



**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI TERHADAP KONSTANTA
SELLMEIER ETANOL**

SKRIPSI

Oleh :

**Putri Rizki Wahyu Ramadhani
111810201044**

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

2016



**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI TERHADAP KONSTANTA
SELLMEIER ETANOL**

SKRIPSI

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

Oleh :

Putri Rizki Wahyu Ramadhani
111810201044

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER

2016

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa cinta dan terima kasih yang sebesar-besarnya untuk:

1. Alm ayahanda Lamari Yahya dan ibunda Diartatik tercinta, yang selalu memberikan doanya kepada ananda dengan segenap cinta kasih, rasa sayang dan sejuta kesabaran dalam mendidik ananda selama ini;
2. Saudaraku mbak Phenny W.F, A.Md.Kep dan mbak Priyessi Dwi W.O, S.E yang selalu mendukungu dan membantu secara materi selama saya menempuh ilmu di perguruan tinggi ini;
3. Kakak iparku mas S.Nuzul K, S.E dan mas Joko Mulyono, S.E yang selalu memberikan motivasi dan dukungannya;
4. Keponakanku tersayang Nayla dan Kirana yang selalu memberikan keceriaan kepada saya;
5. Para pendidik sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik saya dengan penuh amanah dan keikhlasan;
6. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTO

“(Apakah kamu hai orang musyrik yang lebih beruntung) ataukah orang yang beribadat di waktu-waktu malam dengan sujud dan berdiri, sedang ia takut kepada (azab) akhirat dan mengharapkan rahmat Tuhannya? Katakanlah: "Adakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui?"
Sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran.”

(terjemah Surat Az-Zumar ayat 9)^{*)}

“Maka bersabarlah kamu untuk (melaksanakan) ketetapan Tuhanmu, dan janganlah kamu ikuti orang yang berdosa dan orang yang kafir di antara mereka.”

(terjemah Surat Al-Insaan' ayat 24)^{**)}

^{*) **)} Al Qur'an Digital dan Terjemahannya Versi 3.7.1. 2014. www.alquran-digital.com

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Rizki Wahyu Ramadhani

NIM : 111810201044

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “*Pengaruh Variasi Konsentrasi Terhadap Konstanta Sellmeier Etanol*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juni 2016

Yang menyatakan,

Putri Rizki Wahyu Ramadhani

NIM 111810201044

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI TERHADAP KONSTANTA
SELLMEIER ETANOL**

Oleh

Putri Rizki Wahyu Ramadhani

NIM 111810201044

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Konsentrasi Terhadap Konstanta Sellmeier Etanol”

telah diuji dan disahkan secara akademis pada :

hari :

tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua (Dosen Pembimbing Utama)

Sekretaris (Dosen Pembimbing anggota)

Endhah Purwandari, S.Si. M.Si
NIP 19811111 200501 2 001

Ir. Misto, M.Si.
NIP 19591121 199103 1 002

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Dr. Lutfi Rohman, S.Si, M.Si.
NIP 19720820 199802 1 001

Nurul Priyantari, S.Si, M.Si
NIP 19700327 199702 2 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas MIPA

Drs. Sujito, Ph.D
NIP 19610204 198711 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Konsentrasi terhadap Konstanta Sellmeier Etanol; Putri Rizki Wahyu Ramadhani, 111810201044: 56 halaman; Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Alkohol adalah suatu senyawa organik yang mengandung gugus hidroksil (-OH) sebagai gugus fungsionalnya. Alkohol adalah istilah yang umum digunakan oleh masyarakat, sedangkan dalam dunia perdagangan yang disebut alkohol adalah etanol atau etil alkohol dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_6O . Etanol atau etil alkohol adalah alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena sifatnya yang tidak beracun. Etanol adalah cairan jernih yang mudah menguap dan mudah terbakar dengan titik didih pada $78,4^{\circ}C$ dan titik beku pada $-112^{\circ}C$. Pada penelitian yang saya lakukan etanol yang digunakan adalah etanol teknis, alasan dari dipilihnya etanol teknis pada penelitian ini adalah karena kebanyakan yang dijual di pasaran adalah jenis etanol teknis dengan berbagai macam variasi konsentrasi, yang setiap konsentrasinya memiliki fungsi masing-masing. Misalnya etanol 70% digunakan sebagai bahan antiseptik pembersih luka dalam bidang kesehatan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi terhadap konstanta Sellmeier etanol dengan memanfaatkan metode spektrometer dalam penentuan panjang gelombang dan indeks bias dari bahan. Terdapat dua set alat yang digunakan pada penelitian ini, diantaranya adalah spektrometer kisi dan spektrometer prisma. Spektrometer kisi digunakan untuk menentukan panjang gelombang spektrum yang dihasilkan dari sumber cahaya yang berupa lampu *mercury* Philips HPL-N 80W, sedangkan spektrometer prisma digunakan untuk mengetahui indeks bias dari etanol dengan berbagai variasi konsentrasi. Prisma yang digunakan pada

penentuan indeks bias etanol terbuat dari kaca benda (*object glass*) memiliki dimensi sisi alas 2,6 cm dan tinggi 7,6 cm serta tebal dinding prisma 1 mm.

Setelah diketahui panjang gelombang dan indeks bias bahan maka dapat diketahui nilai dari konstanta Sellmeier etanol pada berbagai variasi konsentrasi. Penentuan konstanta Sellmeier dilakukan dengan penyesuaian data panjang gelombang dan indeks bias etanol setiap perubahan konsentrasi.

Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa perubahan konsentrasi yang dikenakan pada etanol menghasilkan perubahan nilai konstanta Sellmeier. Hanya saja, berdasarkan grafik yang dilengkapi dengan *standart error bar* dapat diketahui bahwa tidak semua perubahan konsentrasi yang dikenakan pada bahan menghasilkan perubahan nilai yang cukup signifikan pada konstanta Sellmeier A. Sedangkan untuk konstanta Sellmeier B tidak mengalami perubahan yang signifikan pada setiap perubahan konsentrasinya. Hal ini didukung oleh hasil uji statistik *one-way* ANOVA yang menunjukkan bahwa pengujian pengaruh konsentrasi pada konstanta Sellmeier (A dan B) untuk etanol diperoleh bahwa $F_{hitung} (3,517) > F_{tabel} (1,663)$ atau $P_{sig} (0,000) < 0,05$. Ini berarti bahwa perubahan konsentrasi mempengaruhi nilai konstanta Sellmeier A (H_0 ditolak). Adapun uji statistik untuk konstanta Sellmeier B pada setiap perubahan konsentrasi menunjukkan bahwa $F_{hitung} (0,153) < F_{tabel} (1,663)$ atau $P_{sig} (1,000) > 0,05$, yang berarti bahwa perubahan konsentrasi tidak mempengaruhi nilai konstanta Sellmeier B yang diperoleh (H_0 diterima).

PRAKATA

Puji syukur alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat, taufik, hidayah, serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Konsentrasi Terhadap Konstanta Sellmeier Etanol”. 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 lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Ir. Misto, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dukungan, pengarahan, bimbingan dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Bapak Dr Lutfi Rohman, S.Si, M.Si. selaku Penguji I dan Ibu Nurul Priyantari, S.Si, M.Si. selaku Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji serta memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini;
3. Ibu Mutmainnah, S.Si, M.Si. dan bapak Dr. Artoto Arkundato, S.Si, M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan memberikan saran selama saya menempuh ilmu di jurusan fisika Fakultas MIPA.
4. Segenap dosen dan karyawan Fakultas MIPA yang selalu membantu dan mendukung;
5. keluarga besar jurusan fisika yaitu teman-teman angkatan 2011 khususnya : Desi, Devi, Nova, Novi, Vita, Vina, Umi.S, Irra, Ima, Puput, Asih dan Rossa. Dan adik-adik angkatan 2012 khususnya : Arofah, Agnes, Elok dan Greta yang telah

memberikan semangat dan motivasi serta membantu dan memberikan pengarahan kepada saya dalam penyelesaian skripsi;

6. teman-teman dari jurusan kimia yaitu: mbak Yuli, mbak Kiki, Santi, Aisyah, Sari yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membantu dalam pengambilan data penelitian;
7. teman-teman kosan GS: mbak Fina, mbak Okta, dan Nadia terima kasih untuk semangat yang diberikan kepada saya dalam penyelesaian penulisan skripsi ini;
8. semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kelemahan pada penulisan skripsi ini. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat diharapkan untuk motivasi penulisan berikutnya. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak

Jember, Juni 2016

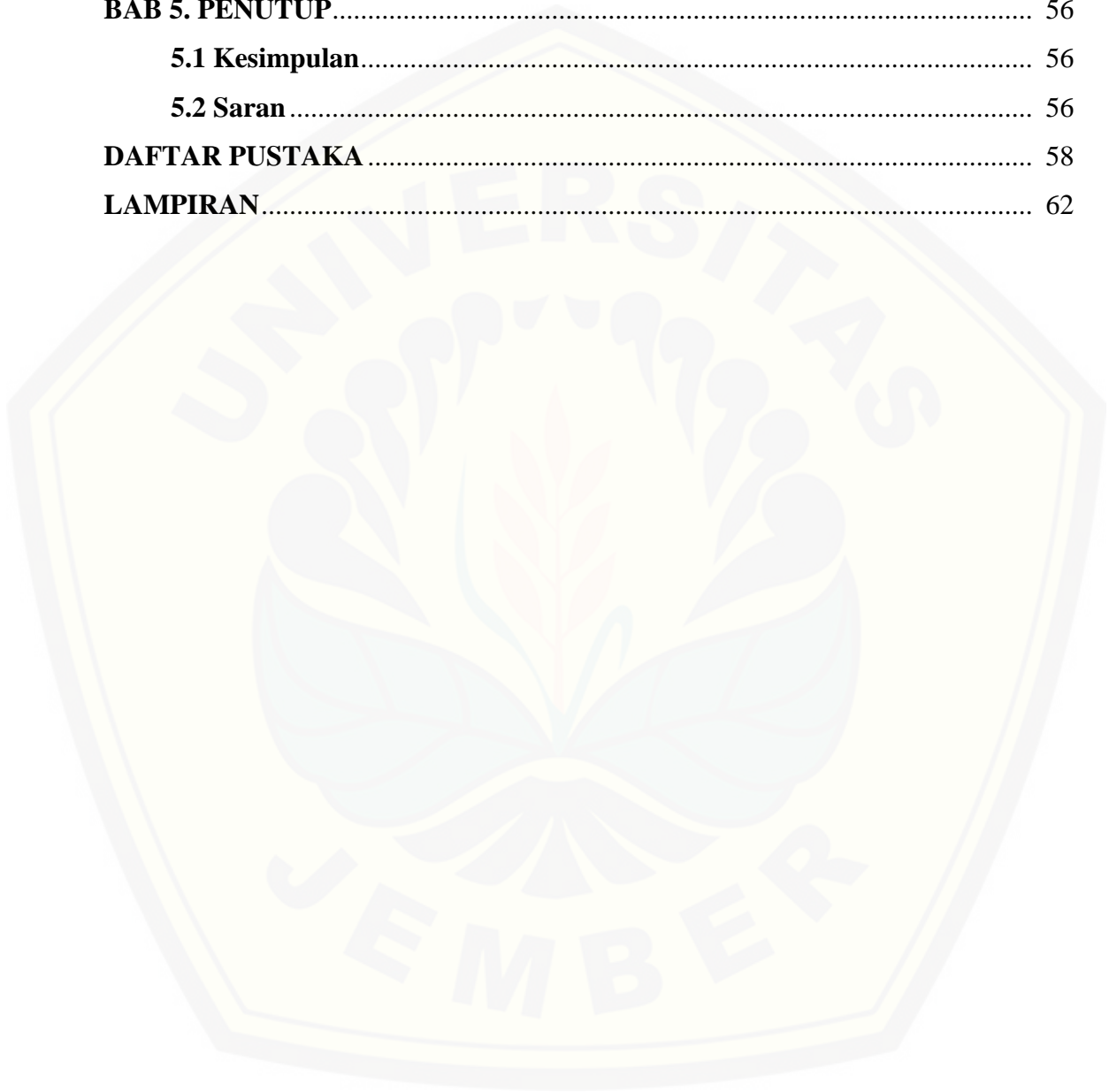
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Alkohol	6
2.2 Pengertian Etanol	7
2.3 Sifat Fisika Etanol	7
2.4 Pengenceran Larutan Pada Berbagai Konsentrasi	8
2.5 Pengenceran	8
2.6 Cahaya	9

2.7 Sifat – Sifat Cahaya	10
2.7.1 Cahaya dapat Dipantulkan dan Dibiaskan.....	10
2.7.2 Fenomena Dispersi	12
2.7.3 Fenomena Difraksi	13
2.8 Persamaan Sellmeier	15
2.9 Indeks Bias	16
2.10 Spektrometer	25
2.10.1 Spektrometer Kisi.....	26
2.10.2 Spektrometer Prisma.....	26
2.10.3 Sumber Cahaya <i>Mercury</i>	28
2.11 Penentuan Konstanta Sellmeier Larutan Etanol	29
BAB 3. METODE PENELITIAN	31
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.2 Alat dan Bahan	31
3.2.1 Alat Penelitian	31
3.2.2 Bahan Penelitian.....	32
3.3 Prosedur Penelitian	32
3.3.1 Tahapan Penelitian	32
3.3.2 Persiapan Alat dan Bahan.....	33
3.3.3 Kalibrasi Alat.....	35
3.3.4 Pengkondisian Konsentrasi Bahan	35
3.4 Proses Pengambilan Data	36
3.5 Metode Analisis	38
3.5.1 Penentuan Panjang Gelombang Spektrum	38
3.5.2 Penentuan Nilai Indeks Bahan.....	38
3.5.3 Penentuan Konstanta Sellmeier Bahan.....	39
3.5.4 Uji Statistuk Menggunakan <i>one-way</i> ANOVA	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	41

