



Prosiding

SEMINAR NASIONAL *BASIC SCIENCE VI*

*Sains Membangun Karakter dan Berpikir Kritis
Untuk Kesejahteraan Masyarakat*

Ambon, 07 Mei 2014

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PATTIMURA
AMBON**

Hak cipta dilindungi Undang-Undang

Cetakan I, Agustus 2014

Diterbitkan oleh: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura

ISBN: 978-602-97552-1-2

Deskripsi halaman sampul : Gambar yang ada pada cover adalah kumpulan benda-benda langit dengan berbagai fenomena

PENGUKURAN PERUBAHAN INDEKS BIAS GAS ALAM CAIR (BUTANA) DENGAN INTERFEROMETER MICHELSON

Richard R. Lokollo¹, dan S.J. Litolily²

1). Jurusan Fisika FMIPA Unpatti

2). Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unpatti

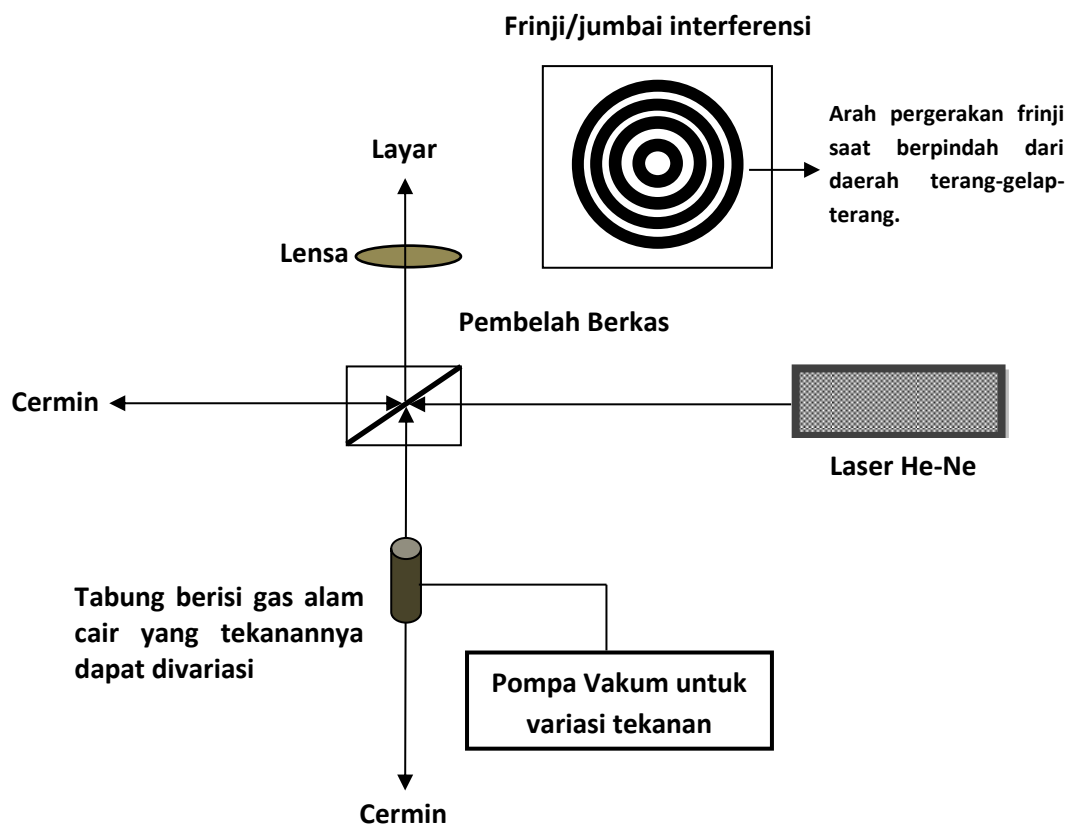
ABSTRAK

Indeks bias n dari suatu medium dapat bervariasi sebagai fungsi daripada tekanan. Suatu tabung yang kedua ujungnya (jendela) terbuat dari kaca yang dapat dialiri gas dengan variasi tekanan tertentu, ditempatkan pada salah satu kaki interferometer Michelson, menghasilkan setiap perubahan frinji atau jumbai interferensi (pola interferensi laser) pada layar saat tekanan dalam tabung divariasasi. Dengan menghitung setiap perubahan frinji untuk setiap perubahan tekanan sebesar 4 cmHg nilai indeks bias gas alam cair (butana) serta perubahannya dapat ditentukan. Hasil ini bila dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya terhadap 2 jenis gas alam cair yang lain (dalam satu gugus hidrokarbon yang sama) yaitu : metana dan pentana, dapat dikatakan cukup akurat dengan mempertimbangkan bahwa : konfigurasi ikatan molekulnya hampir berdekatan dengan konfigurasi ikatan molekul butana.

Kata Kunci : Indeks Bias, Interferometer Michelson, Pola Interferensi, Frinji.

PENDAHULUAN

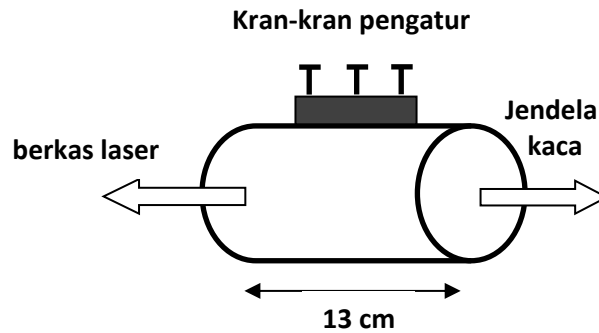
