

# **Pengantar Pengukuran Berbasis Optik**

Oleh:

**Misto**

**Bowo Eko Cahyono**

**Tri Mulyono**

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**UPT Percetakan dan Penerbitan**

**Universitas Jember**

**2019**

## Pengantar Pengukuran Berbasis Optik

Penulis:

Ir. Misto, M.Si.

Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D.

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

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Penyunting

Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.

Desain Sampul:



## PRAKATA

---

Dengan mengucap puji syukur Alhamdulillah, kami dapat menyelesaikan penulisan buku teks atau buku referensi dengan judul “Pengantar Pengukuran Berbasis Optik” ini dengan baik. Buku ini dimaksudkan sebagai pengantar sederhana untuk pengukuran berbasis optik. Dengan memahami materi yang diuraikan dalam buku ini maka pengertian dan konsep dasar optik dan elektronik akan didapat sehingga dapat memudahkan pembaca ketika akan menggunakan dan mengembangkan berbagai peralatan dan instrumen berbasis optik.

Bagi mahasiswa khususnya program studi Fisika ataupun Teknik Elektro, buku ini sangat membantu untuk mendapatkan gambaran dasar sebelum mengikuti matakuliah yang terkait dengan pengukuran optik seperti optoelektronika, desain sensor optoelektronik, pandu gelombang optik dan sebagainya. Buku ini menekankan pada pemahaman dan konsep dasar optik dan elektronik sehingga pengembangan serta penggabungan antara optik dan elektronik dapat dikuasai dengan lebih mudah.

Penulis berharap buku ini dapat bermanfaat sesuai dengan apa yang menjadi tujuan disusunnya buku ini. Kritik dan saran yang membangun selalu terbuka demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini.

Jember, 10 Desember 2019

Penulis

## KATA PENGANTAR PAKAR SEBIDANG

---

Pada era modern ini perkembangan sains dan teknologi sudah sangat maju dan cepat. Jika alat-alat pengukuran pada era lama masih banyak yang menggunakan konsep pengukuran yang merusak (*destructive testing*) maka pada era sekarang makin banyak alat ukur yang dibuat berdasarkan konsep *non-destructive testing*.

Untuk mengukur nilai besaran fisis suatu obyek anda tidak perlu merusak secara fisik obyek tersebut. Namun cukup mengarahkan peralatan optik melewati obyek tersebut tanpa harus merusaknya namun dapat mengukur apa yang ingin diketahui.

Salah satu konsep pengukuran tak merusak, dapat bertumpu pada sains optik dan prinsip kerja alat ukur. Buku ini saya rasa dimaksudkan untuk memberi pengantar apa sih pengukuran berbasis optik? Apa hal penting mendasar yang perlu diketahui? Bagaimana menggunakannya dalam desain alat pengukuran? Contoh aplikasinya adalah untuk pengukuran kadar gula, melalui metode polarimeter, refraktometer, dan spektrofotometer.

Secara umum buku ini sepertinya disusun berdasarkan hasil-hasil penelitian dari penulis. Dan secara umum sudah dituliskan dengan baik. Untuk selanjutnya dapat lebih disempurnakan berdasarkan hasil-hasil penelitian yang lebih lengkap. Sebagai sebuah buku pengantar buku ini sudah bagus dan dapat digunakan untuk bahan tambahan perkuliahan di perguruan tinggi untuk topik yang sama.

Jember, Lereng Rembangan, 20 Nopember 2019



Dr. Artoto Arkundato

(Dosen Fisika, FMIPA, Universitas Jember)

## DAFTAR ISI

---

<b>SAMPUL</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>INFORMASI PENERBIT</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>PRAKATA</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR PAKAR SEBIDANG</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1. Sejarah Sistem Pengukuran</b> .....	1
<b>BAB 2. BESARAN DAN SATUAN</b> .....	5
<b>2.1. Besaran</b> .....	5
<b>a. Besaran Pokok</b> .....	5
<b>b. Besaran Turunan</b> .....	7
<b>2.2. Satuan</b> .....	7
<b>a. Satuan Baku</b> .....	7
<b>b. Satuan Tidak Baku</b> .....	8
<b>2.3. Alat Ukur</b> .....	8
<b>a. Alat Ukur Panjang</b> .....	8
<b>b. Alat Ukur Massa</b> .....	9
<b>c. Alat Ukur Waktu</b> .....	9
<b>BAB 3. GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK</b> .....	11
<b>3.1. Konsep Gelombang Elektromagnetik</b> .....	11
<b>3.2. Vektor Poynting</b> .....	12
<b>3.3. Arah Propagasi</b> .....	12

3.4.	Arah Gelombang Elektromagnetik.....	13
3.5.	Intensitas .....	13
3.6.	Indeks bias.....	14
3.7.	Panjang jalur optik ( <i>Optical path length</i> ) .....	15
3.8.	Pembiasan .....	15
3.9.	<i>Total internal reflection</i> (Total refleksi internal).....	15
3.10.	Pemantulan (Refleksivitas) .....	16
3.11.	Lensa.....	16
3.12.	Resolusi mikroskop.....	16
3.13.	Permeabilitas relatif .....	17
<b>BAB 4.</b>	<b>SUMBER SINAR .....</b>	<b>19</b>
4.1.	Cahaya .....	19
4.2.	Laser .....	20
a.	Terminologi Laser .....	21
b.	Sinar yang dipancarkan Laser .....	22
c.	Proses emisi kuantum vs klasik.....	23
d.	Mode operasi kontinyu dan mode pulsa.....	23
e.	Operasi gelombang kontinyu.....	23
f.	Operasi Pulsa .....	24
g.	Q-switching .....	25
h.	Mode Locking (Mode Terkunci) .....	25
i.	Memompa berdenyut (Pulsed pumping).....	26
4.3.	Jenis dan prinsip operasi Laser.....	26
a.	Laser gas.....	26
b.	Laser kimia.....	27
c.	Laser excimer .....	27
d.	Laser solid-state .....	28
e.	Laser serat.....	29

f.	Laser kristal fotonik.....	30
g.	Laser semikonduktor .....	30
h.	Laser pewarna (Dye Laser) .....	32
i.	Laser elektron bebas (Free electron Laser) .....	32
4.4.	Aplikasi Laser .....	32
4.5.	Beberapa kegunaan lain dari Laser.....	33
4.6.	Daya Laser .....	33
4.7.	Lampu Xenon .....	34
a.	Tipe-tipe Lampu Xenon.....	34
b.	Sejarah dan penggunaan pada jaman modern.....	35
c.	Konstruksi Lampu .....	35
d.	Mekanisme pembangkitan cahaya.....	36
e.	Xenon murni .....	37
f.	Xenon-merkuri .....	38
g.	Lampu xenon keramik.....	39
h.	Persyaratan catu daya.....	39
i.	Lampu depan otomotif.....	40
j.	Lampu busur panjang Xenon .....	40
4.8.	Pengantar Laser .....	41
4.9.	Operasi Laser.....	43
4.10.	Komponen Laser .....	43
4.11.	Pendahuluan Untuk LED .....	47
4.12.	Penggunaan Laser pada Serat Optik.....	49
4.13.	Light Emitting Diode (LED).....	49
4.14.	Penemuan dan perangkat sebelumnya.....	50
4.15.	Pengembangan komersial awal.....	52
4.16.	LED biru .....	53
4.17.	LED putih dan penerangan penerangan.....	55

4.18.	Fisika produksi dan emisi cahaya .....	56
4.19.	LED Organik .....	57
4.20.	Miniature.....	58
4.21.	High-power.....	58
4.22.	Beberapa Aplikasi.....	59
a.	Flashing .....	59
b.	Bi-color .....	59
c.	RGB tri-warna.....	60
d.	Decorative-multicolor.....	60
e.	Alphanumeric .....	60
f.	Digital RGB.....	60
g.	Filament.....	61
h.	Chip-on-board arrays.....	61
4.23.	Catu Daya.....	61
a.	Polaritas Catu Daya.....	62
b.	Keamanan dan kesehatan.....	62
<b>BAB 5.</b>	<b>FOTODETEKTOR.....</b>	<b>65</b>
5.1.	Mode fotovoltaiik.....	66
5.2.	Mode fotokonduktif.....	66
5.3.	Mode operasi lainnya .....	66
5.4.	Material Untuk Fotodiode .....	67
5.5.	Efek Yang Tidak Diharapkan pada Fotodiode.....	68
5.6.	Fitur .....	68
a.	Responsivity .....	68
b.	Dark Current .....	68
c.	Response Waktu .....	69
d.	Noise-equivalent power (NEP) .....	69
5.7.	Aplikasi Fotodiode.....	70



a.	Komputasi .....	71
b.	Teknologi Display .....	72
<b>5.8.</b>	<b>Application Response Measurement (ARM, Pengukuran Respons Aplikasi) .....</b>	<b>73</b>
a.	Pendekatan .....	73
b.	Konsep ARM .....	74
c.	ARM Transaksi .....	74
d.	ARM Address .....	74
e.	ARM Correlator .....	74
f.	ARM Metrik .....	75
g.	ARM Propertis .....	75
h.	ARM User .....	75
i.	Aplikasi Instrumentasi ARM .....	75
<b>BAB 6.</b>	<b>RANGKAIAN ELEKTRONIK .....</b>	<b>77</b>
6.1.	Rangkaian Dasar .....	77
6.2.	Rangkaian Aplikasi .....	84
<b>BAB 7.</b>	<b>INSTRUMEN BERBASIS OPTIK .....</b>	<b>91</b>
7.1.	Peningkatan citra .....	91
7.2.	Interferometri .....	92
7.3.	Kategori Interferometer .....	95
<b>BAB 8.</b>	<b>POLARIMETRI .....</b>	<b>97</b>
8.1.	Polarimeter .....	97
8.2.	Optical Rotation .....	99
8.3.	Polarimetry of sugar solutions .....	101
8.4.	Polarisasi .....	101
8.5.	Hukum Malus .....	105
8.6.	Pendahuluan .....	105
8.7.	Vektor Poynting .....	106

8.8.	Metode Eksperimen.....	107
<b>BAB 9.</b>	<b>REFRAKTOMETRI.....</b>	<b>113</b>
9.1.	Dasar-dasar refraktometri.....	113
9.2.	Beberapa skala indeks bias sedang digunakan.....	113
9.3.	Cara memahami sudut kritis.....	114
9.4.	Hukum Snell.....	117
9.5.	Penyiapan skematis refraktometer .....	118
9.6.	Ketergantungan indeks bias pada panjang gelombang .....	119
9.7.	Refraktometri .....	120
9.8.	Jenis-jenis refraktometer .....	121
a.	Refraktometer genggam tradisional .....	121
b.	Digital refraktometer genggam .....	121
c.	Dapat refraktometer.....	122
d.	Refractometer proses sebaris (Inline process refractometer).....	124
<b>BAB 10.</b>	<b>SPEKTROFOTOMETRI.....</b>	<b>127</b>
10.1.	Pengantar .....	127
10.2.	Perangkat dan mekanisme.....	128
<b>BAB 11.</b>	<b>ELEKTRO OPTIK .....</b>	<b>133</b>
11.1.	Kerr Effect.....	133
11.2.	DC Kerr Effect.....	135
11.3.	AC Effect Kerr.....	136
11.4.	Pengukuran Warna .....	140
11.5.	Diffuser pemantul sempurna .....	141
11.6.	Alat Ukur Berbasis Optik .....	142
11.7.	Perbedaan antara penerapan kolorimeter dan spektrofotometer ..	143

## DAFTAR TABEL

---

Tabel 2. 1 Besaran Pokok dan Satuannya .....	6
Tabel 2. 2 Besaran Turunan dan Satuannya .....	7
Tabel 2. 3 Satuan Baku.....	8



## DAFTAR GAMBAR

---

Gambar 4. 1 Profil keluaran lampu busur xenon.....	37
Gambar 4. 2 Sebuah lampu xenon Cermax 2 kW dari proyektor video. Sepasang heatsink dijepit pada dua pita logam di sekeliling, yang juga berlipat ganda untuk memasok daya ke elektroda lampu.....	39
Gambar 4. 3 Catu daya lampu pendek arc 1 kW xenon dengan penutup dilepas.....	40
Gambar 4. 4 . Spektrum Elektromagnetik Sumber: <a href="https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/laser/fundamentals.htm">https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/laser/fundamentals.htm</a> .....	42
Gambar 4. 5 . Mode sinar laser TEM umum Sumber: <a href="https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/laser/fundamentals.htm">https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/laser/fundamentals.htm</a> .....	44
Gambar 4.6 . Berbagai Bentuk LED dan warna .....	57
Gambar 6. 1. Rangkaian dasar penerus tegangan $v_0 = v_1$ , dengan $V_i$ dan $V_o$ adalah tegangan masukan dan tegangan keluaran.....	77
Gambar 6. 2. Rangkaian pembagi tegangan .....	78
Gambar 6. 3. Rangkaian penguat inverting. ....	78
Gambar 6. 4. Rangkaian penguat non inverting .....	79
Gambar 6. 5. Rangkaian diferensial .....	80
Gambar 6. 6. Rangkaian penjumlah .....	80
Gambar 6. 7. Rangkaian pendiferensial.....	81
Gambar 6. 8. Bentuk gelombang Output diperoleh dari pembeda dengan bentuk gelombang masukan masing-masing.....	82
Gambar 6. 9. Rangkaian pengintegral .....	82
Gambar 6. 10. Hubungan antara masukan dan keluatan tegangan .....	83
Gambar 6. 11. Rangkaian pendriver laser diode.....	84
Gambar 6. 12. Rangkaian pendriver laser diode.....	85
Gambar 6. 13. Rangkaian pendriver laser diode menggunakan IC .....	85
Gambar 6. 14. Rangkaian Transimpedasi dasar.....	85
Gambar 6. 15. Rangkaian filter low pass.....	87
Gambar 6. 16. Rangkaian filter low pass.....	87
Gambar 6. 17. Rangkaian filter high pass .....	88
Gambar 6. 18. Rangkaian filter high pass tingkat dua.....	89

Gambar 7.1. Jalur cahaya melalui interferometer Michelson .....	93
Gambar 7. 2. Formasi jari-jari di dalam interfero Michelson .....	94
Gambar 8.1. a) prinsip pengaturan polarimeter b) komponen polarimeter .....	97
Gambar 8.2. Salah satu posisi timbal balik dari seorang polarizer dan seorang analisis .....	98
Gambar 8.3. Rotasi bidang cahaya terpolarisasi oleh sampel dengan zat aktif optik dan pengaruh panjang tabung sampel .....	98
Gambar 8.4. Polarimeter .....	103
Gambar 8.5. Geometri sinar dari sumber ke sensor .....	107
Gambar 8.6. Grafik hubungan antara tegangan dan sudut .....	108
Gambar 9.1. Pengaruh refraksi pada posisi bayangan benda .....	115
Gambar 9.2. Pengaruh sudut tertentu terhadap posisi bayangan .....	115
Gambar 9.3. Obyek dengan berbagai posisi.....	116
Gambar 9.4. Refleksi total.....	116
Gambar 9.5. Besar sudut pantul dan sudut datang sama.....	117
Gambar 9.6. Ilustrasi terbentuknya bayangan dan <i>error</i> .....	118
Gambar 9.7: Kurva dispersi air.....	120
Gambar 9.8. Refraktometer portabel.....	122
Gambar 10.1. Struktur dasar spektrofotometer .....	130
Gambar 10.2 Absorbansi dua senyawa berbeda .....	131
Gambar 10.3. Contoh titik isobestik.....	132
Gambar 10.4. Transmisi.....	133
Gambar 11.1. Colorimeter.....	149
Gambar 11.2. Spektrofotometer potabel.....	149
Gambar 11.3 Ruang warna CIE LAB adalah tiga dimensi.....	152

## Daftar Pustaka

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/Electro-optics>
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Electro-optical\\_sensor](https://en.wikipedia.org/wiki/Electro-optical_sensor)
- [3] Morris, Alan S.; Langari, Reza (2012). *Measurement and Instrumentation*. London, UK: Elsevier Inc. p. 325. ISBN 978-0-12-381960-4
- [4] Diffenderfes, Robert (2005). *Electronic Devices: System and Applications*. New Delhi: Delimar. p. 480. ISBN 978-1401835149.
- [5] <http://www.resistorguide.com/photoresistor/>
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Optoelectronic>
- [7] *Supramolecular Materials for Opto-Electronics*, Editor: Norbert Koch, Royal Society of Chemistry, Cambridge 2015.
- [8] [https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_amplifier](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_amplifier)
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Nonlinear\\_theory\\_of\\_semiconductor\\_lasers](https://en.wikipedia.org/wiki/Nonlinear_theory_of_semiconductor_lasers)
- [10] Noppe M G, (2014) The Natural Linewidth of Fabry-Perot Semiconductor Lasers, *Laser Phys.*, 24, 125006

## INDEKS

---

### A

absorbansi · 3, 68, 127, 129, 130

---

### D

detektor foto · 1

---

### E

Efisien · 1

Einstein · 21

---

### G

Gaussian · 20, 135

---

### H

hukum Snell · 13, 15, 112, 115

---

### I

**Indeks bias** · vi, 12, 15, 111, 112, 117, 120, 123

instrumen optik · 1, 89

intensitas · 3, 5, 9, 10, 11, 12, 21, 28, 36, 37, 42,

48, 68, 69, 82, 89, 91, 93, 95, 104, 105, 106,

107, 108, 109, 116, 125, 126, 128, 135, 136,

139, 140, 144

---

### K

kalibrasi · 1, 66, 99, 123, 143

kapasitor · 24, 75, 79, 81, 84, 85, 86, 144

kerapatan fluks energi · 10

kolorimetri · 144

---

### L

**Laser** · vi, vii, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 130

**Laser elektron bebas** · 30

**Laser excimer** · 26

laser Raman · 30

**Lensa** · vi, 14, 104, 106, 109

---

### M

Maxwell · 9, 10, 15

**mikroskop** · vi, 14, 32, 37, 89, 141

mol · 3, 4, 6, 130

---

### N

Neodymium · 26, 44

---

### P

panjang fokus · 14, 104, 106

**Pembiasan** · vi, 13, 112, 113, 114

Pengukuran optik · 1

perangkat elektronik · 1, 68

permeabilitas relatif · 9, 15

**Permeabilitas relatif** · vi, 15

permitivitas relatif · 15

persamaan Fresnel · 14, 15

---

## Q

Q-switching · vi, 23

---

## R

radiasi elektromagnetik · 4, 15, 17, 18, 19, 41,  
42, 47, 66, 125

resonator · 20, 23, 29

---

## S

sampel · 1, 3, 9, 14, 68, 95, 96, 97, 100, 102,  
103, 111, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121,  
122, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 142,  
143, 144

satuan internasional · 3, 5

sinar monokromatik · 10

Spektrum · xii, 30, 41, 65, 144

---

## V

vektor Poynting · 9, 10, 11

vektor Poyting · 10

---

## X

xenon · vii, xii, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,  
144

**Xenon-merkuri** · vii, 37

