeret kursor ke bawah. Submenu pada *pop-up menus* adalah :

a. *Control Palette*

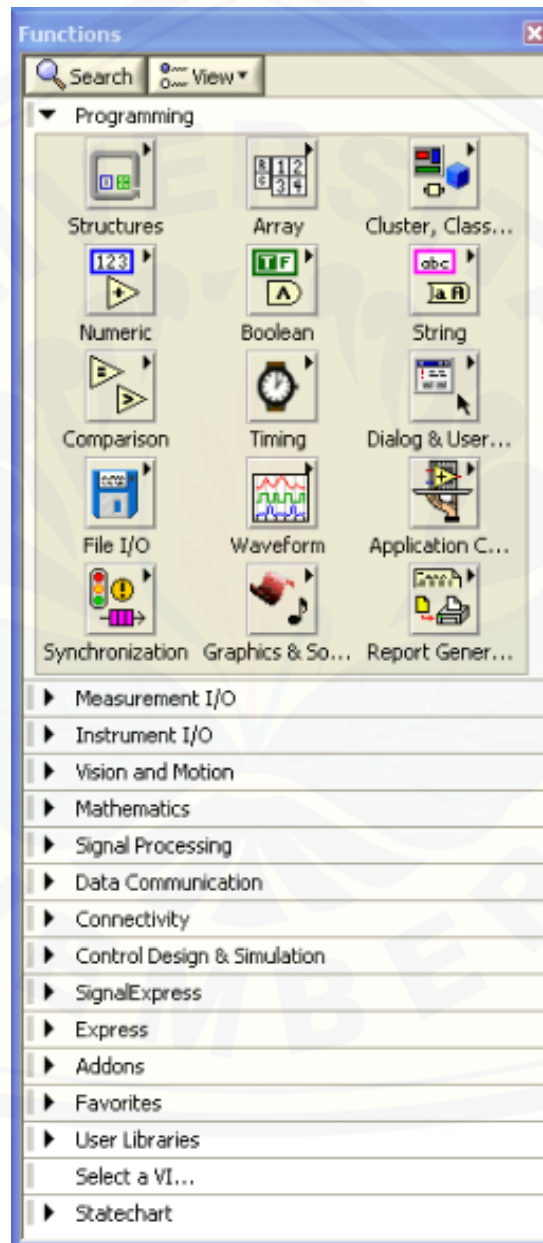
*Control Palette* terdiri dari objek-objek yang dapat digunakan untuk membuat VI. Ketika simbol *sub palette* di-*click*, seluruh *palette* akan berubah menjadi *sub palette* yang telah dipilih. Untuk menggunakan objek pada *palette*, *click* objek dan letakkan pada jendela *Front Panel* atau *Block Diagram*. *Control Palette* berisi kontrol dan indikator yang digunakan untuk merangkai jendela *Front Panel* (Halvorsen, 2014). *Control Palette* terdapat di jendela *Front Panel*. Berikut ini tampilan jendela *Control Palette*:



Gambar 2.20 Tampilan jendela *Control Palette*  
(Sumber: Halvorsen, 2014)

b. *Function Palette*

*Function Palette* terdapat pada jendela *Block Diagram*. *Function Palette* berisi VIs dan fungsi yang digunakan untuk membangun diagram blok (Halvorsen, 2014). Berikut ini tampilan jendela *Function Palette*:



Gambar 2.21 Tampilan jendela *Function Palette*  
(Sumber: Halvorsen, 2014)

c. *Tools Palette*

*Tools Palette* digunakan untuk membuat dan memodifikasi VI. *Tools Palette* terdapat pada jendela *Front Panel* dan jendela *Block Diagram*. Berikut ini tampilan jendela *Tools Palette*:



Gambar 2.22 Tampilan jendela *Tools Palette*

(Sumber: Halvorsen, 2014)