4.1 Hasil	41
4.2 Pembahasan	52
BAB 5. PENUTUP	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	62



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Tabel Nilai indeks bias berdasarkan panjang gelombang untuk air, air keras, kloroform dan karbon tetraklorida	18
2.2 Tabel konstanta Sellmeier pada minyak zaitun (olive oil).....	22
2.3 Tabel konstanta Sellmeier pada berbagai macam larutan kimia.....	23
2.4 Konstanta Sellmeier dan Cauchy dari air suling, air keras, kloroform dan karbon tetraklorida pada temperatur 20 ⁰ C	23
2.5 Garis spektrum lampu gas mercury	29
2.6 Panjang gelombang spektrum warna yang dihasilkan dari sumber cahaya lampu <i>mercury</i> HPL-N 80W dengan menggunakan spektrometer kisi	42
4.1 Hasil perhitungan indeks bias etanol pada berbagai konsentrasi untuk setiap panjang gelombang dari spektrum Lampu <i>mercury</i> HPL-N 80W dengan menggunakan spektrometer prisma	43
4.2 Tabel Hubungan antara konsentrasi (%) dengan nilai konstanta Sellmeier A dan nilai konstanta Sellmeier B larutan	49
4.3 Hasil Uji Statistik Konstanta Sellmeier A Menggunakan One Way ANOVA	51
4.4 Hasil Uji Statistik Konstanta Sellmeier B Menggunakan One Way ANOVA.	52

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Diagram spektrum gelombang elektromagnetik	9
2.2 Skema pemantulan dan pembiasan cahaya.....	11
2.3 Dispersi cahaya pada prisma	13
2.4 Skema spektrometer menggunakan kisi difraksi	15
2.5 Grafik hubungan indeks bias etanol pada konsentrasi 0%-100%.....	19
2.6 Kurva sebaran indeks bias H ₂ O dan D ₂ O	20
2.7 Grafik hubungan konstanta Sellmeier terhadap temperatur untuk minyak kelapa sawit	24
2.8 Grafik hubungan konstanta Cauchy (C ₁ dan C ₂) terhadap temperatur untuk minyak kelapa sawit	25
2.9 Bentuk riil prisma segitiga.....	27
2.10 Pembiasan di dalam prisma	27
2.11 Skema spektrometer prisma.....	30
3.1 Prisma Transparan	32
3.2 Diagram alir penelitian	33
4.1 Hubungan Konsentrasi dengan Indeks Bias pada Warna Merah.....	45
4.2 Hubungan Konsentrasi dengan Indeks Bias pada Warna Jingga.....	46
4.3 Hubungan Konsentrasi dengan Indeks Bias pada Warna Kuning	46
4.4 Hubungan Konsentrasi dengan Indeks Bias pada Warna Hijau	47
4.5 Hubungan Konsentrasi dengan Indeks Bias pada Warna Biru	47
4.6 Hubungan Konsentrasi dengan Indeks Bias pada Warna Ungu	48
4.7 Grafik hubungan antara konsentrasi terhadap konstanta Sellmeier A untuk larutan etanol	50

4.8 Grafik hubungan antara konsentrasi terhadap konstanta Sellmeier B untuk larutan etanol 51



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Data hasil percobaan dan pengukuran panjang gelombang spektrum lampu <i>mercury</i> Philips HPL-N 80W dengan menggunakan spektrometer kisi	62
B. Data Nilai Volume Etanol Yang Akan Diambil Untuk Proses Pengenceran....	63
C. Nilai indeks bias warna di udara dengan panjang gelombang yang diperoleh dari metode spektrometer kisi menggunakan sumber lampu <i>mercury</i> Philips HPL-N 80W	64
D. Data percobaan dan perhitungan indeks bias Etanol Pada Berbagai Konsentrasi.....	65
E. Perhitungan Panjang Gelombang Spektrum Untuk Berbagai Konsentrasi	70
F. Data Percobaan indeks bias pengukuran dan indeks bias perhitungan larutan etanol pada berbagai variasi konsentrasi	73
G. Perhitungan konstanta Sellmeier Setiap Warna	77
H. Analisa Statistik <i>one-way</i> Pengaruh Konsentrasi terhadap Konstanta Sellmeier A dan Konstanta Sellmeier B.....	87
I. Tabel Data yang berubah Signifikan	117
J. Foto alat penelitian	121
K. Kurva Dispersi Etanol Pada Berbagai Konsentrasi	122
L. CoA dari Etanol yang digunakan pada penelitian ini.....	131

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alkohol adalah salah satu dari sekelompok senyawa organik yang dibentuk dari hidrokarbon-hidrokarbon oleh pertukaran satu atau lebih gugus hidroksil dengan atom-atom hidrogen dalam jumlah yang sama, istilah ini meluas untuk berbagai hasil pertukaran yang bereaksi netral dan mengandung satu atau lebih gugus alkohol. Alkohol merupakan senyawa yang penting dalam kehidupan karena dapat digunakan dalam berbagai bidang seperti bidang industri, kesehatan, pertanian, dan bidang-bidang lainnya. Alkohol biasanya digunakan sebagai zat pembunuh kuman, bahan bakar, dan bahan baku untuk bahan kimia maupun pelarut. Dalam ilmu kimia yang dimaksud alkohol adalah suatu senyawa organik yang mengandung gugus hidroksil (-OH) sebagai gugus fungsionalnya. Alkohol adalah istilah yang umum digunakan oleh masyarakat, sedangkan dalam dunia perdagangan yang disebut alkohol adalah etanol atau etil alkohol dengan rumus C_2H_5OH (Day, R.A, 1992).

Etanol atau etil alkohol adalah alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena sifatnya yang tidak beracun. Etanol adalah cairan jernih yang mudah menguap dan mudah terbakar dengan titik didih pada $78,4^{\circ}C$ dan titik beku pada $-112^{\circ}C$. Etanol tidak berwarna dan tidak berasa tetapi memiliki bau yang khas dan merupakan pelarut yang baik untuk senyawa organik. Sifat fisika dari etanol yaitu diantaranya etanol memiliki nilai indeks bias sebesar 1,36, memiliki nilai densitas sebesar 0,7893 gr/ml dan memiliki nilai panas penguapan sebesar 200,6 kal/gr. Adapun rumus molekul etanol adalah C_2H_5OH (Perry. 1999).

Pada penelitian penentuan konstanta Sellmeier etanol berdasarkan variasi konsentrasi menggunakan spektrometer prisma, etanol yang digunakan adalah etanol teknis. Di dalam dunia perdagangan etanol yang dijual terdapat dua jenis

yaitu etanol Pa (pro analis) dan etanol teknis. Perbedaan diantara keduanya yaitu bahan kimia pro analis adalah bahan kimia yang memiliki kemurnian sangat tinggi (>99,5%). Bahan kimia p.a. (pro analisa) telah dianalisa/diteliti kadar /konsentrasinya secara kuantitatif di laboratorium tempat bahan kimia itu diproduksi. untuk penggunaannya biasanya bahan kimia p.a. digunakan sebagai reagen (pereaksi) baik itu primer atau sekunder di laboratorium. Sedangkan bahan kimia teknis adalah bahan kimia yg tidak memiliki kemurnian setinggi bahan kimia pro analis dan biasa dipergunakan dalam proses produksi karena harganya yang relatif jauh lebih murah dari bahan kimia pro analis. Sedangkan bahan kimia teknis dihitung kadar/konsentrasinya dengan hitungan stokiometri. Sedangkan bahan kimia teknis hanya digunakan sebagai larutan penambah dan sebagai antiseptik atau sebagai bakterisida. Alasan lain dari dipilihnya etanol teknis pada penelitian ini adalah karena kebanyakan yang dijual di pasaran adalah jenis etanol teknis dengan berbagai macam variasi konsentrasi, yang setiap konsentrasinya memiliki fungsi masing-masing. Misalnya etanol 70% digunakan sebagai bahan antiseptik pembersih luka dalam bidang kesehatan.

Penelitian tentang hubungan konsentrasi beberapa larutan kimia salah satunya etanol terhadap indeks bias telah dilakukan sebelumnya oleh Kyung Yoon Bang *et al* (2005) dengan menggunakan metode ellipsometri spektroskopi, tetapi yang dilakukan oleh Kyung Yoon Bang *et al* (2005) hanya pada konsentrasi 50% . Grafik hubungan konsentrasi etanol dengan indeks bias etanol yang telah dibuat oleh Kyung Yoon Bang *et al* (2005) membentuk kurva linier. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa hubungan antara konsentrasi etanol dengan indeks bias etanol berbanding lurus, semakin besar konsentrasi etanol maka semakin besar pula nilai indeks bias yang dihasilkan.

Metode yang telah digunakan sebelumnya untuk mencari hubungan konsentrasi etanol terhadap indeks bias mempunyai banyak kelemahan. Kelemahan dari metode ellipsometri spektroskopi adalah harga alat yang relatif mahal, penggunaan alat yang

cenderung rumit karena salah satu bagian alat dari metode ellipsometri spektroskopi yaitu pada generator polarisasi dan analisa terbuat dari komponen optik (Kyung *et al.*, 2005). Metode-metode tersebut tidak efektif dan tidak efisien jika digunakan untuk mengukur indeks bias suatu larutan sehingga diperlukan metode lain untuk mengukur indeks bias larutan secara mudah. Berbagai macam teknologi pengujian indeks bias pun telah ditemukan, salah satunya adalah teknologi berbasis optik dan kelistrikan atau yang lebih dikenal dengan optoelektronika.

Pada era modern seperti saat ini, optoelektronika sudah tidak asing lagi. Bahkan perkembangannya telah digunakan di berbagai bidang untuk memenuhi kebutuhan manusia. Salah satu alat optoelektronika yang dapat digunakan untuk menentukan indeks bias bahan adalah spektrometer prisma. Menurut Giancoli (1998), spektrometer prisma merupakan alat optik yang digunakan untuk mengamati dan mengukur sudut deviasi cahaya datang dari suatu sumber cahaya yang dilewatkan pada sebuah prisma. Cahaya dari sumber akan melewati celah sempit pada kolimator yang dibuat sejajar dengan lensa, sehingga cahaya paralel dari lensa jatuh pada prisma. Teleskop yang dapat digerakkan digunakan untuk memfokuskan berkas-berkas cahaya akibat adanya pembiasan dan dispersi oleh prisma. Ketika teleskop diposisikan pada sudut puncak difraksi, berkas cahaya dari panjang gelombang yang dipancarkan dapat terlihat atau teramati. Besar sudut deviasi yang ditemukan digunakan untuk menentukan besar indeks bias bahan yang diletakkan dalam prisma.

Berdasarkan nilai indeks bias suatu bahan transparan yang telah diperoleh, dapat diketahui adanya hubungan nilai indeks bias bahan terhadap panjang gelombang cahaya pada peristiwa dispersi. Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan suatu persamaan yang disebut dengan persamaan Sellmeier. Persamaan Sellmeier merupakan optimalisasi dari persamaan Cauchy yang dapat diaplikasikan pada daerah panjang gelombang tampak dan cahaya tak tampak (Ghosh *et al.*, 1994).

Penelitian mengenai penentuan indeks bias dan konstanta Sellmeier cairan menggunakan spektrometer prisma telah dilakukan oleh Daimon & Masumura (2007), bahan yang digunakan adalah air suling yang divariasikan pada beberapa temperatur dengan menggunakan panjang gelombang $1129\text{ nm} - 182\text{ nm}$. Sedangkan pada tahun (2012), Kedenburg *et al.* melakukan pengukuran indeks bias berbagai cairan dengan variasi panjang gelombang yang diukur pada suhu 20°C dengan menggunakan suatu refraktometer Abbe untuk menentukan nilai konstanta Sellmeier dan nilai konstanta Cauchy bahan. Pemanfaatan konstanta Sellmeier dapat digunakan sebagai indikator dari kemurnian minyak zaitun, hal ini telah dilakukan oleh Bodoruv *et al.* (2013). Nilai konstanta Sellmeier diperoleh berdasarkan penentuan nilai indeks bias dengan menggunakan metode optik dan termal. Selain itu, Zahro *et al.* (2015) melakukan pengukuran indeks bias minyak kelapa sawit pada berbagai temperatur dengan menggunakan spektrometer prisma untuk menentukan nilai dari konstanta Sellmeier dan nilai dari konstanta Cauchy.

Oleh karena itu, akan dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui konstanta Sellmeier pada etanol dengan variasi konsentrasi. Nilai indeks bias etanol ditentukan melalui fenomena dispersi pada spektrometer prisma dan panjang gelombang spektrum ditentukan melalui fenomena difraksi pada spektrometer kisi. Adanya penelitian ini diharapkan dapat menambah daftar konstanta Sellmeier dan dapat dijadikan sebagai acuan metode penelitian lebih lanjut pada bahan optik maupun bahan semikonduktor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat ditentukan permasalahan dalam tugas akhir ini yaitu bagaimana pengaruh konsentrasi terhadap konstanta Sellmeier dari etanol dengan menggunakan metode spektrometer prisma?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah temperatur ruang penelitian yang digunakan berkisar pada temperatur 20°C sampai dengan 25°C. Adapun etanol yang digunakan memiliki kemurnian 97% dan spektrometer yang digunakan adalah spektrometer prisma.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh konsentrasi terhadap konstanta Sellmeier etanol dengan menggunakan spektrometer prisma.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui karakteristik atau sifat optik dari etanol pada berbagai variasi konsentrasi.
2. Dapat mengaplikasikan spektrometer prisma sebagai sebuah metode untuk mengetahui karakterisis optik sebuah larutan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Alkohol

Alkohol merupakan senyawa seperti air yang satu hidrogennya diganti oleh rantai atau cincin hidrokarbon. Sifat fisis alkohol, alkohol mempunyai titik didih yang tinggi dibandingkan alkana-alkana yang jumlah atom C nya sama. Hal ini disebabkan antara molekul alkohol membentuk ikatan hidrogen. Rumus umum alkohol R – OH, dengan R adalah suatu alkil baik alifatis maupun siklik. Dalam alkohol, semakin banyak cabang semakin rendah titik didihnya. Sedangkan dalam air, metanol, etanol, propanol mudah larut dan hanya butanol yang sedikit larut. Alkohol dapat berupa cairan encer dan mudah bercampur dengan air dalam segala perbandingan (Brady, 1999).