Interferometer michelson (gambar 1) dapat digunakan untuk mengukur perubahan indeks bias dengan memvariasikan tekanan pada tabung yang berisi gas butana yang terdapat pada salah satu kaki interferometer dan kemudian melewatkan berkas laser He-Ne pada tabung tersebut melalui kedua ujungnya yang terdapat jendela kaca. Sebuah bayangan berpola lingkaran-lingkaran konsentris (terang dan gelap) tampak pada layar yang ditempatkan di depan laser. Jika tekanan dalam tabung yang oleh gas divariasikan, maka perubahan tekanan dalam tabung gas menyebabkan berkas laser dari setiap kaki interferometer akan berinterferensi. Ini terlihat dengan pergerakan pola terang-gelap yang berbentuk lingkaran-lingkaran konsentris yang keluar dari pusat frinji yang tampak pada layar. Objek dari penulisan makalah ini adalah mengukur perubahan indek bias gas alam cair dengan menghitung jumlah setiap perubahan frinji (orde interferensi) saat berpindah dari gelap-terang-gelap yang nampak pada layar untuk setiap perubahan tekanan sebesar 4 cmHg.



Gambar 1. Diagram Interferometer Michelson. Jarak antara pembelah berkas ke layar dan setiap cermin adalah 15 cm, jarak antara pembelah berkas dan Laser adalah 30 cm.

METODE PENELITIAN

Sistem Interferometer Michelson dibentuk dengan Laser He-Ne (5 mW, 632,8 nm), pembelah berkas (beam splitter), 2 cermin, lensa konvergen (lensa positif) serta layar (gambar 1). Cermin dan pembelah berkas diatur sedemikian rupa agar pengamatan pola interferensi frinji/jumbai gelap-terang pada layar dapat teramati. Sedangkan lensa positif yang ditempatkan sebelum layar berfungsi untuk memperbesar pola frinji. Tabung optik yang terbuat dari plat kuningan yang kedua ujungnya ditutupi oleh jendela kaca, terdiri dari 3 kran pengatur yang terhubung ke pompa vakum (memvakumkan udara dalam tabung sebelum dialiri oleh gas), tabung gas yang berisi gas butana serta manometer air raksa (digunakan jika tidak terdapat pengatur tekanan pada tabung gas), diperlihatkan dalam gambar 2.