### 2.6.3 *Dataflow Programming*

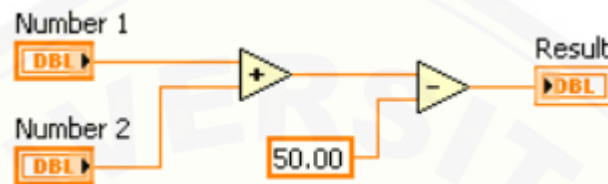
LabVIEW menggunakan model aliran data untuk menjalankan VI. Secara garis besar terdapat dua bagian dalam penggunaan LabVIEW yaitu bagian *node* dan *wire*. Setiap bagian dari diagram yang memiliki *input* maupun *output* merupakan bagian dari *node*. Penghubung antar *node* tersebut adalah *wire*. Sebuah *node* dapat berupa hal-hal yang sederhana seperti operasi penjumlahan maupun hal-hal yang rumit seperti operasi subVI (Bitter *et al.*, 2007).

LabVIEW menggunakan model aliran data untuk menjalankan VI. *Node* dari *Block Diagram* akan dikerjakan ketika semua *input* tersedia. Ketika semua *node* sudah dikerjakan maka akan ada data yang ditampilkan pada *output* dan akan menuju ke *node* selanjutnya pada bagian aliran data (Halvorsen, 2014).

*Dataflow programming* memungkinkan melakukan pekerjaan dalam waktu yang bersamaan. Hal ini menyebabkan diagram kode *multitasking* dapat dengan mudah dijalankan. *Multitasking* merupakan kemampuan dasar yang dimiliki oleh

LabVIEW yang secara tidak langsung dimiliki oleh bahasa pemrograman lainnya. Jika *multiple nodes* sudah siap dieksekusi, maka LabVIEW akan menggunakan proses yang disebut sebagai *arbitrary unterleaving* untuk menentukan *node* yang harus dikerjakan terlebih dahulu (Cahyudi, 2014).

Berikut ini adalah contoh penggunaan *Dataflow Programming*:



Gambar 2.23 Contoh penggunaan *Dataflow Programming*

(Sumber: Halvorsen, 2014)

Contoh tersebut menunjukkan *Block Diagram* yang melakukan operasi penjumlahan dari dua bilangan kemudian hasil penjumlahan tersebut dikurangi 50,00. Dalam kasus ini, *Block Diagram* akan mengeksekusi data dari kiri ke kanan. Hal tersebut dikarenakan fungsi pengurangan tidak dapat dioperasikan sampai fungsi penjumlahan selesai dikerjakan dan mengirim data ke fungsi pengurangan. Hal yang perlu diingat adalah sebuah *node* akan mengeksekusi data ketika data sudah tersedia di semua jalur *input*, selanjutnya hasil eksekusi tersebut akan menghasilkan data lain di jalur *output* (Halvorsen, 2014).

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam serta Laboratorium Analisis Tanaman Jurusan Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Jember. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2015 sampai Agustus 2015.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Timbangan digital digunakan untuk menimbang gula pasir yang akan dilarutkan.
2. *Beaker glass* digunakan sebagai wadah pembuatan larutan gula.
3. Pengaduk digunakan untuk mempercepat terlarutnya gula pasir pada aquades.
4. Mesin penggiling digunakan untuk menggiling tebu agar menghasilkan nira tebu.
5. Kuvet kaca digunakan sebagai wadah sampel penelitian.
6. Sistem sensor yang terdiri dari :
  - a. RGB *bright* LED berwarna merah, hijau dan biru digunakan sebagai sumber sinar.
  - b. PIN fotodiode BPW 34 sebagai sensor penerima sinar.
7. Serat optik dan konektor digunakan sebagai medium penjalaran sinar serta tempat meletakkan kuvet kaca.
8. Isolasi kabel digunakan untuk mengisolasi RGB *bright* LED serta PIN fotodiode BPW 34.