Alkohol alifatik merupakan cairan yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh ikatan hidrogen. Dengan bertambah panjangnya rantai, pengaruh gugus hidroksil yang polar terhadap sifat molekul menurun. Sifat molekul yang seperti air berkurang, sebaliknya sifatnya lebih seperti hidrokarbon. Akibatnya alkohol dengan bobot molekul rendah cenderung larut dalam air, sedangkan alkohol berbobot molekul tinggi tidak demikian. Alkohol mendidih pada temperatur yang cukup tinggi. Sebagai suatu kelompok senyawa, fenol memiliki titik didih dan kelarutan yang sangat bervariasi, tergantung pada sifat substituen yang menempel pada cincin benzena (Petrucci, 1992).

Pada umumnya etanol disebut juga etil alkohol, alkohol murni, alkohol absolut, atau alkohol saja, adalah sejenis cairan yang mudah menguap, mudah terbakar, tak berwarna, dan merupakan alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Senyawa ini merupakan obat psikoaktif dan dapat ditemukan pada minuman beralkohol. Etanol termasuk ke dalam alkohol rantai tunggal, dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_6O . Alkohol juga memacu tumbuhnya

bakteri pengoksidasi alkohol yaitu yang mengubah alkohol menjadi asam asetat dan menyebabkan rasa masam pada tape yang dihasilkan (Fessenden,1997).

2.2 Pengertian Etanol

Etanol (disebut juga etil alkohol, alkohol murni, alkohol absolut, atau alkohol saja) adalah sejenis cairan yang mudah menguap, mudah terbakar, tak berwarna, dan merupakan alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Senyawa ini merupakan obat psikoaktif dan dapat ditemukan pada minuman beralkohol.

Etanol termasuk ke dalam alkohol rantai tunggal dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_6O yang merupakan isomer konstitusional dari dimetil eter. Etanol sering disingkat menjadi EtOH dengan “Et” merupakan singkatan dari gugus etil (C_2H_5).

Fermentasi gula menjadi etanol merupakan salah satu reaksi organik paling awal yang pernah dilakukan manusia. Efek dari konsumsi etanol yang memabukkan juga telah diketahui sejak dulu. Pada zaman modern, etanol yang ditujukan untuk kegunaan industri seringkali dihasilkan dari etilena.

Etanol banyak digunakan sebagai pelarut berbagai bahan-bahan kimia yang ditujukan untuk konsumsi dan kegunaan manusia. Contohnya adalah pada parfum, perasa, pewarna makanan, dan obat-obatan. Dalam kimia, etanol adalah pelarut yang penting sekaligus sebagai stok umpam untuk sintesis senyawa kimia lainnya. Dalam sejarahnya etanol telah lama digunakan sebagai bahan bakar (Myers *et al.*, 2007).

2.3 Sifat Fisika Etanol

Etanol memiliki banyak manfaat bagi masyarakat karena memiliki sifat yang tidak beracun. Selain itu etanol juga memiliki banyak sifat baik secara fisika maupun kimia. Etanol merupakan cairan yang tidak berwarna, dapat larut dalam air

dan eter, serta memiliki bau yang khas. Karakteristik yang lain dari etanol yaitu memiliki berat molekul sebesar 46,07 gr/grmol, titik lebur pada -112°C sedangkan titik didih pada $78,4^{\circ}\text{C}$. Selain itu etanol juga memiliki nilai densitas sebesar 0,7893 gr/ml. Sedangkan nilai indeks bias dari etanol sebesar 1,36143 dengan viskositas pada temperatur 20°C sebesar 1,17 gr/ml. Sedangkan panas penguapan yang dihasilkan dapat mencapai 200,6 kal/gr (Perry, 1999).

2.4 Pengenceran Larutan pada Berbagai Konsentrasi

Konsentrasi digunakan untuk menyatakan komposisi larutan secara kuantitatif. Konsentrasi didefinisikan sebagai jumlah zat terlarut dalam tiap satuan larutan atau pelarut. Salah satu satuan konsentrasi yaitu persen volume (%(v/v)) yang merupakan banyaknya volume bahan yang terkandung di dalam 100 ml larutan. Untuk mendapatkan suatu bahan dengan konsentrasi tertentu dapat dilakukan melalui proses pengenceran.

2.5 Pengenceran

Pengenceran adalah mencampur larutan pekat (konsentrasi tinggi) dengan cara menambahkan pelarut agar diperoleh volume akhir yang lebih besar. Jika suatu larutan senyawa kimia yang pekat diencerkan, kadang-kadang sejumlah panas dilepaskan. Hal ini terutama dapat terjadi pada pengenceran asam sulfat pekat. Agar panas ini dapat dihilangkan dengan aman, asam sulfat pekat yang harus ditambahkan ke dalam air, tidak boleh sebaliknya. Jika air ditambahkan ke dalam asam sulfat pekat, panas yang dilepaskan sedemikian besar yang dapat menyebabkan air mendadak mendidih dan menyebabkan asam sulfat memercik. Jika kita berada di dekatnya, percikan asam sulfat ini bisa merusak kulit (Khopkar, 1990).

Menurut John *et al.* (2011), rumus yang digunakan pada pengenceran adalah sebagai berikut :

$$V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2 \quad (2.1)$$

Dimana :

V_1 = Volume larutan dalam prisma (ml).

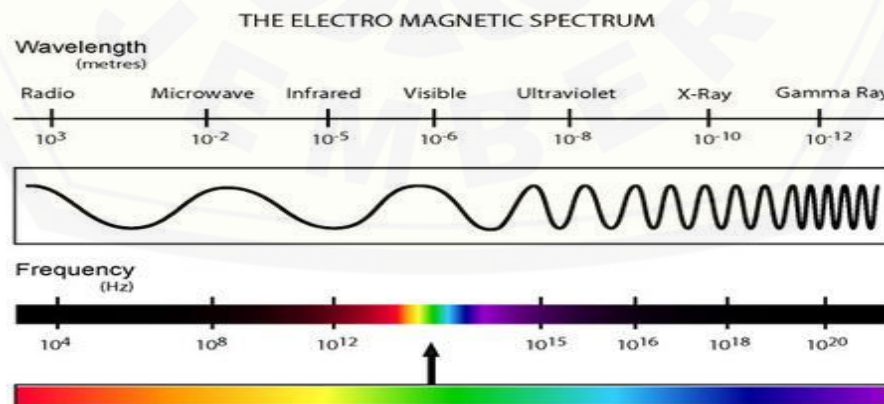
N_1 = Prosentase etanol yang akan dibuat (%).

V_2 = Volume etanol yang akan diambil untuk proses pengenceran (ml).

N_2 = Prosentase etanol yang digunakan (%).

2.6 Cahaya

Cahaya adalah energi berbentuk gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat oleh mata dengan panjang gelombang sekitar 380 – 750 nm (Narinder. 2008). Menurut Tugino (2012), Cahaya merupakan salah satu spektrum gelombang elektromagnetik yaitu gelombang yang merambat tanpa memerlukan medium rambatan. Berdasarkan jenisnya, cahaya dibedakan menjadi cahaya yang tampak dan cahaya yang tidak tampak. Cahaya tampak merupakan cahaya yang jika mengenai benda maka benda tersebut akan dapat dilihat oleh manusia (contoh: cahaya matahari). Cahaya tak tampak merupakan cahaya yang bila mengenai benda tidak akan tampak lebih terang atau masih sama sebelum terkena cahaya (Contoh: sinar inframerah dan sinar x). Cahaya tampak dibagi menjadi 2 yaitu monokromatik dan polikromatik. Spektrum cahaya tampak dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram spektrum gelombang elektromagnetik (Sumber: Resnick, 2005)

2.7 Sifat- Sifat Cahaya

Cahaya mempunyai sifat-sifat tertentu, diantaranya adalah cahaya memiliki arah rambat yang tegak lurus arah getar (transversal), cahaya dapat menembus benda bening, cahaya dapat dibelokkan oleh celah sempit. Cahaya dapat mengalami pemantulan, pembiasan, interferensi, difraksi (lenturan), dan polarisasi serta cahaya dapat diuraikan. Selain itu, cahaya merupakan suatu partikel sekaligus gelombang yang memiliki kecepatan sebesar $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ (Bueche, 1989).

2.7.1 Cahaya dapat Dipantulkan dan Dibiaskan

Ketika cahaya dipancarkan oleh matahari atau sumber cahaya lain seperti lampu listrik, cahaya bergerak dari sumber cahaya tersebut ke segala arah. Pada saat cahaya mengenai suatu penghalang seperti buku, tembok atau cermin maka cahaya dipantulkan oleh benda-benda penghalang tersebut. Arah gerak pantulan cahaya setelah membentur benda penghalang berbeda dari arah gerak cahaya sebelum mengenai benda penghalang. Dapat dikatakan bahwa pemantulan cahaya adalah peristiwa di mana cahaya mengenai suatu penghalang sehingga arah gerak cahaya berubah; arah gerakan cahaya setelah membentur benda penghalang berbeda dengan arah gerak cahaya sebelum membentur benda penghalang. Hukum pemantulan cahaya merupakan hukum fisika yang menjelaskan peristiwa pemantulan cahaya.

Sedangkan pembiasan cahaya merupakan peristiwa penyimpangan atau pembelokan cahaya karena melalui dua medium yang berbeda kerapatan optiknya.

Arah pembiasan cahaya dibedakan menjadi dua macam yaitu :

a. Mendekati garis normal

Cahaya dibiaskan mendekati garis normal jika cahaya merambat dari medium optik kurang rapat ke medium optik lebih rapat, contohnya cahaya merambat dari udara ke dalam air.

b. Menjauhi garis normal

Cahaya dibiaskan menjauhi garis normal jika cahaya merambat dari medium optik lebih rapat ke medium optik kurang rapat, contohnya cahaya merambat dari dalam air ke udara.

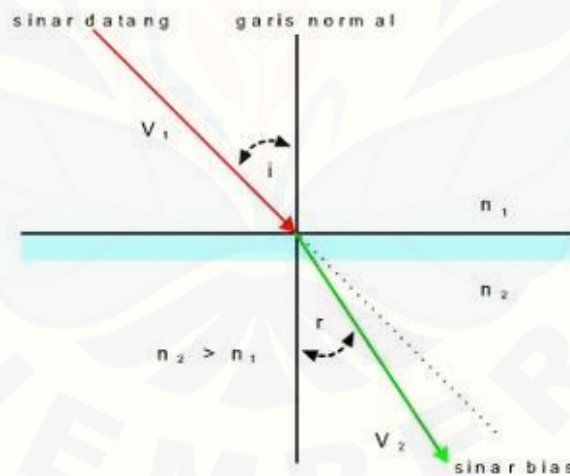
Syarat-syarat terjadinya pembiasan yaitu :

1. cahaya melalui dua medium yang berbeda kerapatan optiknya;
2. cahaya datang tidak tegak lurus terhadap bidang batas (sudut datang lebih kecil dari 90 derajat)

Pada peristiwa pembiasan berlaku hukum Snellius yang dapat diekspresikan melalui persamaan (2.2).

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \quad (2.2)$$

dimana i merupakan besar sudut sinar datang dan r adalah besar sudut sinar bias.



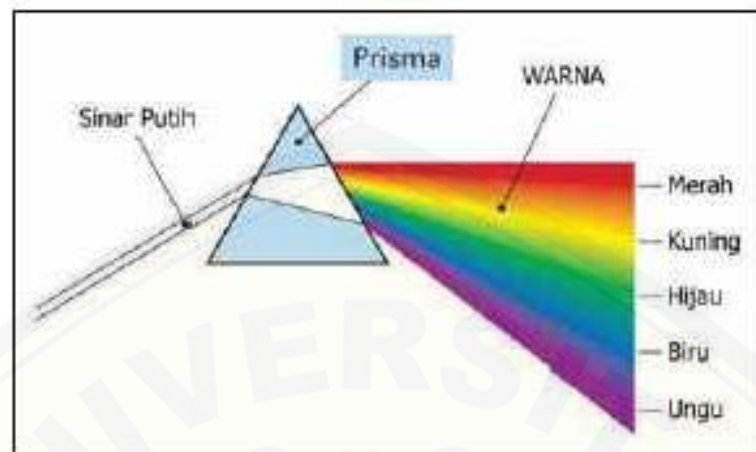
Gambar 2.2 Skema pemantulan dan pembiasan cahaya (Sumber: Bueche, 2005)

Misalkan cahaya merambat dari medium 1 dengan kecepatan V_1 dan sudut datang i menuju ke medium 2. Saat di medium 2 kecepatan cahaya berubah menjadi V_2 dan cahaya dibiaskan dengan sudut bias r seperti diperlihatkan pada gambar di atas. Pada contoh di atas terlihat sinar datang (i) > sinar bias (r) atau dengan kata lain sinar bias

mendekati garis normal, terjadi ketika sinar menembus batas bidang dari medium yang kurang rapat ke medium yang lebih rapat. Bila sinar berasal dari sebaliknya yakni dari medium rapat ke medium kurang rapat maka sinar menjauhi garis normal ($i < r$) (Bueche, 2005).

2.7.2 Fenomena Dispersi

Gejala dispersi cahaya adalah gejala peruraian cahaya putih (polikromatik) menjadi cahaya berwarna-warni (monokromatik). Cahaya putih merupakan cahaya polikromatik, artinya cahaya yang terdiri atas banyak warna dan panjang gelombang. Jika cahaya putih diarahkan ke prisma, maka cahaya putih akan terurai menjadi cahaya merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu. Cahaya-cahaya ini memiliki panjang gelombang yang berbeda. Setiap panjang gelombang memiliki indeks bias yang berbeda. Semakin kecil panjang gelombangnya semakin besar indeks biasnya. Dispersi pada prisma terjadi karena adanya perbedaan indeks bias kaca setiap warna cahaya. (Tipler, 2001). Contoh peristiwa dispersi cahaya yang terjadi pada kehidupan sehari-hari adalah peristiwa terbentuknya pelangi. Pelangi terjadi karena pembiasan cahaya. Cahaya matahari yang melewati sebuah tetes hujan dan dibiaskan melewati tengah tetes hujan tersebut. Peristiwa dispersi dapat memisahkan cahaya putih menjadi warna spektrum. Warna spektrum adalah warna merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu. Atau yang sering kita hafal dengan singkatan "mejikuhibiniu". Kemudian warna-warna itu memantul di belakang tetes hujan, yang akibatnya cahaya tampak melengkung menjadi pelangi.



Gambar 2.3 Dispersi cahaya pada prisma (Sumber: *Gibilisco*, 2009)

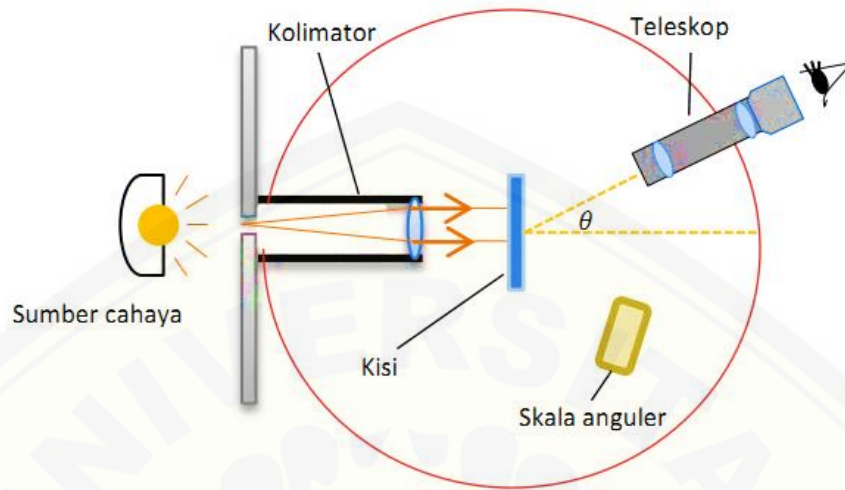
2.7.3 Fenomena Difraksi

Difraksi merupakan suatu fenomena setiap simpangan dari optik geometri yang dihasilkan dari gangguan muka gelombang cahaya. Efek difraksi merupakan suatu akibat dari karakter gelombang cahaya (Pedrotti, 1993). Berkas difraksi akan saling berinterferensi serta merubah karakteristik propagasi gelombang dan membentuk pola difraksi yang memperlihatkan adanya intensitas gelombang yang kuat dan intensitas gelombang yang lemah atau sama sekali menghilang pada posisi tertentu. Hal ini dapat terjadi karena adanya interferensi yang saling menguatkan dan interferensi yang saling melemahkan.

Menurut Tjia (1994), difraksi ditinjau secara makroskopis merupakan gejala penyebaran arah dari seberkas gelombang yang menjalar melalui celah sempit atau tepian tajam benda, sehingga fenomena difraksi dapat membedakan ciri khusus antara gelombang dan partikel. Hal ini dikarenakan suatu partikel yang bergerak bebas melalui celah tidak akan mengalami perubahan arah. Selain itu, apabila ditinjau secara mikroskopis, gelombang elektromagnetik yang mengenai layar akan menggetarkan elektron luar dari atom-atom layar tersebut.

Terdapat dua jenis difraksi cahaya berdasarkan jarak sumber cahaya dan celah, yaitu difraksi Fraunhofer dan difraksi Fresnel. Dari kedua peristiwa difraksi tersebut dapat dibedakan berdasarkan ciri-ciri yang ada pada masing-masing peristiwa difraksi. Pada difraksi Fraunhofer sumber cahayanya jauh dari celah sehingga cahaya yang masuk sejajar, lebar celah pada difraksi Fraunhofer jauh lebih sempit dibandingkan jarak celah ke layar, selain itu kisi yang sering digunakan adalah kisi tunggal, dua celah, celah banyak dan lubang bulat. Sedangkan untuk difraksi Fresnel jarak sumber cahaya dengan celah dekat sehingga berkas cahaya tidak perlu sejajar, dibandingkan dengan difraksi Fraunhofer, pada difraksi Fresnel lebar celahnya lebih lebar, dan elemen difraksi yang digunakan dapat berupa lubang berbentuk lingkaran, persegi, piringan atau lancip.

Difraksi gelombang cahaya akan menghasilkan beberapa spektrum garis warna karena lampu yang digunakan sebagai sumber adalah lampu merkuri sebagaimana yang telah diketahui bahwa lampu merkuri memiliki beberapa spektrum warna dengan panjang gelombang yang berbeda - beda. Sumber cahaya tersebut akan mengalami difraksi setelah melewati kisi dan terjadi interferensi gelombang cahaya yang berasal dari bagian-bagian suatu medan gelombang. Kemungkinan medan gelombang tersebut adalah suatu celah. Biasanya yang sering digunakan adalah kisi (banyak celah). Kisi merupakan susunan celah-celah sempit yang jumlahnya lebih dari dua, bahkan dapat dibilang banyak yaitu hingga ribuan celah per mm. Karena kisi merupakan susunan banyak celah inilah yang menyebabkan terjadi gabungan gejala interferensi dan difraksi. Umumnya, alat yang digunakan untuk mengetahui panjang gelombang spektrum adalah spektrometer seperti Gambar 2.4 (Djuhana, 2011).



Gambar 2.4 Skema spektrometer menggunakan kisi difraksi (Sumber: Djuhana, 2011)

2.8 Persamaan Sellmeier

Pada tahun 1871 Wolfgang Sellmeier menemukan adanya hubungan empiris antara indeks bias dan panjang gelombang untuk bahan tranparan tertentu. Hubungan tersebut dinyatakan pada persamaan (2.3) yang dikenal sebagai persamaan Sellmeier. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menentukan dispersi dari cahaya dalam medium (Tropf *et al.*, 1995).

Persamaan Sellmeier merupakan optimalisasi dari persamaan Cauchy, tetapi persamaan Sellmeier lebih akurat daripada persamaan Cauchy untuk karakteristik indeks bias material di berbagai spektrum. Persamaan Sellmeier dapat dinyatakan pada persamaan (2.3). Setiap bahan akan memiliki nilai konstanta yang berbeda-beda, hal itu disesuaikan dengan pengkondisian pada bahan tersebut, dimana pengkondisian suatu bahan dapat dilakukan dengan memvariasi temperatur, tekanan maupun konsentrasi dari bahan itu sendiri. Sehingga dengan pengkondisian pada suatu bahan yang berbeda-beda tersebut menghasilkan hubungan antara indeks bias dan panjang gelombang yang berbanding terbalik, dimana indeks bias menurun dengan meningkatnya nilai panjang gelombang (Ghosh *et al.*, 1994).

$$n^2=1+\sum \frac{A.\lambda^2}{\lambda^2-B} \quad (2.3)$$

Keterangan:

n : indeks bias

λ : panjang gelombang(m)

A,B : konstanta Sellmeier

Tiwald (2009) menyatakan bahwa dalam penentuan formula dispersi suatu material dua suku dari persamaan Sellmeier lebih baik daripada tiga suku persamaan Cauchy. Hal dikarenakan persamaan dispersi Sellmeier merupakan penjumlahan dari perluasan nol (*zero-broadened*) osilator Lorentz. Persamaan Sellmeier menggunakan beberapa pendekatan-pendekatan tentang elektron-elektron dalam medium. Melalui pendekatan interaksi elektron dengan medium telah diperoleh persamaan dispersi indeks bias suatu medium yang kemudian dikenal dengan persamaan Sellmeier. Pada persamaan Sellmeier dapat ditunjukkan bahwa dengan menggunakan pendekatan polynomial akan diperoleh persamaan dispersi indeks bias Cauchy (Herwinarso, 2012).

2.9 Indeks Bias

Indeks bias merupakan salah satu dari beberapa sifat optis yang penting dari suatu bahan. Nilai indeks bias ini banyak dipergunakan untuk menginterpretasi suatu jenis data spektroskopi. Indeks bias dari suatu bahan atau larutan merupakan parameter karakteristik yang sangat penting yang berhubungan dengan temperatur, konsentrasi dan lain-lain (Hidayanto *et al.*, 2010).

Menurut Tipler (1991), indeks bias merupakan perbandingan laju cahaya di ruang hampa terhadap laju cahaya di dalam medium, selalu lebih besar dari 1. Indeks bias zat cair (n) merupakan ukuran kelajuan cahaya (v) di dalam zat cair dibandingkan ketika di udara (c), dan dinyatakan dengan persamaan

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.4)$$

Artinya, bila (v) semakin kecil maka (n) semakin besar, medium mempunyai kerapatan optisnya besar. Perubahan kelajuan cahaya dari (c) menjadi (v) berhubungan dengan perubahan arah rambat cahaya (Jati et al., 2010).

Pengukuran indeks bias suatu zat cair sangat penting untuk mengetahui sifat dan kemurnian cairan, konsentrasi larutan, dan perbandingan komponen dalam campuran dua zat atau kadar (persentase) yang diekstraksikan dalam pelarutnya (Siagian, 2004). Indeks bias juga dapat digunakan untuk mengetahui kualitas suatu larutan. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh Sutiah *et al.* (2008), menunjukkan bahwa indeks bias dapat digunakan untuk menentukan kemurnian minyak goreng. Dalam bidang industri makanan dan minuman, indeks bias dapat digunakan untuk mengetahui besarnya konsentrasi gula dalam makanan dan minuman (Rofiq, 2010), dan dalam bidang kimia pengukuran indeks bias secara luas telah digunakan untuk mengetahui konsentrasi suatu larutan dan mengetahui komposisi bahan-bahan penyusun larutan (Subedi *et al.*, 2006). Indeks bias zat cair misalnya air murni (H_2O) adalah 1,33 (Tipler, 1991).

Kedenburg *et al.* (2012) telah melakukan penelitian mengenai indeks bias cairan sebagai fungsi panjang gelombang yang diukur pada temperatur $20^{\circ}C$. Dalam penelitian ini sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya putih Yukawa AQ4305 yang memiliki panjang gelombang sebesar 400 nm hingga 1800 nm. Sedangkan cairan yang digunakan pada penelitian ini adalah air, air keras, etanol, toluene, disulfida, nitrobenzena, kloroform dan karbon tetraklorida. Hasil pengukuran indeks bias beberapa cairan dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai indeks bias berdasarkan panjang gelombang untuk air, air keras, kloroform dan karbon tetraklorida pada temperatur 20⁰C

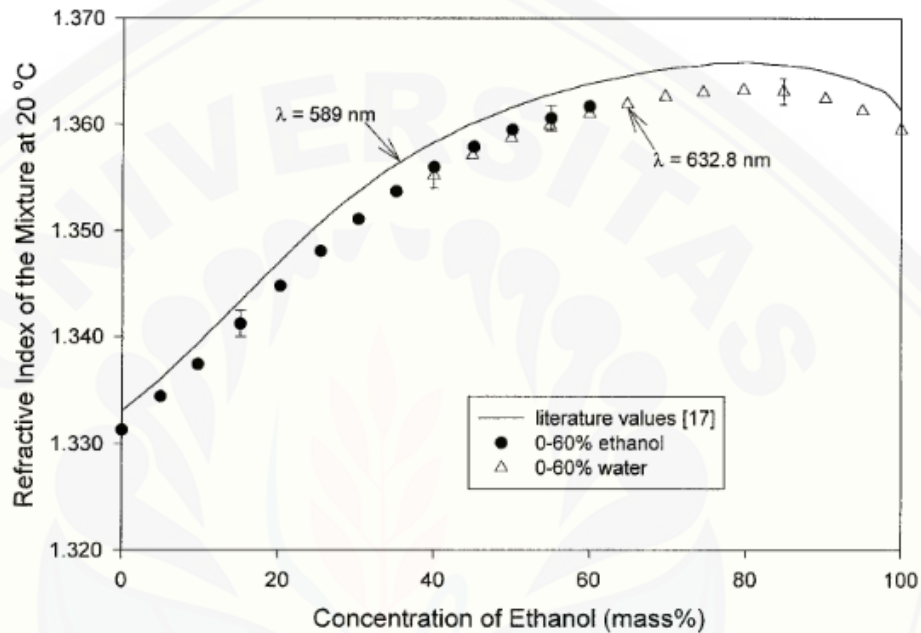
λ (μm)	n_{air}	$n_{\text{air keras}}$	$n_{\text{kloroform}}$	$n_{\text{Karbon Tetraklorida}}$
0,50	1,3372 \pm 0,0002	1,3315 \pm 0,0002	1,4495 \pm 0,0003	1,4652 \pm 0,0002
0,55	1,3345 \pm 0,0002	1,3294 \pm 0,0002	1,4461 \pm 0,0002	1,4616 \pm 0,0002
0,60	1,3328 \pm 0,0002	1,3278 \pm 0,0002	1,4434 \pm 0,0002	1,4595 \pm 0,0002
0,65	1,3314 \pm 0,0003	1,3264 \pm 0,0002	1,4418 \pm 0,0002	1,4570 \pm 0,0003
0,70	1,3301 \pm 0,0002	1,3258 \pm 0,0002	1,4402 \pm 0,0004	1,4558 \pm 0,0002
0,75	1,3291 \pm 0,0003	1,3248 \pm 0,0002	1,4391 \pm 0,0002	1,4547 \pm 0,0002
0,80	1,3282 \pm 0,0001	1,3240 \pm 0,0002	1,4383 \pm 0,0003	1,4536 \pm 0,0002
0,85	1,3273 \pm 0,0002	1,3235 \pm 0,0002	1,4374 \pm 0,0003	1,4523 \pm 0,0002
0,90	1,3263 \pm 0,0003	1,3228 \pm 0,0002	1,4369 \pm 0,0005	1,4519 \pm 0,0002
1,00	1,3249 \pm 0,0002	1,3217 \pm 0,0004	1,4357 \pm 0,0004	1,4512 \pm 0,0003
1,10	1,3235 \pm 0,0003	1,3209 \pm 0,0004	1,4351 \pm 0,0004	1,4505 \pm 0,0003
1,20	1,3218 \pm 0,0004	1,3198 \pm 0,0003	1,4346 \pm 0,0003	1,4497 \pm 0,0004
1,30	1,3201 \pm 0,0002	1,3191 \pm 0,0002	1,4342 \pm 0,0003	1,4491 \pm 0,0004
1,40	1,3183 \pm 0,0003	1,3183 \pm 0,0003	1,4340 \pm 0,0003	1,4488 \pm 0,0004
1,50	1,3167 \pm 0,0004	1,3173 \pm 0,0004	1,4335 \pm 0,0003	1,4484 \pm 0,0003
1,60	1,3141 \pm 0,0004	1,3167 \pm 0,0005	1,4332 \pm 0,0003	1,4479 \pm 0,0003

Sumber: Kedenburg *et al.* (2012).

Larutan yang juga merupakan medium pada suatu konsentrasi yang berbeda, memiliki karakter fisis yang berbeda. Indeks bias pada larutan adalah suatu parameter karakteristik fisis atau sifat optik yang berkaitan dengan parameter lain diantaranya konsentrasi dan temperatur larutan. Hal ini diakibatkan karena semakin pekat suatu larutan, maka kecepatan cahaya dalam medium larutan akan semakin berkurang sehingga dapat disimpulkan bahwa akan didapatkan indeks bias yang berbeda untuk setiap konsentrasi larutan. Indeks bias larutan sukrosa pada

konsentrasi 10% yang diukur menggunakan refraktrometer, didapatkan nilai sebesar 1,3484 (Nugraheni, 2012).

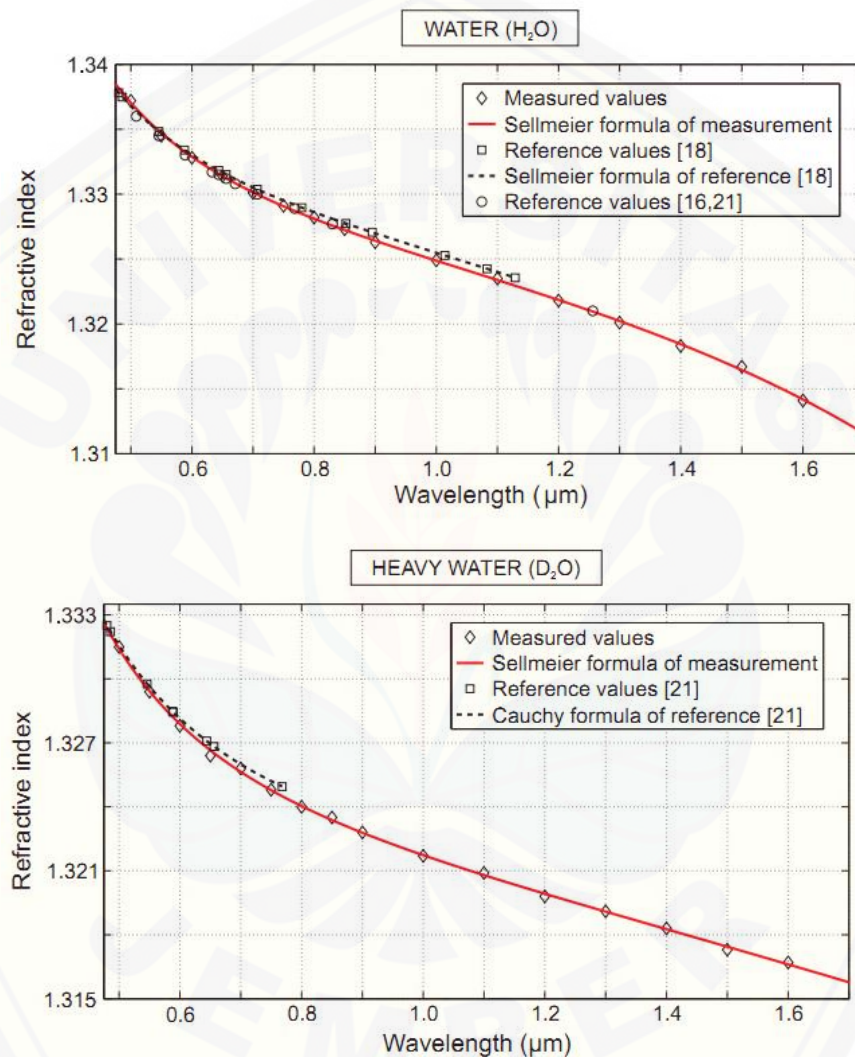
Grafik hubungan antara konsentrasi dengan indeks bias pada larutan etanol diperlihatkan seperti gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik hubungan indeks bias larutan etanol pada konsentrasi 0%-100% (Sumber: Longtin dan Fan, 1998)

Gambar 2.5 merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Longtin dan Fan pada tahun (1998) dengan menggunakan laser He-Ne sebagai sumber cahayanya. Longtin dan Fan (1998) membuat grafik hubungan indeks bias dengan konsentrasi larutan etanol 0%-100% dengan sumbu x menyatakan konsentrasi etanol pada 0% sampai dengan 100% dan sumbu y menyatakan nilai indeks bias etanol. Pada gambar 2.5 terlihat bahwa indeks bias larutan etanol terus meningkat mulai dari konsentrasi 5% hingga konsentrasi 70%, dan nilai indeks bias mulai menurun pada saat konsentrasi 75% hingga konsentrasi 100%.

Selain hubungan indeks bias terhadap konsentrasi dapat diketahui pula hubungan antara indeks bias dengan panjang gelombang cahaya. Hubungan ini dapat disajikan dalam bentuk kurva dispersi. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kurva sebaran indeks bias H₂O dan D₂O (Sumber: Kedenburg *et al.*, 2012)

Gambar 2.6 merupakan kurva sebaran indeks bias untuk air (H₂O) dan air keras (D₂O). Berdasarkan kurva tersebut menunjukkan bahwa bertambahnya nilai panjang gelombang cahaya menyebabkan berkurangnya nilai indeks bias pada bahan tersebut.

Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara indeks bias dan panjang gelombang berbanding terbalik.

Pengukuran indeks bias cairan dengan menggunakan polarisasi cahaya secara sejajar dan tegak lurus telah dilakukan oleh Raty dan Peiponen, (1999). Metode yang digunakan yaitu metode reflektometer yang digunakan untuk penentuan indeks bias panjang gelombang tergantung dari cairan yang digunakan, panjang gelombang yang digunakan yaitu pada panjang gelombang sebesar 590 nm. Dengan menggunakan persamaan fungsi dielektrik dari kedua media yaitu prisma dan sampel cair yang diberikan pada persamaan berikut ini:

$$\varepsilon = \sin^2\theta + \cos^2\theta \left[\frac{1-r_s}{1+r_s} \right]^2 \quad (2.5)$$

maka dapat diperoleh persamaan untuk indeks bias, yaitu:

$$n_2 - ik_2 = n_1 \sqrt{\varepsilon} \quad (2.6)$$

Artinya bila ε (fungsi dielektrik) semakin kecil maka nilai n (indeks bias) yang dihasilkan juga akan semakin kecil.

Pada tahun (2013) Bodurov *et al.* melakukan penelitian tentang pendeteksian adanya pemalsuan minyak zaitun menggunakan metode optik dan termal. Dengan menggunakan spektrometer serat optik AvaSpect 2038 dapat ditentukan indeks bias minyak zaitun yang kemudian digunakan untuk menentukan dua konstanta Sellmeier pada suku pertama sebagai uji kemurnian minyak zaitun. Hasil penelitian yang dilakukan Bodurov *et al.* dapat dilihat pada Tabel 2.2 dimana pada minyak zaitun murni yang berupa *extra virgin olive oils* (EVOO) memiliki nilai konstanta A_1 yang relatif lebih kecil dan konstanta B_1 yang relatif lebih besar jika dibandingkan minyak zaitun campuran yang berupa *salad mixtures of olive oils* (SMOO).

Tabel 2.2 Tabel konstanta Sellmeier pada minyak zaitun (*olive oil*)

Jenis Minyak Zaitun	Kandungan		A_1	B_1 (nm^2)
	B-Karotin ppm	Klorofil ppm		
EVOO 1	48,74	4,656	1,111	112
EVOO 2	52,64	3,744	1,114	113
EVOO 3	51,21	7,152	1,111	111
SMOO 1	3,18	0,07	1,134	106
SMOO 2	47,45	0,175	1,132	107
SMOO 3	35,67	0,155	1,133	108

Sumber: Bodurov *et al.* (2013).

Selain itu penelitian serupa juga dilakukan oleh Kyung Yoon Bang *et al.*, (2005) mengenai penentuan fungsi optik dari berbagai larutan kimia contohnya : metanol, etanol, metilen klorida, kloroform, etil asetat, heksan, tetrahidrofur, eter, dimetil formamida dan lain-lain dengan menggunakan metode ellipsometri spektroskopi untuk menentukan indeks bias dari semua cairan kimia tersebut kemudian digunakan untuk menentukan konstanta Sellmeier. Pada metode ellipsometri spektroskopi ini prisma yang digunakan terbuat dari kristal *silica*. Tabel 2.3 adalah hasil nilai parameter konstanta Sellmeier untuk berbagai larutan kimia pada konsentrasi 50% dan panjang gelombang sebesar 589 nm.

Tabel 2.3 Tabel konstanta Sellmeier pada berbagai macam larutan kimia.

Liquid	Sellmeier parameters					Sellmeir (589 nm)
	A	B ₁	C ₁	B ₂	C ₂	
Toluene	0.605	0.933	143.3	0.609	136.3	1.497
Ethanol	0.782	0.525	135.0	0.472	140.2	1.355
Methanol	0.978	0.369	152.9	0.408	8.9	1.334
Methylene chloride	0.549	0.868	145.0	0.535	54.8	1.417
Chloroform	0.958	0.769	119.0	0.394	41.4	1.468
Ethyl acetate	0.542	0.923	82.9	0.413	85.9	1.380
Hexane	0.671	0.677	109.9	0.493	112.0	1.373
Tetrahydrofuran	0.415	0.647	101.0	0.830	107.4	1.393
Ether	0.461	0.507	124.2	0.742	153.4	1.337
Dimethylformamide	0.738	0.916	109.6	0.409	111.8	1.453

Sumber: Kyung Yoon Bang *et al.*, (2005).

Pengukuran indeks bias berbagai cairan dan melakukan perhitungan untuk menentukan konstanta Sellmeier dan konstanta Cauchy bahan untuk menentukan sifat dispersi dan koefisien absorpsi bahan pernah dilakukan oleh Kedenburg *et al.* (2012) dengan menggunakan suatu refraktrometer Abbe. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Kedenburg *et al.* (2012) ditunjukkan pada tabel 2.4.

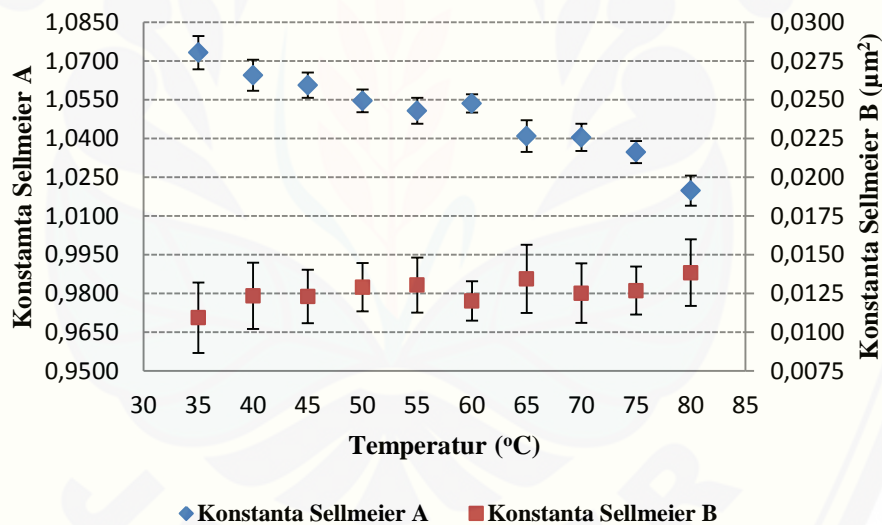
Tabel 2.4 Konstanta Sellmeier dan Cauchy dari air suling, air keras, klorofom dan KarbonTetraklorida pada temperatur 20°C

Cairan	Konstanta Sellmeier	Konstanta Cauchy
Air (H ₂ O)	$A_1 = 0,75831 \pm 0,00082$	$C_1 = 1,76880 \pm 0,00134$
	$B_1 = 0,01007 \pm 0,00027 \mu\text{m}^2$	$C_2 = 0,00237 \pm 0,00093 \mu\text{m}^2$
	$A_2 = 0,08495 \pm 0,01912$	$C_3 = 0,00087 \pm 0,00017 \mu\text{m}^4$
	$B_2 = 8,91377 \pm 1,35076 \mu\text{m}^2$	
Air keras (D ₂ O)	$A_1 = -0,30637 \pm 0,76766$	$C_1 = 1,74679 \pm 0,00108$
	$B_1 = -47,2668 \pm 126,477 \mu\text{m}^2$	$C_2 = 0,00633 \pm 0,00075 \mu\text{m}^2$
	$A_2 = 0,74659 \pm 0,00104$	$C_3 = 0,00014 \pm 0,00014 \mu\text{m}^4$
	$B_2 = 0,00893 \pm 0,00031 \mu\text{m}^2$	
Klorofom (CHCl ₃)	$A_1 = 1,04647 \pm 0,00921$	$C_1 = 2,05159 \pm 0,00100$
	$B_1 = 0,01048 \pm 0,00130 \mu\text{m}^2$	$C_2 = 0,01005 \pm 0,00069 \mu\text{m}^2$
	$A_2 = 0,00345 \pm 0,00941$	$C_3 = 0,00059 \pm 0,00013 \mu\text{m}^4$

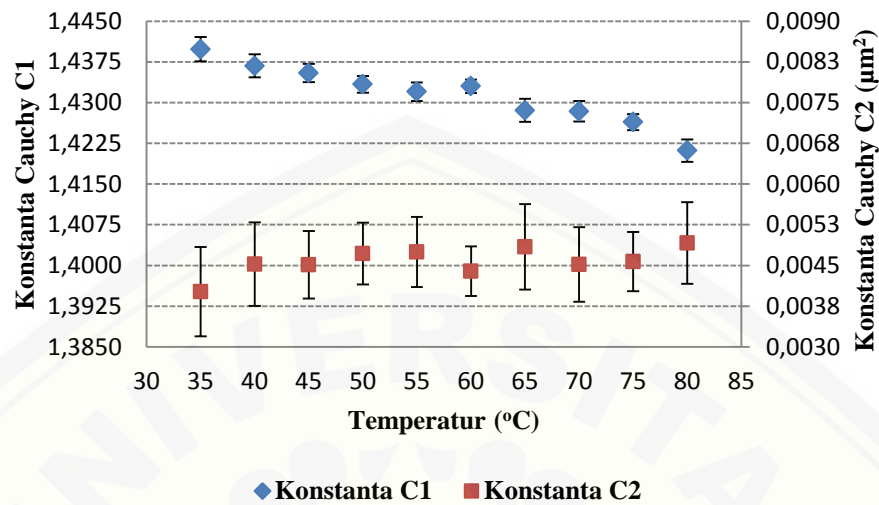
Cairan	Konstanta Sellmeier	Konstanta Cauchy
	$B_2 = 0,15207 \pm 0,09540 \mu m^2$	
Karbon tetraklorida (CCl_4)	$A_1 = 1,09215 \pm 0,00027$ $B_1 = 0,01187 \pm 0,00012 \mu m^2$	$C_1 = 2,09503 \pm 0,00208$ $C_2 = 0,01102 \pm 0,00144 \mu m^2$ $C_3 = 0,00050 \pm 0,00026 \mu m^4$

Sumber: Kedenburg *et al.* (2012).

Zahro *et al.*,(2015) melakukan pengukuran indeks bias minyak kelapa sawit pada beberapa temperatur menggunakan metode spektrometer prisma dan melakukan perhitungan untuk menentukan konstanta Sellmeier dan konstanta Cauchy bahan. Hasil penelitian tersebut disajikan pada gambar 2.7 dan gambar 2.8.



Gambar 2.7 Grafik hubungan konstanta Sellmeier terhadap temperatur untuk minyak kelapa sawit (Zahro *et al.*, 2015)



Gambar 2.8 Grafik hubungan konstanta Cauchy (C_1 dan C_2) terhadap temperatur untuk minyak kelapa sawit.

Gambar 2.7 menunjukkan adanya pengaruh temperatur terhadap konstanta Sellmeier A dan konstanta Sellmeier B. Secara umum, tampak bahwa konstanta Sellmeier A cenderung menurun dengan bertambahnya temperatur bahan dan konstanta Sellmeier B yang diperoleh tidak menunjukkan pola tertentu atau dengan kata lain nilainya acak. Gambar 2.8 menunjukkan adanya pengaruh temperatur terhadap konstanta Cauchy C_1 dan konstanta Cauchy C_2 . Sama halnya dengan konstanta Sellmeier A, nilai konstanta Cauchy C_1 juga cenderung menurun seiring bertambahnya temperatur bahan serta konstanta Cauchy C_2 yang berubah secara acak.

2.10 Spektrometer

Spektrometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur atau menganalisa panjang gelombang cahaya dengan akurat yaitu dengan menggunakan kisi difraksi atau prisma untuk memisahkan panjang gelombang cahaya yang berbeda. Spektrometer cahaya terdiri dari lima komponen utama, yaitu sumber cahaya, celah masuk, kolimator, kisi atau prisma, dan teropong (Yulianto *et al.*, 2011).

2.10.1 Spektrometer Kisi

Spektrometer kisi adalah alat yang digunakan untuk mengetahui pola interferensi gelombang cahaya dengan menggunakan kisi difraksi sebagai pendifraksi cahaya. Kisi difraksi adalah alat yang terdiri dari sejumlah celah sejajar yang terpisah pada jarak yang sama, dan jarak antara dua celah berurutan disebut konstanta kisi (d). Jarak (d) celah dapat diketahui dari jumlah celah per centimeter bidang datar. Misalkan terdapat 10000 celah per centimeter, maka jarak celah adalah $d = (1 \text{ cm})/10000 = 10^{-4} \text{ cm}$. Kisi difraksi transmisi ini terdiri dari beribu-ribu celah setiap sentimernya. Kisi dapat dibuat dengan menggoreskan sederetan garis-garis sejajar pada film transparan. Garis-garis ini kemudian berfungsi sebagai ruang di antara celah-celah, kisi difraksi disebut kisi refleksi, yaitu kisi yang dibentuk oleh sederetan garis-garis yang dibuat pada permukaan metal. Daerah antara dua garis yang akan memantulkan cahaya membuat suatu pola difraksi. Pola difraksi yang terjadi jika gelombang melewati sejumlah N celah yang identik dengan jarak konstan d maka akan diperoleh titik-titik intensitas maksimum yang memenuhi persamaan dibawah ini

$$d \sin \theta = n \lambda \quad \text{dengan} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.5)$$

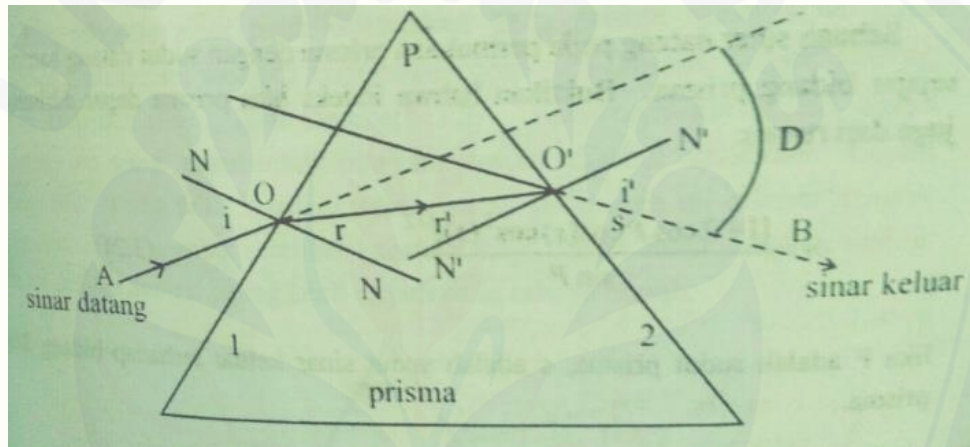
n adalah bilangan orde (Sarojo, 2011).

2.10.2 Spektrometer Prisma

Spektrometer prisma merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan panjang gelombang cahaya yang berbeda dari setiap spektrum warna yang dihasilkan dari suatu sumber cahaya polikromatik. Sebuah prisma adalah alat optika seperti gambar (2.9) yang mempunyai sifat dapat mendeviasikan dan mendispersikan sebuah sinar yang melaluinya. Bentuk prisma biasanya seperti piramida dan terbuat dari bahan yang transparan. Pada prisma juga terjadi peristiwa pembiasan seperti pada gambar (2.10).



Gambar 2.9 Bentuk riil prisma segitiga (Sumber: Arkundato & Rohman, 2007)



Gambar 2.10 Pembiasan di dalam prisma (Sumber: Arkundato & Rohman, 2007)

Pada gambar (2.10), P adalah sudut prisma, i adalah sudut datang sinar, i' sudut keluar sinar, r adalah sudut bias sinar di dalam prisma sedangkan s adalah sudut sinar keluar prisma terhadap bidang prisma. D adalah *sudut deviasi* yang memberikan besar deviasi sinar datang dari lintasan awalnya. Jika sudut datang i berubah maka sudut deviasi D juga berubah. Untuk nilai i tertentu (i_m) maka ada D minimum (D_m). Jika prisma diatur pada posisi deviasi minimum maka $i = (P + D_m)/2$ dan $r = P/2$. Menggunakan hukum Snellius pada titik O bidang prisma pertama maka indeks bias prisma adalah :

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin[(P + D_m)/2]}{\sin(P/2)} \quad (2.6)$$

Diketahui bahwa deviasi minimum akan berbeda untuk panjang gelombang yang berbeda. Jadi dengan mengetahui sudut prisma (P), dan mengukur (D_m) maka kita dapat menghitung variasi (n) terhadap (λ) untuk material prisma yang berbeda-beda (Arkundato & Rohman, 2007).

2.10.3 Sumber Cahaya Mercury

Prinsip kerja lampu merkuri sama dengan prinsip kerja lampu fluoresen, yaitu cahaya yang dipancarkan berdasarkan loncatan elektron (peluahan muatan) di dalam tabung. Sedangkan konstruksinya berbeda dengan lampu fluoresen. Lampu merkuri terdiri dari dua tabung, yaitu tabung dalam (arc tube) dan tabung luar atau bohlam (bulb).

Tabung dalam (arc tube) berisi uap merkuri dan sedikit gas argon. Dua elektroda utama dibelokkan pada kedua ujung tabung, dan sebuah elektroda tambahan dipasang pada posisi yang berdekatan dengan salah satu elektroda utama. Saat sumber listrik dihubungkan, arus listrik yang mengalir tidak cukup untuk mencapai terjadinya loncatan muatan di antara kedua elektroda utama. Namun ionisasi terjadi diantara salah satu elektroda utama (E_1) dengan elektroda pengasut (E_p) melalui gas argon. Ionisasi gas argon ini akan menyebar di dalam tabung dalam menuju elektroda utama yang lain (E_2).

Tabung luar (bulb) yang di sisi dalamnya dilapisi dengan bubuk fluoresen yang berfungsi sebagai rumah lampu dan untuk menstabilkan suhu di sekitar tabung. Oleh karena itu lampu merkuri merupakan bagian dari lampu tabung. Maka untuk mengoperasikannya harus menggunakan ballast sebagai pembatas arus. Biasanya ballast ini berupa reaktor atau transformator, hal ini disesuaikan dengan karakteristik lampunya.

Panas pada lampu merkuri akan timbul akibat pelepasan elektron yang terjadi dalam gas argon, dan cukup untuk menguapkan merkuri. Hal ini menyebabkan tekanan gas dalam tabung meningkat tinggi. Lampu akan menyala dalam waktu 5 sampai 7 menit. Cahaya awal berwarna kemerahan dan setelah bekerja secara normal maka cahaya akan berubah menjadi berwarna putih. Jika sumber listrik diputuskan, maka lampu tidak dapat dinyalakan kembali sampai tekanan di dalam tabung berkurang. Untuk dapat menghidupkan kembali lampu merkuri diperlukan waktu sekitar 5 menit atau lebih, setelah itu lampu merkuri bisa dinyalakan kembali.

Sumber cahaya lampu merkuri merupakan sumber cahaya polikromatik yang apabila dilewatkan melalui medium dispersif akan menghasilkan cahaya monokromatik berbagai warna (Jaka, 2013). Tabel (2.6) merupakan tabel spektrum lampu gas merkuri.

Tabel 2.5 Garis spektrum lampu gas *mercury*

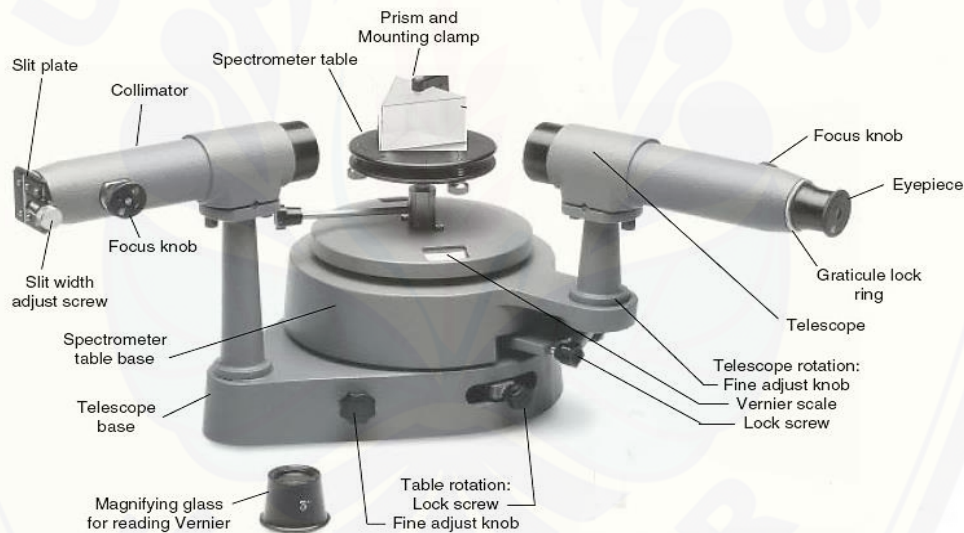
Warna	Frekuensi (Hz)	λ (nm)
Merah	$4,764 \times 10^{14}$	629,7
Kuning 1	$5,199 \times 10^{14}$	577,0
Kuning 2	$5,181 \times 10^{14}$	579,0
Hijau	$5,493 \times 10^{14}$	546,1
Biru	$6,883 \times 10^{14}$	435,8
Nila	$7,356 \times 10^{14}$	407,8
Ungu	$7,413 \times 10^{14}$	404,7

Sumber: Pasco (2015).

2.11 Penentuan Konstanta Sellmeier Larutan Etanol

Penentuan nilai konstanta Sellmeier etanol diawali dengan penentuan panjang gelombang dari setiap spektrum warna dengan menggunakan spektrometer kisi sumber cahaya yang digunakan yaitu sumber cahaya lampu merkuri, kemudian langkah selanjutnya adalah penentuan indeks bias larutan etanol pada berbagai

konsentrasi dengan menggunakan spektrometer prisma. Penentuan panjang gelombang dan penentuan indeks bias larutan etanol ditentukan menggunakan satu set alat spektrometer seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.11. Bahan yang berupa larutan etanol yang sebelumnya sudah melalui proses pengenceran dengan aquades diisikan dalam wadah trasparan tersebut kemudian diletakkan di meja spektrometer. Pada percobaan untuk menentukan indeks bias ini, sumber cahaya yang telah didispersikan oleh prisma akan dilewatkan pada bahan kemudian cahaya akan dibiaskan berdasarkan panjang gelombang cahayanya. Indeks bias bahan dapat ditentukan dengan sudut deviasi minimum yang diperoleh dari hasil percobaan (Halliday, 1997).