Gambar 2. Tabung gas yang terbuat dari aluminium dengan kedua ujungnya (jendela) terbuat dari kaca agar dapat dilewatkan berkas laser serta ketiga kran pengatur yang terhubung ke manometer air raksa, tabung berisi gas butane serta pompa vakum

Saat gas butana dialirkan ke dalam tabung dengan variasi tekanan setiap kenaikan 4 cmHg, maka akan terjadi perubahan terhadap indeks bias dari gas, cahaya dari salah satu kaki interferometer berinterferensi dengan cahaya dari kaki yang lain dari interferometer (mengalami interferensi konstruktif ke destruktif kemudian ke instruktif lagi) menyebabkan perpindahan frinji yang bergerak mengembang keluar dari pusat lingkaran konsentris untuk setiap perubahan orde interferensi pada bidang pengamatan yang nampak pada layar. Untuk ketelitian setiap titik pengamatan frinji pada layar, setiap perubahan frinji (1 frinji dari titik pengamatan) dikatakan akurat jika frinji tersebut yang berpindah dari titik pengamatan dari frinji lingkaran gelap ke terang kemudian gelap lagi atau sebaliknya. Jumlah setiap frinji yang melalui titik pengamatan pada layar direkam untuk setiap perubahan tekanan. Satu siklus dari interferensi konstruktif – destruktif – konstruktif (tiap perubahan 1 frinji) terjadi sebagai jumlah berkas panjang gelombang cahaya laser He-Ne yang merambat dalam tabung gas yang berubah sebesar 1 panjang gelombang.

Total panjang lintasan berkas laser yang melalui tabung gas adalah sebesar dua kali yaitu : $2L$, dimana L adalah panjang tabung yang berisi gas. Panjang gelombang berkas laser He-Ne dalam tabung λ diberikan oleh :

$$\lambda = \frac{\lambda_{\text{vakum}}}{n} \dots\dots\dots(1)$$

dimana n adalah indeks bias dari gas yang berada dalam tabung, sedangkan jumlah panjang gelombang (orde interferensi) m dalam tabung adalah :

$$m = \frac{2L}{\lambda} = \frac{2Ln}{\lambda_{\text{vakum}}} \dots\dots\dots(2)$$

Untuk jumlah perubahan panjang gelombang sebesar 1, setiap satu frinji yang teramati dan jumlah setiap frinji yang terlihat adalah sama dengan beda jumlah panjang gelombang pada tekanan P_1 dan P_2 . Perbedaan dalam jumlah panjang gelombang untuk P_1 dan P_2 diberikan melalui relasi :

$$\Delta m = m_2 - m_1 \dots\dots\dots(3)$$

Tetapi ketika n berubah terhadap perubahan tekanan, maka m_2 dan m_1 dapat dinyatakan sebagai :

$$m_2 = \frac{2Ln_2}{\lambda_{\text{vakum}}} \quad \text{dan} \quad m_1 = \frac{2Ln_1}{\lambda_{\text{vakum}}} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan mengkombinasikan persamaan (3) dan (4), maka hasil untuk $n_2 - n_1$ dapat dinyatakan menurut ekspresi :

$$n_2 - n_1 = \frac{\Delta m \lambda_{\text{vakum}}}{2L} \dots\dots\dots(5)$$

Perubahan indeks bias dapat dituliskan sebagai $\Delta n = n_2 - n_1$. Dengan mensubstitusi bentuk ini dan membagi kedua ruas persamaan (5) dengan $\Delta P = P_2 - P_1$ memberikan persamaan akhir dalam bentuk :

$$\frac{\Delta n}{\Delta P} = \frac{\Delta m \lambda_{\text{vakum}}}{2L \Delta P} \dots\dots\dots(6)$$

Δm , jumlah setiap frinji yang terlihat setiap perubahan tekanan sebesar 4 cmHg diamati dan direkam. Rasio Perubahan indeks bias terhadap perubahan tekanan $\frac{\Delta n}{\Delta P}$ pada persamaan (6) kemudian dapat dihitung. Proses ini dilakukan untuk setiap tekanan dari 4 cmHg sampai 73 cmHg dan selanjutnya nilai $\frac{\Delta n}{\Delta P}$ yang diperoleh untuk setiap tekanan kemudian diplot hasilnya seperti yang diperlihatkan dalam gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini dalam Tabel 1, adalah hasil pengukuran tekanan dan indeks bias serta perhitungan perubahannya.

Tabel 1. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Tekanan dan Indeks Bias

Tekanan P	$\Delta m \pm 0,5$	$\Delta n/\Delta P$	Perubahan indeks bias butana Δn dari penelitian sebelumnya [4]
0	0	0	0
4	24	0,00001460	0,000529343
8	48	0,00001460	0,000529343
12	72	0,00001460	0,000529343
16	97	0,00001521	0,000534857
20	121	0,00001460	0,000533754
24	146	0,00001521	0,000536695
28	171	0,00001521	0,000538795
32	195	0,00001460	0,000537614
36	220	0,00001521	0,000539146
40	244	0,00001460	0,000538165
44	268	0,00001460	0,000537363
48	292	0,00001460	0,000536695
52	316	0,00001460	0,000536129
56	341	0,00001521	0,000537220

60	367	0,00001582	0,000539636
64	392	0,00001521	0,000540371
68	416	0,00001460	0,000539722
73	441	0,00001521	0,000540371

Keterangan :

P_o = Tekanan udara luar terukur, $P_o = (76,68 \pm 0,08)$ cmHg

Panjang tabung gas, $L = (130,00 \pm 0,02)$ mm

Suhu ruangan, $t = (30,0 \pm 0,5)$ °C

Kelembaban udara relative, $N = (90,0 \pm 0,1)$ %

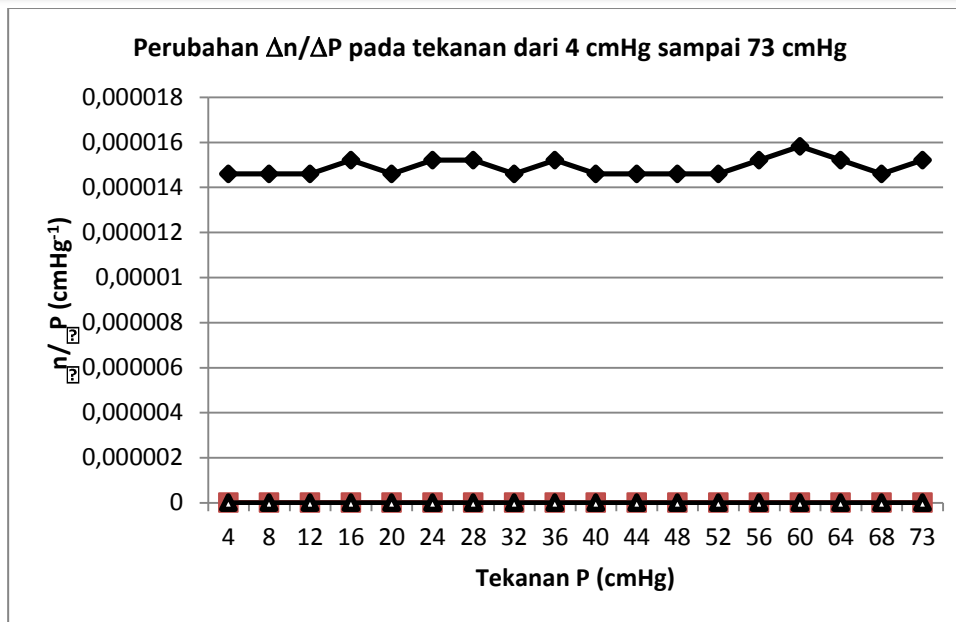
Panjang gelombang berkas laser He-Ne, $\lambda = 632,8$ nm

Sedangkan Tabel 2 berisi ralat (ketidakpastian) yang timbul ketika dilakukan pengukuran dan perhitungan.