9. Unit pengolah sinyal berupa:
  - a. Modul Arduino UNO digunakan sebagai modul mikrokontroler yang terhubung dengan laptop.
  - b. Rangkaian transimpedansi digunakan untuk mengubah kuat arus yang diterima oleh fotodiode menjadi tegangan, meliputi IC Op-Amp LF 357, *power supply* simetris 5 V, baterai 1.5 V, resistor 200 k $\Omega$  dan 10 k $\Omega$ , dan *bread board*.
10. Kabel *jumper* digunakan untuk menghubungkan komponen-komponen elektronika.
11. *Personal Computer* (PC) berupa Laptop digunakan untuk menampilkan besaran yang terukur oleh fotodiode, mengendalikan nyala-mati dari RGB *bright* LED dan penyimpanan data.
12. Refraktometer digital yang digunakan untuk mengukur kandungan gula pada sampel penelitian.
13. *Software* pemrograman:
  - a. LabVIEW 2012 64 bit yang digunakan untuk membuat program perintah kerja ke modul Arduino UNO.
  - b. LabVIEW *Interface for Arduino* yang digunakan untuk menjalankan perintah kerja pada modul Arduino UNO.
  - c. Arduino IDE 1.0.4 yang digunakan untuk memasukkan bahasa pemrograman pada modul Arduino UNO.

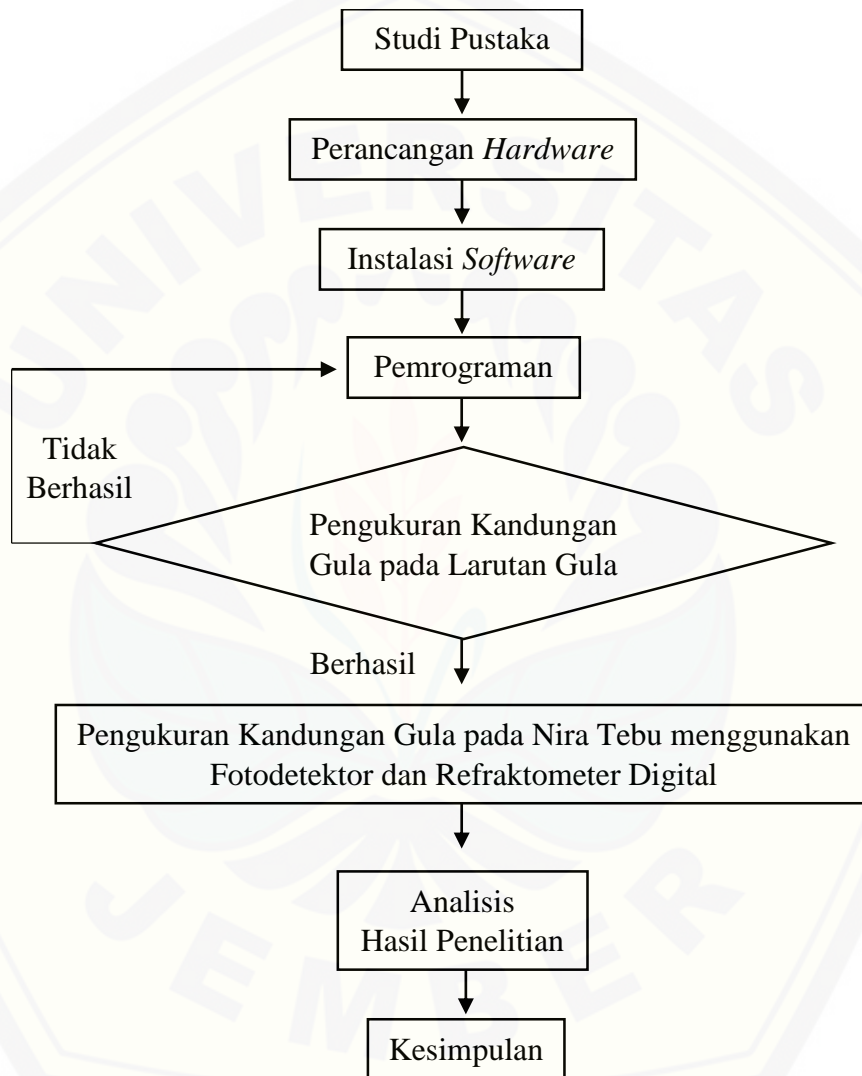
### 3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Batang tebu yang digunakan sebagai objek penelitian.
2. Aquades dan gula pasir digunakan untuk membuat larutan gula standar.