Gambar 2.11 Skema spektrometer prisma

(Sumber: Department of Physics National University of Singapore, 2008)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian tentang pengaruh variasi konsentrasi terhadap konstanta Sellmeier etanol diawali dengan studi pustaka mengenai topik yang telah ditentukan. Studi pustaka dilakukan pada bulan Agustus sampai dengan bulan Oktober 2015. Selain itu dilakukan pula observasi pada bulan Oktober sampai dengan Desember 2015, kemudian dilakukan penelitian pada bulan Februari 2016 hingga April 2016 di Laboratorium Optoelektronika dan Fisika Modern Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

- a. *Stavol* berfungsi sebagai penyetabil tegangan listrik.
- b. Spektrometer PASCO OS 8537 untuk menentukan panjang gelombang spektrum cahaya dan indeks bias bahan melalui pengamatan spektrum warna.
- c. Lampu *mercury* Philips HPL-N 80 watt sebagai sumber cahaya yang akan diamati.
 $\lambda = 0,4125 \mu\text{m} - 0,6467 \mu\text{m}$.
- d. Kisi difraksi dengan lebar celah $d = 1,6667 \times 10^{-3}$ mm sebagai pendifraksi cahaya untuk mengetahui panjang gelombang spektrum yang dihasilkan.
- e. Prisma transparan dengan alas berbentuk segitiga sama sisi sebagai wadah bahan penelitian sekaligus sebagai elemen dispersif cahaya polikromatik dengan dimensi sisi alas 2,6 cm, tinggi 7,6 cm dan tebal 1 mm, yang dapat dilihat pada gambar 3.1.
- f. Pipet Mohr 25 ml digunakan untuk mengambil larutan etanol yang digunakan sebagai obyek penelitian.
- g. Labu Ukur 25 ml digunakan sebagai tempat mencampur senyawa etanol dengan aquades.

h. Gelas ukur 250 ml sebagai alat ukur volume cairan.



Gambar 3.1 Prisma Transparan

3.2.2 Bahan Penelitian

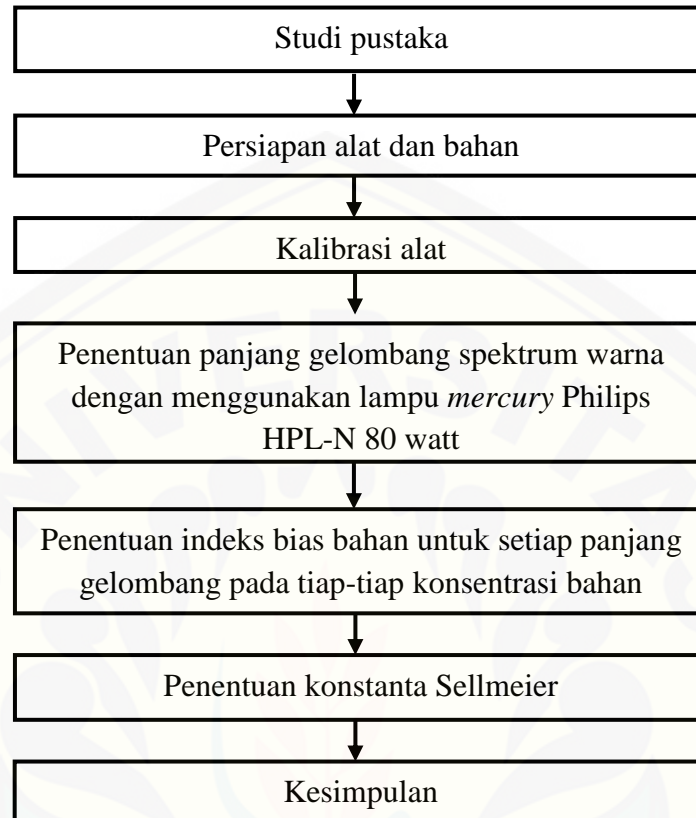
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Etanol (C_2H_5OH).
2. Aquades (H_2O).

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Tahapan Penelitian

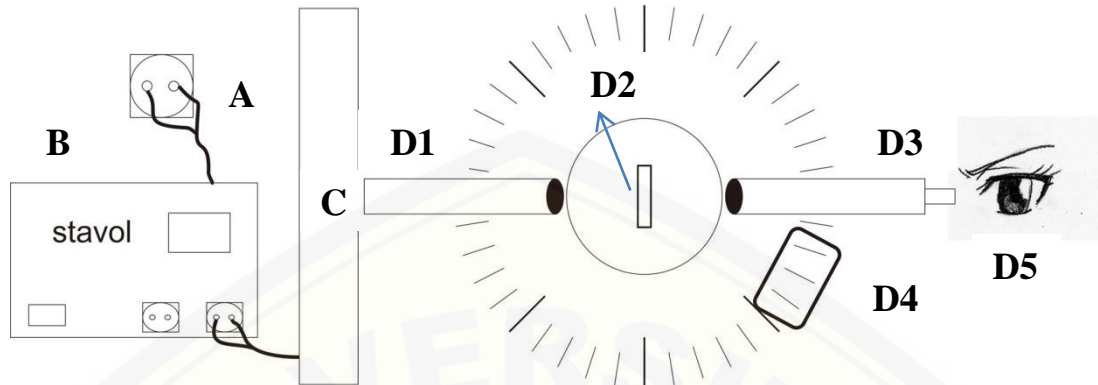
Prosedur penelitian dalam bentuk diagram alir ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian

3.3.2 Persiapan Alat dan Bahan

Terdapat dua rancangan alat dalam penelitian pengaruh variasi konsentrasi terhadap konstanta Sellmeier yaitu spektrometer kisi dan spektrometer prisma. Spektrometer kisi digunakan untuk menentukan panjang gelombang spektrum cahaya dengan menggunakan lampu *mercury* HPL-N 80 watt. Sedangkan spektrometer prisma digunakan untuk mengidentifikasi indeks bias etanol pada berbagai konsentrasi yang kemudian digunakan untuk menentukan konstanta Sellmeier etanol. Gambar 3.3 merupakan skema alat penelitian yang digunakan.



Gambar 3.3 Skema rancangan alat penelitian

Keterangan dari setiap bagian rancangan alat pada gambar 3.3 yaitu:

- A. PLN sebagai sumber listrik AC
- B. *Stavol* sebagai penyetabil tegangan listrik AC
- C. Lampu *mercury* Philips HPL-N 80 watt sebagai sumber cahaya
- D. Spektrometer
 - D1. Kolimator
 - D2. Kisi pada spektrometer kisi atau prisma pada spektrometer prisma
 - D3. Teropong
 - D4. *Angular scale*
 - D5. *Eyes piece*

Adapun bahan yang digunakan berupa etanol (C_2H_5OH) dan aquades (H_2O). Kedua bahan tersebut diuji nilai indeks biasnya pada delapan belas variasi konsentrasi yaitu 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, dan 90%. Penelitian dilakukan pada temperatur ruang Laboratorium Optoelektronika dan Fisika Modern yaitu $20^{\circ}C$. Volume aquades yang digunakan untuk setiap penelitian adalah 20 ml . Sedangkan volume etanol yang akan diambil untuk proses pengenceran disesuaikan dengan prosentase etanol yang akan dibuat, setiap variasi prosentase etanol yang akan dibuat maka

volume etanol yang akan diambil untuk proses pengenceran juga berbeda. Hal ini bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1, dan hasil perhitungan jumlah volume pengenceran dapat dilihat pada lampiran B.

3.3.3 Kalibrasi Alat

Sebelum melakukan pengambilan data langkah yang harus dilakukan terlebih dahulu yaitu melakukan kalibrasi. Kalibrasi alat dilakukan untuk mengetahui kualitas alat yang digunakan. Kalibrasi dilakukan dengan cara mengukur panjang gelombang *laser* He-Ne PASCO OS 9171 dengan menggunakan spektrometer kisi yang kemudian hasil panjang gelombang pengukuran dibandingkan dengan hasil panjang gelombang referensi untuk panjang gelombang *laser* He-Ne PASCO OS 9171. Sedangkan peralatan metode spektrometer prisma dikalibrasi dengan cara mencari nilai indeks bias dari aquades, volume aquades yang digunakan untuk proses pengkalibrasian spektrometer prisma yaitu sebanyak 20 ml yang ditempatkan dalam prisma yang sama dengan wadah etanol yang akan digunakan pada saat penelitian. Nilai indeks bias yang diperoleh dari hasil kalibrasi kemudian dibandingkan dengan nilai indeks bias referensi dalam proses pengkalibrasian spektrometer prisma sehingga dapat diperoleh nilai faktor koreksinya. Nilai faktor koreksi yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung kalibrasi nilai indeks bias yang diperoleh dari proses pengukuran.

3.3.4 Pengkondisian Konsentrasi Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah senyawa etanol (C_2H_5OH) dan aquades (H_2O). Senyawa etanol digunakan sebagai bahan untuk dicari nilai indeks biasnya dan aquades digunakan sebagai pelarut ataupun bahan untuk pengenceran etanol agar didapatkan konsentrasi yang diinginkan. Dalam pengukuran indeks bias, larutan etanol diberi perlakuan konsentrasi sebanyak delapan belas variasi konsentrasi yaitu 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%,

60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, dan 90%. Pengenceran larutan etanol 25% dapat dilakukan dengan cara setengah volume dari aquades yang akan digunakan untuk proses pengenceran etanol dimasukkan ke dalam labu ukur yaitu sebanyak 9,28 ml. Pengukuran etanol 25% sebanyak 6,44 ml dengan menggunakan pipet mohr kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur, ditutup segera labu ukur agar etanol tersebut tidak menguap. Kemudian dimasukkan kembali aquades ke dalam labu ukur yang telah diisi etanol dan aquades, ditutup kembali labu ukur tersebut. Pencampuran etanol dan aquades dengan cara menggoyangkan labu ukur secara perlahan agar antara etanol dan aquades dapat tercampur, dan larutan etanol 30% dapat dibuat dengan cara mencampurkan etanol bervolume 7,73 ml ke dalam aquades bervolume 18,56 ml demikian seterusnya untuk konsentrasi yang lain. Pengenceran konsentrasi larutan etanol dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1.

3.4 Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data diawali dengan pengukuran panjang gelombang spektrum cahaya dengan menggunakan konsep difraksi oleh kisi dengan spektrometer kisi, sumber cahaya yang digunakan yaitu lampu *mercury* Philips HPL-N 80 watt. Lampu *mercury* merupakan cahaya polikromatik yang akan menghasilkan tujuh spektrum monokromatik yang memiliki nilai panjang gelombang yang berbeda-beda setiap spektrumnya. Spektrum cahaya dengan menggunakan konsep difraksi kisi menghasilkan spektrum cahaya warna merah, jingga, kuning, hijau, biru dan ungu. Setiap spektrum cahaya akan menghasilkan sudut difraksi yang berbeda-beda sehingga dapat ditentukan nilai panjang gelombang dari setiap spektrum cahaya tersebut. Pengamatan ini dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk masing-masing spektrum cahaya pada orde satu.

Proses selanjutnya adalah penentuan indeks bias larutan etanol yang sudah melalui proses pengenceran dengan spektrometer prisma. Sebelumnya, alat penelitian disusun seperti Gambar 3.3, hanya saja kisi diganti dengan prisma transparan yang berisi bahan berupa larutan etanol. Penentuan indeks bias dilakukan dengan mengamati spektrum yang telah diketahui panjang gelombangnya yaitu warna merah, jingga, kuning, hijau, biru, dan ungu pada orde satu yang dipancarkan oleh sumber cahaya *mercury* dan melewati prisma transparan yang berisi larutan etanol dengan konsentrasi 90%, sehingga dapat diketahui besar sudut deviasi (d_{kanan} dan d_{kiri}) yang ditunjukkan oleh *angular scale* untuk masing-masing spektrum warna. Kemudian hal yang dilakukan adalah menghitung deviasi minimum (dm) yang diperoleh dari nilai tengah selisih sudut deviasi kanan dan sudut deviasi kiri. Sedangkan nilai indeks bias larutan etanol dapat ditentukan dengan persamaan indeks bias. Prosedur tersebut dilakukan untuk delapan belas variasi konsentrasi yang telah ditentukan untuk semua larutan etanol. Penelitian dilakukan dengan 3 kali pengulangan untuk setiap variasi konsentrasi, sehingga jumlah data penentuan indeks bias larutan etanol yang diperoleh adalah sebanyak 18 variasi konsentrasi x 3 pengulangan x 6 spektrum warna x 2 sudut deviasi = 648 data.

Setelah panjang gelombang dan indeks bias masing-masing dari konsentrasi larutan etanol diperoleh, maka dilakukan analisis data untuk mengetahui besarnya konstanta Sellmeier larutan etanol. Penentuan konstanta Sellmeier dilakukan dengan penyesuaian ekspresi persamaan Sellmeier dengan data eksperimen yang berupa indeks bias dan panjang gelombang. Selanjutnya dapat dianalisis apakah perubahan konsentrasi bahan mempengaruhi nilai konstanta Sellmeier yang dihasilkan berdasarkan tabel hasil maupun grafik. Analisa tersebut dilakukan melalui analisis grafik berdasarkan nilai *error bar* yang dihasilkan untuk masing-masing konstanta dispersi yang diperoleh. Kemudian, dilakukan uji statistik *one-way* ANOVA untuk mengetahui signifikansi hasil yang telah diperoleh.

3.5 Metode Analisis

3.5.1 Penentuan Panjang Gelombang Spektrum

Pengolahan data yang pertama adalah panjang gelombang spektrum yang dihasilkan oleh lampu *mercury* HPL-N 80 watt. Data yang diperoleh adalah sudut deviasi kanan (θ_{kanan}) dan sudut deviasi kiri (θ_{kiri}) dari masing-masing spektrum. Berikut merupakan persamaan difraksi untuk menentukan panjang gelombang (λ) spektrum:

$$d \sin \theta = n \lambda \quad 3.1$$

d merupakan lebar celah kisi dan n adalah orde spektrum, dalam hal ini digunakan spektrum pada orde pertama. Besarnya sudut difraksi (θ) diperoleh dari nilai selisih θ_{kanan} dan θ_{kiri} dibagi dua.

3.5.2 Penentuan Nilai Indeks Bias Bahan

Proses selanjutnya setelah mendapatkan data hasil pengamatan yang dibutuhkan, yaitu mengolah data menggunakan perumusan untuk penentuan nilai indeks bias larutan etanol pada berbagai konsentrasi. Data yang diperoleh yaitu berupa sudut deviasi kanan (d_{kanan}) dan sudut deviasi kiri (d_{kiri}) untuk masing-masing spektrum dengan menggunakan sumber cahaya lampu *mercury* HPL-N 80 watt, sehingga dapat ditentukan nilai indeks bias bahan menggunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{\sin \frac{d_{m+p}}{2}}{\sin \frac{p}{2}} \quad 3.2$$

dengan p adalah sudut ruang yang dibentuk oleh prisma sama sisi yaitu 60° dan dm merupakan nilai tengah dari selisih sudut deviasi kanan dan sudut deviasi kiri yang didapatkan. Besarnya dm adalah:

$$dm = \frac{d_{\text{kanan}} - d_{\text{kiri}}}{2} \quad (3.3)$$

dengan ketentuan bahwa sudut sinar datang dari medium 1 ke medium 2 (sinar yang masuk ke prisma) sama dengan sudut sinar bias yang keluar dari prisma $i = i'$, dapat dilihat pada gambar (2.10).

Pengambilan data pada setiap konsentrasi dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Nilai indeks bias akhir dihitung menggunakan nilai rata-rata dari ketiga nilai indeks bias yang diperoleh.

3.5.3 Penentuan Konstanta Sellmeier Bahan

Persamaan Sellmeier adalah persamaan empiris yang menghubungkan antara nilai indeks bias medium (n) dengan panjang gelombang sinar (λ) yang melewatinya. Persamaan Sellmeier dengan dua konstanta dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$n^2 = 1 + \frac{A\lambda^2}{\lambda^2 - B} \quad (3.4)$$

n^2 adalah kuadrat indeks bias medium, A dan B adalah konstanta Sellmeier.

3.5.4 Uji Statistik Menggunakan *one way* ANOVA

Analisis statistik *one way* ANOVA digunakan untuk menganalisa ada atau tidaknya perubahan konsentrasi larutan etanol terhadap nilai konstanta Sellmeier. Hipotesa yang digunakan yaitu H_0 (hipotesa nol) menyatakan bahwa perlakuan yang diberikan tidak berpengaruh terhadap konstanta Sellmeier yang dihasilkan atau dengan kata lain bahwa konsentrasi larutan etanol tidak mempengaruhi nilai konstanta

Sellmeier, dan H_1 menyatakan bahwa adanya perlakuan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai konstanta Sellmeier yang dihasilkan. Dengan kata lain, diterimanya H_1 memberikan makna bahwa perubahan konsentrasi larutan etanol mempengaruhi nilai konstanta Sellmeier. H_0 ditolak apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ atau $P (sig) < 0,05$, dan mendefinisikan bahwa perubahan konsentrasi larutan etanol mempengaruhi nilai konstanta Sellmeier. Kemudian H_0 diterima apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ atau $P (sig) > 0,05$, dan menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi larutan etanol tidak mempengaruhi nilai konstanta Sellmeier.

Setelah dilakukan uji statistik *oneway* ANOVA, maka hubungan antara variasi konsentrasi larutan etanol terhadap nilai konstanta Sellmeier dapat diketahui dengan membuat grafik. Grafik yang dihasilkan merupakan grafik perubahan konsentrasi larutan etanol terhadap nilai konstanta Sellmeier, dengan sumbu x menyatakan konsentrasi larutan etanol dalam bentuk persentase (%(v/v)) dan sumbu y menyatakan nilai konstanta Sellmeier. Grafik yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk menghasilkan suatu kesimpulan yang terangkum dalam penyusunan laporan akhir.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan yaitu dengan menggunakan data panjang gelombang dan indeks bias yang diukur menggunakan spektrometer, telah diketahui nilai dari konstanta Sellmeier larutan etanol pada berbagai variasi konsentrasi. Perubahan konsentrasi yang diberikan pada larutan etanol, dimana sebelumnya larutan etanol sudah melalui proses pengenceran terlebih dahulu menghasilkan nilai konstanta Sellmeier yang berbeda-beda pada setiap perubahan konsentrasi. Namun demikian, berdasarkan hasil uji statistik *one-way* ANOVA menunjukkan hasil yang berbeda, yaitu perubahan konsentrasi mempengaruhi nilai konstanta Sellmeier yang dihasilkan, dan hal tersebut terjadi pada konstanta Sellmeier A. Sedangkan pada konstanta Sellmeier B perubahan konsentrasi tidak mempengaruhi nilai konstanta Sellmeier yang dihasilkan.

5.2 Saran

Saran dari penelitian pengaruh variasi konsentrasi terhadap konstanta Sellmeier etanol adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan konsentrasi bahan yang lain untuk meyakinkan pengaruh konsentrasi terhadap konstanta Sellmeier.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penelitian ini dengan menggunakan etanol yang memiliki konsentrasi kemurnian yang lebih tinggi atau lebih rendah dan jenis etanol yang berbeda dari yang digunakan pada penelitian sekarang dengan menggunakan metode yang sama atau berbeda dalam penentuan konstanta Sellmeier. Agar diketahui nilai konstanta Sellmeier yang dihasilkan dengan variasi konsentrasi kemurnian etanol, jenis etanol dan metode yang digunakan .

3. Perlu dilakukan pengembangan analisis data guna mendapatkan enam konstanta Sellmeier agar diperoleh formula penentuan indeks bias yang lebih akurat.
4. Proses kalibrasi seharusnya menggunakan bahan yang sama dengan sampel bahan yang akan diteliti.



DAFTAR PUSTAKA

Buku

- Arkundato, A., & Rohman, L., 2007. *Optika*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Baroroh, Umi L.U. 2004. *Diktat Kimia Dasar 1*. Banjar Baru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Brady, J. E. 1999. *Kimia Universitas Asas dan Struktur*. Bandung: Binarupa Aksara.
- Bueche, F. J. 1989. *Seri Buku Schaum Fisika Edisi kedelapan*. Jakarta: Erlangga.
- Day, R.A & Underwood, A.L. 1999. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi 6*. Jakarta: Erlangga.
- Djuhana, D. 2011. *Difraksi Cahaya*. Jakarta: Departement of Physics University of Indonesia.
- Fessenden, Ralp J. dan Joan S. Fessenden. 1997. “*Kimia Organik*”, jilid 1 edisi ketiga, terjemahan oleh : Aloysius H. P. Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, D. 1998. *Fisika Edisi 4 (terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Gibilisco, S. 2009. *Optics Demystified*. United States of America: McGraw-Hill Companies.
- Halliday, D., & Resnick, R. 1997. *Fisika Edisi ke 3 (terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- John dan Rachmawati. 2011. *Chemistry 3A*. Jakarta: Erlangga.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Pedrotti, F. L. dan Pedrotti, L. S. 1993. *Introduction to Optics: Second Edition*. Prentice-Hall International, Inc: New York.
- Resnick, R. 1996. *Fisika Jilid 1*, Jakarta : Erlangga.

- Rofiq, A. 2010. *Analisis Indeks Bias pada Pengukuran Konsentrasi Larutan Sukrosa (C₁₂H₂₂O₁₁) Menggunakan Portable Brix Meter*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sarojo, G. A. 2011. *Gelombang & Optika*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Tan, Koughia, Singh and Kasap. 2006. *Fundamental Optical Properties of Meterials*. USA : John Wiley & Sons, Ltd.
- Tjia, M. O. 1994. *Gelombang*. Solo: Dabara Publishers.
- Tipler, P. A. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Tekhnik Jilid 2 Edisi Ketiga*. Alih Bahasa oleh Bambang Soegijono. 2001. Jakarta: Erlangga.

Jurnal/Skripsi

- Bodurov, Vlaeva, Marudova, Yovcheva, Nikolova, Eftimov and Plachkova. 2013. Detection of Adulteration in Olive Oils Using Optical and Thermal Methods. *Journal of Bulgarian Chemical Communications*. Vol. **45**: 81-85.
- Ghosh, G., Endo, M., and Iwasalu, T. 1994. Temperature-Dependent Sellmeier Coefficients and Chromatic Dispersions for Some Optical Fiber Glasses. *Journal Of Lightwave Technology*. Vol. **12** (8): 1338-1342.
- Hidayanto, E., Tanabe, T., dan Kawai, J. 2010. *Measurement of Viscosity and Sucrose Concentration in Aqueous Solution Using Portable Brix Meter*. Berkala Fisika, Volume **13**, No. 2, ISSN: 1410 – 9662.
- Jati, B., Karyono., & Supriyatin. 2010. Penyetaraan Nilai Viskositas terhadap Indeks Bias pada Zat Cair Bening. *Jurnal Berkala Fisika*. Vol. **13** (4): 119-124.
- Kedenburg, Vieweg, Gissibl and Giessen. 2012. Linear Refractive Index and Absorption Measurements of Nonlinear Optical Liquids in The Visible and Near-Infrared Spectral Region. *Optical Society of America* Vol. **2** (11) : 1588-1611.
- Kyung, Y.B *et al.*, 2005. Determination of the Optical Functions of Various Liquids by Rotating Compensator Multichannel Spectroscopic Ellipsometry. Korea : Department of Applied Physics, Hanyang University Vol **26** (06): 947-951.

- Longtin, J.P., & Fan, C.H. 1998. Precision Laser- Based Concentration and Refractive Index Measurement of Liquids. *Microscale Thermophysical Engineering*. **2**: 261-272.
- Mahmood, W. bin Mat Yunus dan Azizan bin Abdul Rahman. 1988. *Refractive Index of Solutions at High Concentrations*. Vol. **27**, No. 16, 15 August 1988, applied optics. University of Agriculture, Physics Department: Malaysia.
- Myers, Richard L.; Myers, Rusty L. 2007. *The 100 most important chemical compounds: a reference guide*. Westport, Conn.: Greenwood Press. p. 122. [ISBN 0313337586](#).
- Narinder Kumar 2008. *Comprehensive Physics XII*. Laxmi Publications. p. 1416. [ISBN 9788170085928](#).
- Nugraheni, F. A., Setijono, H., dan Hatta, A. M. 2012. *Perancangan Sistem Pengukuran Konsentrasi Larutan Gula dengan Menggunakan Interferometer Michelson*. Jurnal Teknik Pomits Vol. **1**, No. 1.
- Perry, R.H., and Green, D. 1999 “Perry’s Chemical Engineer’s Handbook”, 7th ed. New York : McGraw-Hill Book Company.. Hal. 2-112.
- Raty, J., and Peiponen K.E. 2000. Measurement of Refractive index of Liquids Using s- and p-Polarized Light. *Meas. Sci. Technol.* **11**:74-76.
- Siagian, H. 2004. Pemanfaatan Interferometer Michelson dalam Menentukan Karakteristik Parameter Fisis Zat Cair. *Jurnal Penelitian “SAINTIKA”*. Vol. **4** (2): 127-132.
- Subedi, D.P., Adhikari, U.M., Joshi, P., & Ntraula. 2006. Study of Temperature and Concentration of Refractive Indeks of Liquids using a Novel Technique. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*. Vol. **2** (1): 1-7.
- Sutiah, K., Firdausi, S., & Budi,. 2008. Studi Kualitas Minyak Goreng dengan Parameter Viskositas dan Indeks Bias. *Jurnal Berkala Fisika*. Vol. **11** (2): 53-58.

Tiwald, T. 2009. Sellmeier Dispersion. *Journal of J.A. Woollam Company*. Vol. **10**: 8-9.

Tropf, W.J., Thomas, M.E., and Harris, T.J. 1995. Optical and Physical Properties of Materials: Properties of Crystals and Glasses. Chap. 33 in *Handbook of Optics*: 25-30.

Yulianto *et al.* 2011. *Rancang Bangun Spektrometer Menggunakan Prisma dan Webcam*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November

Zahro *et al.*, 2015. *Penentuan Konstanta Sellmeier dan Konstanta Cauchy Minyak Kelapa Sawit Pada Berbagai Temperatur Menggunakan Spektrometer Prisma*. Jember: Universitas Jember

Serial Online

Leung *et al.*, 1991. Refractive Index of Liquid Measured with a He-Ne Laser. California State University: Department of Physics and Astronomy [serial online]. [http://web.csulb.edu/~mmclaugh/Lecture Demonstrations/ Index of Refraction/index of refraction Physics Teacher.pdf](http://web.csulb.edu/~mmclaugh/Lecture%20Demonstrations/Index%20of%20Refraction/index%20of%20refraction%20Physics%20Teacher.pdf)

Anonymous. 2008. Departement of Physics National University of Singapore [serial online]. <http://www.physics.nus.edu.sg/staff/peterho.html>. [17 Februari 2015].

Ciddor.1996 [serial online]. <http://refractiveindex.info/?shelf=other&book=air>. [19 November 2014].

Jaka, M. 2013. Artikel Lampu Mercury. [serial online]. <http://www.smkayani-pbl.sch.id>. [24 Februari 2015].

Pasco. 2015. Educational Spectrofotometer Accessory Kit and System OS-8537 and OS-8539. [serial online]. [http://hepweb.ucsd.edu/2dl/pasco/Educational%20Spectrophotometer%20kit%20Manual\(OS-8539\).pdf](http://hepweb.ucsd.edu/2dl/pasco/Educational%20Spectrophotometer%20kit%20Manual(OS-8539).pdf). [26 Februari 2015].

Tugino. 2012. Sifat- Sifat Cahaya. [serial online]. <http://www.pusatmateri.com/sifat-cahaya-dan-pemanfaatannya.html>. [1 Desember 2014].