Tabel 2. Rangkuman perambatan ralat yang mungkin ditimbulkan dari hasil pengukuran

Sumber ralat	Kontribusi ralat
Kesalahan perhitungan frinji untuk $P \leq 16$ cm Hg	1,4 %, 1 kesalahan perhitungan frinji dalam setiap 69 frinji
Kesalahan perhitungan frinji untuk $P \leq 28$ cmHg	0,7 %, 1 kesalahan perhitungan frinji dalam setiap 147 frinji
Kesalahan perhitungan frinji untuk $P \leq 36$ cmHg	0,51 %, 1 kesalahan perhitungan frinji dalam setiap 196 frinji
Kesalahan perhitungan frinji untuk $36 \leq P \leq 56$ cmHg	0,31 %, 1 kesalahan perhitungan frinji dalam setiap 317 frinji
Kesalahan perhitungan frinji untuk $56 < P \leq 60$ cmHg	0,6 %, 2 kesalahan perhitungan frinji dalam setiap 343 frinji
Kesalahan perhitungan frinji untuk $60 < P \leq 73$ cmHg	0,23 %, 1 kesalahan perhitungan frinji dalam setiap 417 frinji
Pengukuran panjang tabung gas	0,38 %
Daya sedot pompa yang kecil (73 cmHg) saat memvakumkan tabung sebelum dialiri gas butana.	3,95 % udara yang masih tersisa dan tercampur dengan gas butana.

Adanya kesalahan dalam perhitungan jumlah frinji yang melalui medan pengamatan disebabkan oleh mekanisma sistem pengaturan tekanan kran pengatur K_3 untuk menyalurkan gas yang kurang halus (tidak terlalu presisi) sehingga saat tekanan dinaikan sekitar 1 sampai 2 frinji terlewatkan dari medan pengamatan. Sedangkan pengukuran terhadap panjang tabung gas menggunakan caliper digital dengan akurasi sekitar 0,02 mm.



Gambar 3. Setiap titik data dari $\Delta n/\Delta P$ untuk setiap perubahan tekanan dihitung dengan persamaan (6) dan dinyatakan dalam perubahan dalam n untuk setiap kenaikan tekanan 4 cmHg. Prosentasi perambatan ralat untuk setiap $\Delta n/\Delta P$ diperlihatkan dalam tabel 1.

Hasil analisa ini juga memperlihatkan bahwa : bertambahnya tekanan, maka perubahan indeks bias butana bertambah sekitar $2 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$ (gambar 3). Tampak bahwa $\Delta n/\Delta P$ tidak linier dalam tekanan, n juga menunjukkan kemungkinan yang sama. Sedangkan pada tekanan 4 cmHg – 12 cmHg, 24 cmHg – 28 cmHg serta 40 cmHg – 52 cmHg, perubahan terhadap $\Delta n/\Delta P$ memperlihatkan kecenderungan yang lebih stabil. Tetapi pada tekanan 60 cmHg – 73 cmHg, data kembali mengalami deviasi (ketidakteraturan), dan perubahan ini cukup signifikan dimana berkas gelombang laser dari setiap kaki interferometer berpencar (tidak sefasa) dan pola in terferensi konstruktif yang terbentuk dengan berkas gelombang laser dari kaki yang lain dari interferometer akan tidak bertahan lama pada medan pengamatan (posisi sempurna cermin pada kedudukan yang benar pada awal dari eksperimen ini untuk menghindari masalah tersebut, tetapi hal ini cukup sulit sebagai alasan praktis). Untuk itu perlu pengaturan lagi dari salah satu cermin pada interferometer agar diperoleh kembali pola interferensi gelombang laser. Dalam perbandingan hasil untuk $\Delta n/\Delta P$ dengan nilai n yang diperoleh dari penelitian yang pernah penulis lakukan pada temperatur 25°C yaitu : $1,00054 \pm 0,00001$ ([4]). Jadi nilai n yang ditentukan dari pengukuran dan perhitungan $\Delta n/\Delta P$ dilakukan dengan pertama-tama memasukan nilai n yang telah penulis peroleh dari penelitian sebelumnya pada temperatur 25°C ($1,00054 \pm 0,00001$) dan kemudian menambahkan perhitungan $\Delta n/\Delta P$ ke 1,000540 untuk setiap perubahan tekanan 4 cmHg.

Ralat ε untuk maksud perbandingan nilai n (jumlah komulatif dari Δn) untuk mendapatkan nilainya dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya diberikan oleh :

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_{p=4}^{73} (\varepsilon_p)^2} = 7,3 \times 10^{-5} \dots\dots\dots(7)$$

dimana ε_p adalah ralat yang bersesuaian dengan setiap pengukuran dari perubahan indeks bias Δn pada tekanan P . Metode ini menambahkan ralat secara kuadrat dengan asumsi bahwa penyimpangan terhadap setiap perubahan indeks bias dari nilai yang sebenarnya adalah hampir sama, agar supaya ralat yang diberikan oleh komulatif jumlah dari ralat dalam gambar 3 adalah tidak terlalu besar. Nilai terkecil untuk ε adalah menunjukkan nilai terbaik dari ralat pada setiap titik yang dipresentasikan dalam makalah ini. Nilai $\Delta n/\Delta P$ yang diperoleh pada makalah ini memberikan hasil yang cukup signifikan untuk n , dan untuk ralat pada temperatur yang sama memberikan hasil $5,0 \times 10^{-5}$, dimana hasil yang pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya dan hasil pada makalah ini menggunakan sumber pencahayaan yang sama yaitu : berkas laser He-Ne pada tekanan 1 atm.

KESIMPULAN

Dengan menggunakan sistem Interferometer Michelson dan memadukannya dengan beberapa sistem peralatan penunjang sederhana yang lain dan tabung optik untuk mengalirkan gas serta merabatkan berkas gelombang laser, perubahan terhadap indeks bias gas alam cair dapat diukur untuk setiap perubahan tekanan, dimana range dari tekanan diamati dari 4 cmHg sampai 73 cmHg. Dengan menghitung setiap perubahan frinji pada medan pengamatan dan kemudian mengaplikasikan persamaan (6) dalam perhitungan $\Delta n/\Delta P$, maka nilai dari n juga dapat ditentukan dan hasilnya tidak berbeda jauh dengan yang pernah diteliti sebelumnya oleh penulis. Sedangkan pengukuran terhadap perubahan indeks bias gas butana dalam penelitian ini diperoleh rata-rata perubahan sebesar $5,5 \times 10^{-5}$ untuk setiap tekanan 4 cmHg. Walaupun penelitian terhadap perubahan nilai indeks bias gas butana belum pernah dilakukan sebelumnya, tetapi berpijak dari hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mascart dan Dulong untuk gas Metana dan Pentana ($n_{\text{metana}} = 1,000443$, $n_{\text{metana}} = 1,000444$ dan $n_{\text{pentana}} = 1,001711$), dimana gas butana berada diantara kedua gugus hidrokarbon tersebut, maka dapat dikatakan perubahannya cukup signifikan dan cukup akurat hasil pengukuran ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bevington, P.R.,1969, *Data reduction and error analysis for the physical sciences*, Mc Graw - Hill book company, Inc, USA
2. Born, M., and Wolf, E., 1975, *Principles of optics*, Edisi ke-lima, Pergamon press, New York

3. Hecht, E., and Zajac, A., 1974, *Optics*, Adisson – Wesley Publishing company Inc, Philippines
4. Lokollo, R.R., 1998, *Studi tentang penentuan indeks bias gas alam cair (butana) dengan Interferometer Michelson*, UGM, Yogyakarta
5. Weast, R.C., and Astle, M.J., 1979-1980, *CRC Hand book of chemistry and physics*, edisi ke-enan puluh, CRC press, Inc, Florida 33431.