### 3.3 Diagram Alir Penelitian

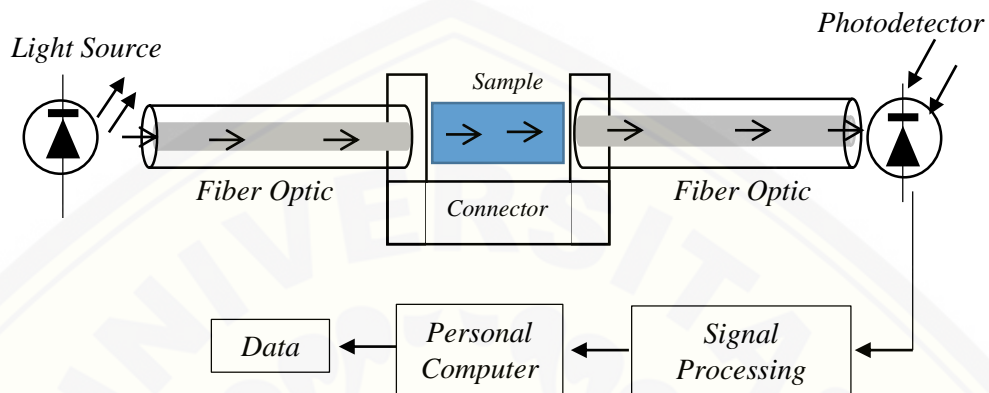
Pada penelitian ini terdapat beberapa proses yang dilaksanakan. Gambaran umum dari proses penelitian pengukuran kandungan gula menggunakan fotodetektor dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

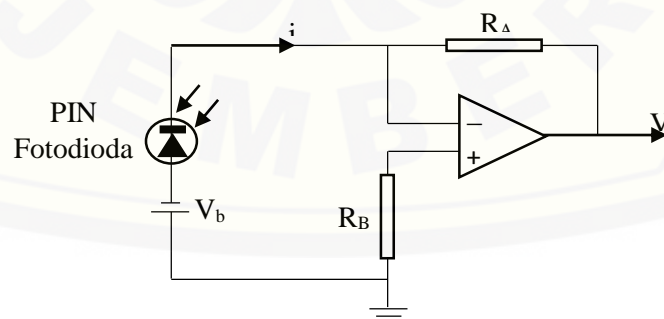
### 3.4 Desain Penelitian

Adapun desain rangkaian penelitian yang dilaksanakan dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3.2 Desain rangkaian penelitian

Pada gambar 3.2 tersebut terdapat konektor yang terpasang pada persambungan serat optik. Fungsi dari konektor ini adalah sebagai tempat meletakkan kuvet kaca sehingga sinar hanya akan merambat dari serat optik – kuvet kaca – serat optik. Pada ujung konektor terdapat pemfokus sinar yang digunakan untuk mempertajam sinar yang akan menuju objek penelitian dan serat optik kembali. Unit pengolah sinyal pada desain rangkain tersebut memiliki dua bagian utama yaitu penguat operasional (transimpedansi) dan juga modul Arduino UNO. Berikut ini merupakan rangkaian penguat operasional yang akan digunakan:



Gambar 3.3 Rangkaian penguat operasional yang digunakan

Pada penelitian ini digunakan dua objek yang akan diamati kandungan gulanya, yaitu larutan gula dengan sepuluh variasi konsentrasi, serta empat batang



tebu yang sudah masuk usia panen. Berikut ini merupakan bagian-bagian tebu yang akan diukur:



Gambar 3.4 Bagian tebu yang akan diteliti

Tanda panah pada Gambar 3.4 menunjukkan ruas tebu yang akan diambil niranya dan diukur kadar gulanya.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan kegiatan studi pustaka melalui berbagai sumber referensi mengenai penelitian yang akan dilakukan. Selanjutnya perancangan *hardware* dan instalasi *software* Arduino IDE serta LabVIEW sebagai proses awal pembuatan alat ukur. Agar perangkat keras tersambung dengan perangkat lunak

pada laptop maka diperlukan suatu bahasa pemrograman untuk menerjemahkan perintah-perintah *user*. Jika bahasa pemrograman yang dimasukkan sudah sesuai dengan hal-hal yang harus dieksekusi oleh perangkat keras, maka kegiatan selanjutnya adalah pengujian alat. Pengujian dilakukan pada larutan gula dengan variasi konsentrasi. Pengujian akan dianggap berhasil ketika tegangan keluaran yang ditampilkan pada laptop menunjukkan nilai tegangan besar ketika larutan standar gula memiliki konsentrasi rendah. Jika hasil yang didapatkan belum sesuai dengan ketentuan tersebut maka diperlukan pemrograman ulang. Pengujian alat ini dimaksudkan untuk mengetahui kinerja dan tingkat ketelitian alat. Selanjutnya alat digunakan untuk mengukur kadar gula pada nira tebu yang belum diketahui konsentrasinya. Hasil penelitian kemudian dianalisis untuk mendapatkan suatu kesimpulan penelitian. Proses penelitian yang telah diuraikan tersebut ditampilkan dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Penelitian ini memanfaatkan prinsip penjararan (transmisi) sinar ketika sumber sinar (sinar LED) melewati objek penelitian. Setelah melewati objek penelitian, sinar LED akan ditangkap oleh PIN fotodioda sebagai sinyal gelombang *input*. Besarnya intensitas sinar LED yang diterima akan dikonversi menjadi bentuk kuat arus oleh PIN fotodioda. Karena adanya efek atenuasi maka intensitas sinar LED yang diterima oleh PIN fotodioda akan berkurang, sehingga perlu adanya rangkaian penguat operasional berupa rangkaian transimpedansi untuk mengkonversi kuat arus menjadi tegangan yang selanjutnya mampu terbaca oleh alat ukur.

Data tegangan yang terukur selanjutnya akan ditampilkan pada laptop dengan bantuan pengolahan dari modul Arduino UNO serta penggabungan *software* Arduino IDE dan LabVIEW. Data hasil penelitian yang didapatkan adalah grafik hubungan antara konsentrasi larutan gula terhadap tegangan keluaran. Hasil penelitian tersebut digunakan untuk mencari korelasi linier antara konsentrasi gula terhadap tegangan. Ketika tegangan keluaran dari sampel nira tebu diketahui maka konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan korelasi linier yang didapatkan

sebelumnya. Sebagai data pembanding digunakan alat ukur yang lain berupa refraktometer digital. Selanjutnya hasil pengukuran kandungan gula pada nira tebu menggunakan alat yang sudah dibuat diuji kedekatannya terhadap refraktometer digital dengan uji-t.

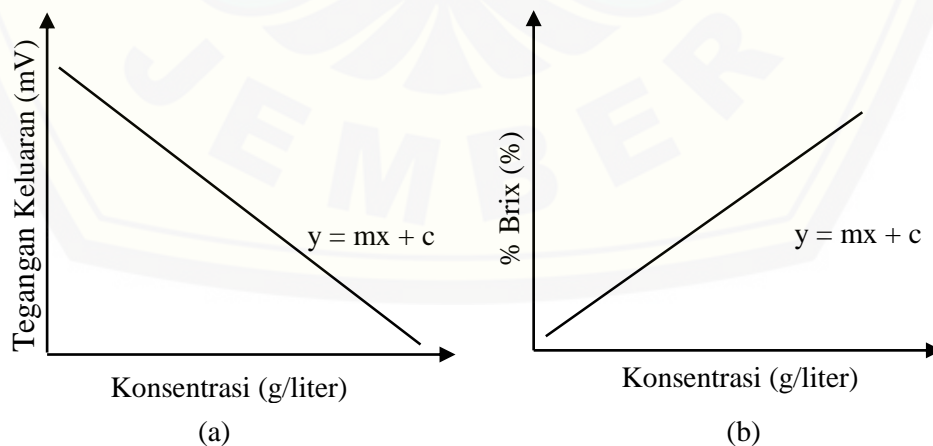
Teknik penelitian pada objek pertama adalah larutan gula dituangkan pada wadah sampel untuk diukur kadar gulanya. Selain digunakan untuk mengetahui korelasi linier antara konsentrasi gula terhadap tegangan keluaran, penelitian pertama ini juga dimaksudkan untuk mengetahui sinar LED yang memiliki resolusi terbaik. LED dengan resolusi terbaik ditandai dengan kemampuan memberikan perbedaan tegangan keluaran yang besar ketika konsentrasi larutan gula diubah. Sehingga sinar LED tersebut dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya dengan objek berupa nira tebu yang belum diketahui masing-masing konsentrasinya.

### 3.6 Analisis Data

Adapun analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

#### 3.6.1 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan pada larutan gula yang sudah diketahui konsentrasinya. Selanjutnya dibentuk grafik seperti berikut ini:



Gambar 3.5 Grafik hubungan antara a. konsentrasi terhadap tegangan keluaran; b. konsentrasi terhadap % Brix.

Penelitian menggunakan sampel nira tebu akan didapatkan tegangan keluaran rangkaian transimpedansi serta % Brix refraktometer digital, karena adanya hubungan antara konsentrasi larutan gula terhadap tegangan keluaran serta % Brix berupa:

$$y = mx + c \quad (3.1)$$

maka konsentrasi nira tebu yang diukur dapat diketahui menggunakan persamaan:

$$x = \frac{y - c}{m} \quad (3.2)$$

Dimana:  $x$  = konsentrasi nira tebu (gram/ liter)

$y$  = tegangan keluaran (mV) atau % Brix (%)

$c$  = konstanta

$m$  = gradien grafik

### 3.6.2 Menentukan nilai skala terkecil pembacaan alat

$$nst = \frac{V}{2^n - 1} \quad (3.3)$$

Dimana:  $nst$  = nilai skala tegangan terkecil alat (mV)

$V$  = tegangan referensi (V)

$n$  = nilai bit alat

Modul Arduino UNO yang digunakan pada penelitian ini memiliki tegangan referensi sebesar 5 V serta *output* 10 bit, sehingga nilai skala terkecil yang dapat terbaca oleh modul Arduino UNO adalah:

$$nst = \frac{5V}{2^{10} - 1}$$

$$nst = \frac{5V}{1024 - 1}$$

$$nst = 4,883mV \cong 4,9mV \quad (3.4)$$

### 3.6.3 Uji-t

Uji statistik berupa uji-t digunakan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat berbeda signifikan dengan alat yang sudah ada (refraktometer) atau tidak. Karena data-data yang digunakan untuk uji-t merupakan data-data yang independen serta jumlah data dari  $n_1$  dan  $n_2$  sama, maka harus ditentukan nilai-nilai dari:

a. t tabel

Nilai t tabel dapat dicari menggunakan Microsoft Excel dengan formula:

$$t_{\text{tabel}} = \text{TINV}(\text{Probabilitas}; \text{Derajat Kebebasan})$$

$$t_{\text{tabel}} = 2,073873068$$

Taraf kepercayaan yang digunakan pada uji t ini adalah 95% sehingga probabilitas yang digunakan adalah 5%, sedangkan nilai derajat kebebasannya adalah 22.

$$\text{Derajat Kebebasan} = n_1 + n_2 - 2 = 12 + 12 - 2 = 22$$

b. Simpangan baku

Nilai simpangan baku dapat dicari menggunakan persamaan:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3.5)$$

c. Variansi

Nilai variansi merupakan nilai kuadrat dari simpangan baku, sehingga:

$$\text{Variansi} = S^2 \quad (3.6)$$

d. Simpangan baku gabungan

Nilai simpangan baku gabungan dapat dicari menggunakan persamaan: