

Studi Keterkaitan Indeks Bias Air Terhadap Suhu dan Panjang Gelombang Berdasarkan Model Empiris

Candra Sugito^{a*}

^aProdi Fisika, FMIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak

*Email : candrasugito@student.untan.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan studi kebergantungan indeks bias air terhadap suhu dan panjang gelombang berdasarkan model empiris. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi keterkaitan antara indeks bias air, suhu, dan panjang gelombang dengan menggunakan pendekatan model empiris. Data ini diolah menggunakan persamaan Cauchy orde 2 dan Sellmeier orde 2 untuk mendapatkan koefisien Cauchy orde 2 dan Sellmeier orde 2 dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Koefisien tersebut digunakan untuk mendapatkan fungsi Cauchy dan Sellmeier. Fungsi tersebut kemudian digunakan untuk mengetahui nilai indeks bias pada suhu tertentu menggunakan persamaan Cauchy orde 2 dan Sellmeier orde 2. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah Model Cauchy dan Sellmeier menggunakan fungsi eksponensial. Koefisien Cauchy orde 2 dapat digunakan untuk mengetahui nilai indeks bias pada rentang panjang gelombang 400 nm hingga 750 nm. Sedangkan koefisien Sellmeier orde 2 dapat digunakan untuk mengetahui nilai indeks bias pada rentang panjang gelombang 200 nm hingga 900 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, maka koefisien Cauchy ataupun koefisien Sellmeier akan semakin rendah. Begitu pula dengan semakin tinggi suhu, maka semakin kecil indeks bias air.

Kata Kunci : *Indeks bias air, Cauchy, Sellmeier, MATLAB.*

1. Latar Belakang

Air merupakan sesuatu yang sangat penting untuk keberlangsungan hidup, maka kualitas air perlu diperhatikan agar tidak berdampak buruk bagi makhluk hidup khususnya manusia [1]. Kualitas air dapat diketahui dengan mengetahui indeks bias air. Indeks bias pada bidang industri dapat digunakan sebagai parameter fisik seperti konsentrasi, suhu, tekanan, dan lain-lain. Dalam bidang kimia, indeks bias digunakan untuk mengetahui konsentrasi larutan serta kandungan bahan-bahan penyusun larutan. Selain itu, indeks bias juga dapat digunakan untuk menentukan kemurnian suatu cairan seperti minyak goreng ataupun oli [2].

Indeks bias memiliki keterkaitan terhadap panjang gelombang cahaya yang melaluinya pada peristiwa dispersi. Hubungan antara indeks bias dengan panjang gelombang dapat dinyatakan oleh Persamaan Sellmeier [3]. Persamaan Sellmeier menyatakan bahwa indeks bias bahan dielektrik transparan berkaitan dengan panjang gelombang optis yang melewati bahan dielektrik tersebut [4].

Persamaan Sellmeier adalah Persamaan Cauchy yang dioptimalisasi yang dapat digunakan pada bagian cahaya tampak dan cahaya tak tampak. Keterkaitan indeks bias dengan panjang gelombang cahaya berguna untuk mengetahui tingkat dispersi bahan melalui kurva dispersi [5]. Persamaan Cauchy

merupakan persamaan yang menyatakan kebergantungan indeks bias suatu medium terhadap panjang gelombang (dispersi). Model dispersi indeks bias Cauchy didapatkan berdasarkan pada data hasil eksperimen (secara empiris), dan berdasar dari persamaan polinom [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menguji keterkaitan indeks bias air terhadap suhu dan panjang gelombang berdasarkan model empiris. Penelitian akan dilakukan menggunakan Persamaan Cauchy dan Persamaan Sellmeier bergantung pada suhu dan panjang gelombang dengan perangkat lunak berupa MATLAB. Penelitian ini menggunakan variasi suhu air pada 0°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C sebagai variabel bebas dan variabel terikat berupa panjang gelombang 226,5 nm; 361,05 nm; 404,41 nm; 589 nm; 632,8 nm; 1013,98 nm untuk mendapatkan koefisien Cauchy dan Sellmeier. Koefisien Cauchy dan Sellmeier tersebut akan digunakan untuk mendapatkan model Empiris yang dapat digunakan untuk mengetahui indeks bias air pada suhu dan panjang gelombang tertentu.

2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember tahun 2022 hingga bulan Maret tahun 2023 di Laboratorium Fisika Komputasi FMIPA UNTAN.



Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang bersumber dari penelitian yang dilakukan oleh Bashkatov dan Genina [6]. Data tersebut berupa indeks bias yang bergantung suhu dan panjang gelombang. Kemudian, data tersebut dimasukkan ke *microsoft excel*. Pada program MATLAB terdapat fungsi *xlsread* yang digunakan untuk membaca data yang ada pada *microsoft excel* (Gambar 1). Data tersebut akan dicocokkan menggunakan fungsi *curve fitting tool (cftool)* pada program MATLAB dan menggunakan Persamaan Cauchy orde 2 (persamaan 1) yaitu:

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \tag{1}$$

Keterangan :

n : indeks bias

λ : panjang gelombang

$A = C_{i+1}$: konstanta Cauchy, dengan $i = 0$

$B = C_{i+1}$: konstanta Cauchy, dengan $i = 1$

$C = C_{i+1}$: konstanta Cauchy, dengan $i = 2$

Nilai *R-square* akan lebih dari 0,9 atau mendekati nilai 1 serta titik-titik data nilai indeks bias dekat dengan garis grafik yang telah dicocokkan jika rentang koefisien Cauchy yang digunakan telah sesuai. Jika nilai *R-square* kurang dari 0,9 atau jauh dari 1 serta titik-titik data nilai indeks jauh dengan garis grafik yang telah *fitting*, maka *fitting* yang telah dilakukan belum akurat. Dalam hal ini akan dilakukan *fitting* ulang hingga *R-square* mendekati 1 serta titik-titik data nilai indeks menempel atau dekat dengan garis grafik yang telah *fitting*. Nilai koefisien Cauchy yang telah didapatkan dibuat tabel pada *microsoft excel*. Selanjutnya, koefisien tersebut digunakan untuk mendapatkan model Cauchy menggunakan fungsi *cftool* pada MATLAB dengan persamaan eksponensial orde 2. Tahapan-tahapan yang telah dilakukan pada Persamaan Cauchy dilakukan juga pada Persamaan Sellmeier (persamaan 2) yaitu:

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{A\lambda^2}{\lambda^2 - B} + \frac{C\lambda^2}{\lambda^2 - D} \right)} \tag{2}$$

Keterangan :

n : indeks bias

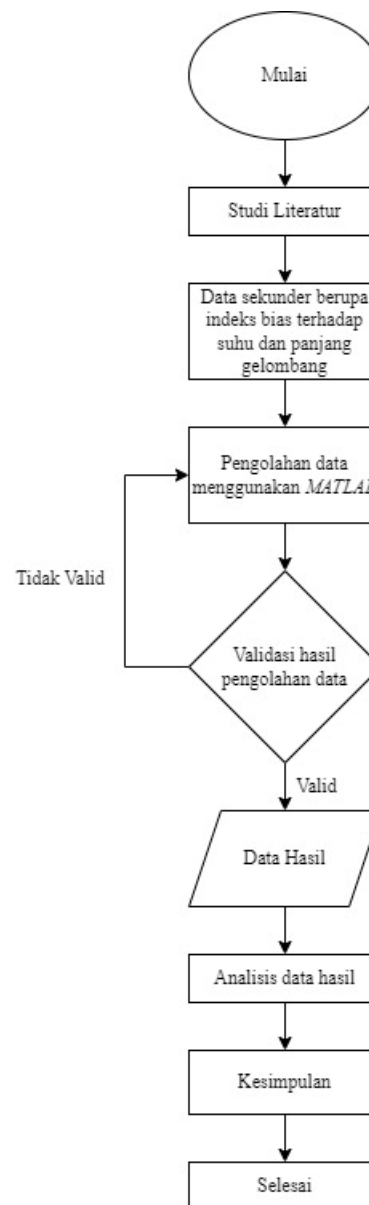
λ : panjang gelombang

$A = A_i$: konstanta Sellmeier, dengan $i = 1$

$B = B_i$: konstanta Sellmeier, dengan $i = 1$

$C = A_i$: konstanta Sellmeier, dengan $i = 2$

$D = B_i$: konstanta Sellmeier, dengan $i = 2$



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Model Cauchy dan model Sellmeier yang telah didapatkan dapat digunakan untuk mengetahui nilai indeks bias pada suhu dan panjang gelombang tertentu dengan cara melakukan pemrograman pada program MATLAB. Dalam penelitian ini indeks bias yang didapatkan diuji dengan membandingkan data nilai indeks bias yang telah ada pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Daimon dan Masumura [7]. Data-data tersebut dibandingkan dengan cara menggabungkan grafik data eksperimen dengan model Cauchy dan model Sellmeier.

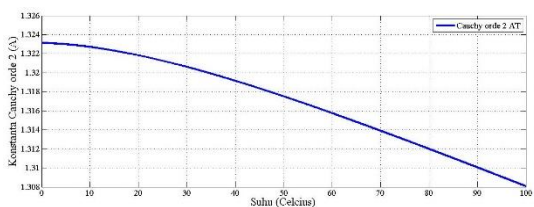
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Koefisien Cauchy Orde 2 Hasil Fitting

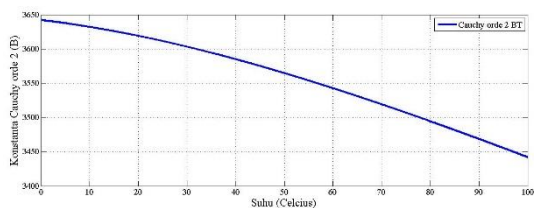
Data sekunder yang telah dimasukkan ke MATLAB dilakukan pencocokan rentang koefisien menggunakan Persamaan 1 dan didapatkan koefisien yang disajikan pada Tabel 1. Koefisien Cauchy pada Tabel 1 digunakan untuk mengetahui keterkaitan koefisien Cauchy terhadap suhu, disajikan pada Gambar 2.

Tabel 1 Koefisien Cauchy orde 2 hasil fitting

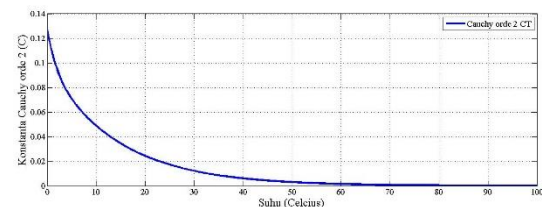
Temperatur °C	A	B	C	R ²
0	1,323	3643	0,127	0,9977
10	1,323	3628	0,04877	0,9977
20	1,322	3621	0,02439	0,9977
30	1,321	3606	0,01219	0,9977
40	1,319	3584	0,006095	0,9976
50	1,318	3561	0,003047	0,9976
60	1,316	3542	0,001523	0,9976
70	1,314	3519	0,0007615	0,9976
80	1,312	3494	0,0003808	0,9976
90	1,31	3471	0,0001904	0,9976
100	1,308	3440	0,0000952	0,9976



(a)



(b)



(c)

Gambar 2 Hubungan suhu dengan koefisien persamaan Cauchy. (a) Koefisien A; (b) koefisien B; (c) koefisien C

Dalam gambar 2 terlihat bahwa kurva model cauchy menunjukkan bahwa nilai koefisien Cauchy menurun secara eksponen seiring meningkatnya suhu. Dengan kata lain

koefisien cauchy berbanding terbalik dengan suhu. Pada Gambar 2a, 2b, dan 2c masing-masing koefisien mempunyai ketergantungan terhadap suhu yang dinyatakan menggunakan persamaan eksponensial sebagai berikut :

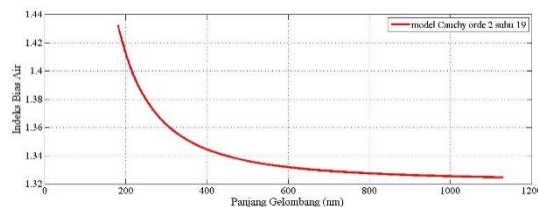
$$A(t)=1,329\exp(-0,0001571t)+(-0,005872\exp(-0,03349t)) \tag{3}$$

$$B(t)=3850\exp(-0,0009747t)+(-207,9\exp(-0,01417t)) \tag{4}$$

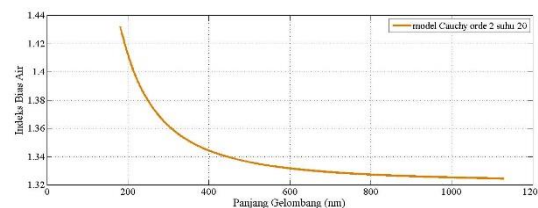
$$C(t)=0,02959\exp(-0,5532t)+(0,09741\exp(-0,06935t)) \tag{5}$$

3.1.1 Indeks Bias Air Bergantung Panjang gelombang pada suhu 19°C, 20°C, 21,5°C, 24°C dengan model Cauchy

Persamaan 3, 4, dan 5 dapat digunakan untuk menentukan indeks bias pada suhu tertentu dengan menggunakan fungsi *linspace* pada program MATLAB. Pada penelitian ini, Fungsi *linspace* untuk panjang gelombang yang dimasukkan mulai dari 181 nm hingga 1129 nm dengan 1000 elemen. Variasi suhu t yang diuji yaitu 19°C, 20°C, 21,5°C, 24°C. Pemilihan rentang panjang gelombang tersebut dikarenakan panjang gelombang pada data yang digunakan sebagai pembanding dimulai dari 181,78736 nm hingga 1128,95 nm. Begitu pula dengan suhu yang diuji tersebut dikarenakan suhu pada data yang digunakan sebagai pembanding bervariasi pada 19°C, 20°C, 21,5°C, 24°C. Selanjutnya dijalankan fungsi plot lambda terhadap suhu t dan menggunakan perintah *figure* untuk menampilkan grafik indeks bias air terhadap panjang gelombang pada masing-masing suhu 19°C, 20°C, 21,5°C, 24°C dengan model Cauchy. Didapatkan grafik indeks bias air terhadap panjang gelombang pada suhu 19°C, 20°C, 21,5°C, 24°C yang disajikan pada Gambar 3.

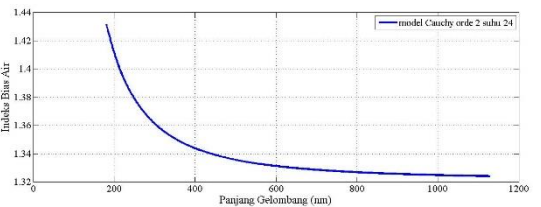
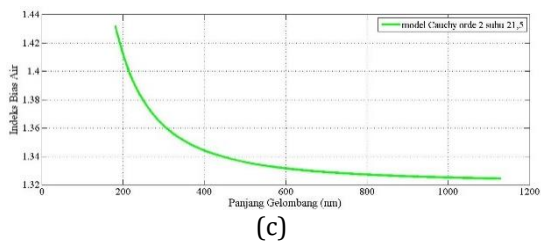


(a)



(b)

Sellmeier terhadap suhu dan didapatkan hasil yang disajikan pada Gambar 5.

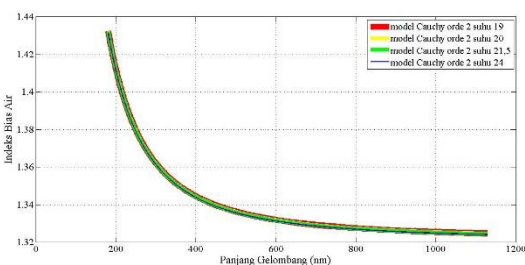


(d)

Gambar 3 Grafik indeks bias air terhadap panjang gelombang berdasarkan suhu dengan model Cauchy. (a) Suhu 19°C; (b) Suhu 20°C; (c) Suhu 21,5°C, (d) Suhu 24°C.

3.1.2 Indeks Bias Air Bergantung Panjang gelombang pada suhu 19°C; 20°C; 21,5°C; 24°C dengan model Cauchy

Gambar 4 yang merupakan hasil gabungan dari gambar 3a, 3b, 3c, dan 3d. Di gambar tersebut terlihat bahwa urutan grafik paling atas dimulai dari 19°C, 20°C, 21,5°C, 24°C. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin tinggi suhu, maka indeks bias akan semakin kecil. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah suhu, maka indeks bias akan semakin besar.



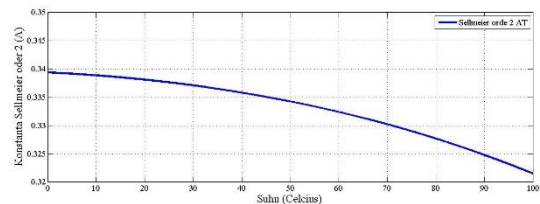
Gambar 4 Grafik indeks bias air terhadap suhu dan panjang gelombang dengan model Cauchy

3.2 Koefisien Sellmeier Orde 2 Hasil Fitting

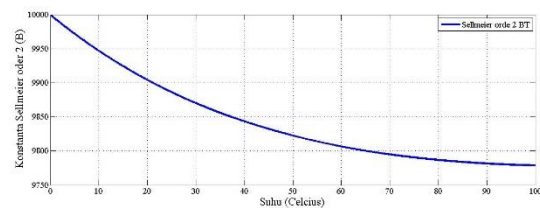
Data sekunder yang telah dimasukkan ke MATLAB dilakukan pencocokan rentang koefisien menggunakan Persamaan 2 dan didapatkan koefisien yang disajikan pada Tabel 2. Koefisien Sellmeier pada Tabel 2 digunakan untuk mengetahui ketergantungan koefisien

Tabel 2 Koefisien Sellmeier orde 2 hasil *fitting*

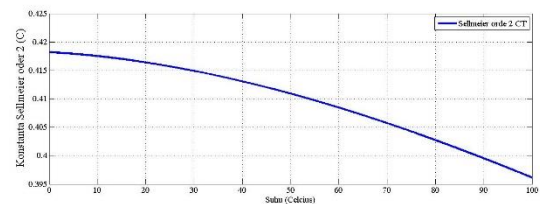
Temperatur °C	A	B	C	D	R ²
0	0,3392	10000	0,418	10000	0,9976
10	0,3388	9945	0,4173	9945	0,997
20	0,3382	9907	0,4165	9907	0,9967
30	0,337	9867	0,4149	9867	0,9966
40	0,3362	9846	0,4131	9846	0,9965
50	0,3344	9825	0,4109	9825	0,9964
60	0,3325	9804	0,4083	9804	0,9964
70	0,3302	9795	0,4055	9795	0,9965
80	0,3272	9790	0,4029	9790	0,9967
90	0,3245	9781	0,3996	9781	0,9968
100	0,3219	9780	0,3958	9770	0,997



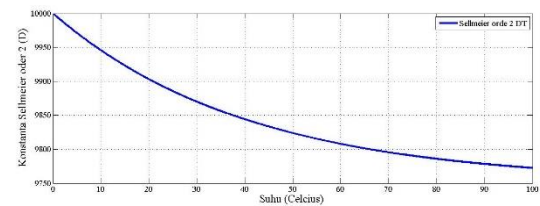
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5 Hubungan suhu dengan koefisien persamaan Sellmeier. (a) Koefisien A; (b) koefisien B; (c) koefisien C; (d) koefisien D.

Dalam Gambar 5 terlihat bahwa kurva dari koefisien Sellmeier menurun secara eksponen seiring meningkatnya suhu seperti koefisien Cauchy pada Gambar 4. Koefisien Sellmeier sama halnya dengan koefisien Cauchy yaitu berbanding terbalik dengan suhu. Pada Gambar 5a, 5b, 5c, dan 5d masing-masing koefisien mempunyai keterkaitan terhadap suhu sebagai berikut :

$$A(t) = (-0,1189)\exp(0,004944t) + 0,4583\exp(0,001195t) \tag{6}$$

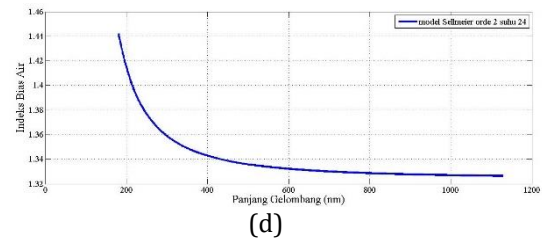
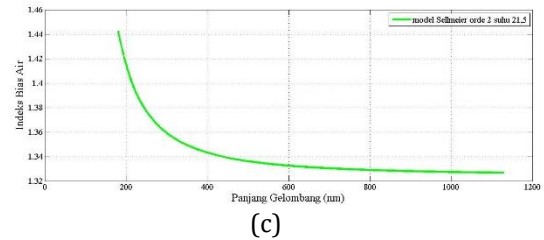
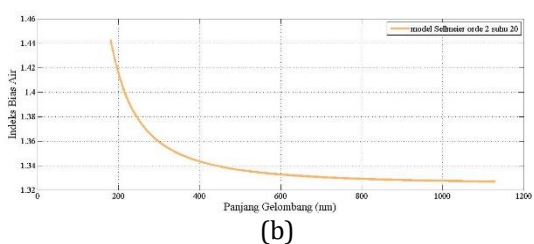
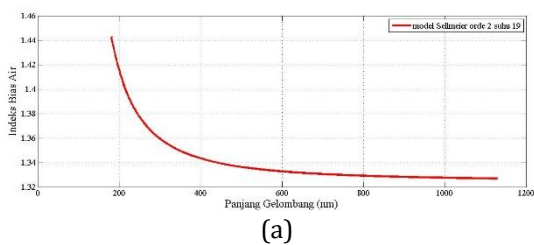
$$B(t) = 379,5\exp(-0,01793t) + 9620\exp(0,0000989t) \tag{7}$$

$$C(t) = 0,5586\exp(-0,001775t) + (-0,1404)\exp(-0,006733t) \tag{8}$$

$$D(t) = 248,9\exp(-0,02462t) + 9751\exp((2,573 \cdot 10^{-7})t) \tag{9}$$

3.2.1 Indeks Bias Air Bergantung Panjang gelombang pada suhu 19°C dengan model Sellmeier

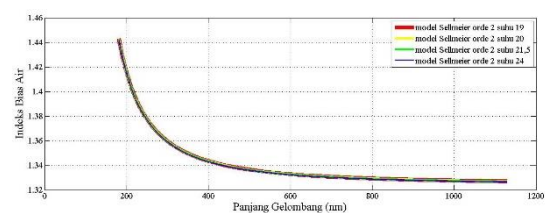
Indeks bias akan didapatkan menggunakan Persamaan 6, 7, 8, dan 9 dengan rentang panjang gelombang yang ditetapkan menggunakan fungsi *linspace*. Panjang gelombang yang ditetapkan mulai dari 181 nm hingga 1129 nm dengan 1000 elemen. Suhu t yang dimasukkan yaitu 19°C, 20°C, 21,5°C, 24°C. Selanjutnya dijalankan fungsi plot *lambda* terhadap suhu t dan menggunakan perintah *figure* untuk menampilkan grafik indeks bias air terhadap panjang gelombang pada suhu 19°C, 20°C, 21,5°C, 24°C dengan model Sellmeier. Didapatkan grafik indeks bias air terhadap panjang gelombang pada suhu 19°C, 20°C, 21,5°C, 24°C yang disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik indeks bias air terhadap panjang gelombang berdasarkan suhu dengan model Sellmeier. (a) Suhu 19°C; (b) Suhu 20°C; (c) Suhu 21,5°C, (d) Suhu 24°C.

3.2.2 Indeks Bias Air Bergantung Panjang gelombang pada suhu 19°C; 20°C; 21,5°C; 24°C dengan model Sellmeier

Dalam Gambar 6a, 6b, 6c, dan 6d yang digabung menjadi Gambar 7 terlihat bahwa informasi pada gambar tersebut sama seperti pada indeks bias dengan model Cauchy, jika suhu semakin tinggi, maka indeks bias akan semakin kecil. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah suhu, maka indeks bias akan semakin besar.

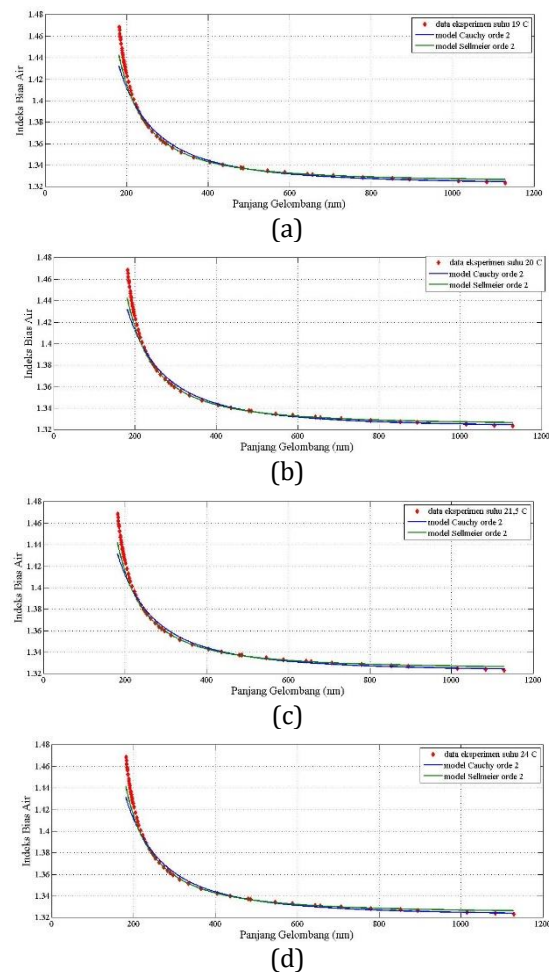


Gambar 7 Grafik indeks bias air terhadap suhu dan panjang gelombang dengan model Sellmeier

3.3 Perbandingan Data Eksperimen Terhadap Model Cauchy Orde 2 dan Model Sellmeier Orde 2

Dalam Gambar 8 terlihat bahwa kurva dari model Cauchy secara presisi mengikuti kurva yang melewati data eksperimen pada rentang panjang gelombang mulai dari 400 nm hingga 750 nm. Model Cauchy cocok digunakan untuk memperoleh nilai indeks bias pada rentang panjang gelombang mulai dari 400 nm hingga 750 nm. Hal ini dikarenakan rentang panjang gelombang tersebut merupakan rentang panjang gelombang pada cahaya tampak. Sedangkan grafik model Sellmeier bersesuaian

dengan grafik yang dilalui data eksperimen pada rentang panjang gelombang 200 nm hingga 900 nm. Sehingga cocok digunakan untuk memperoleh nilai indeks bias pada rentang panjang gelombang mulai dari 200 nm hingga 900 nm. Hal ini dikarenakan rentang panjang gelombang tersebut merupakan rentang panjang gelombang ultra ungu dekat, cahaya tampak, dan inframerah dekat.



Gambar 8 Gabungan grafik nilai indeks bias air dari data eksperimen, model Cauchy orde 2, dan model Sellmeier orde 2 terhadap panjang gelombang berdasarkan suhu. (a) Suhu 19°C; (b) Suhu 20°C; (c) Suhu 21,5°C, (d) Suhu 24°C.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa model empiris Cauchy orde 2 dan Sellmeier orde 2 dapat menggunakan fungsi eksponensial. Nilai koefisien Cauchy ataupun koefisien Sellmeier akan semakin rendah seiring dengan kenaikan suhu. Selain itu semakin tinggi suhu, maka semakin kecil indeks bias air. Koefisien Cauchy

orde 2 lebih cocok digunakan untuk memperoleh nilai indeks bias pada rentang panjang gelombang 400 nm hingga 750 nm. Sedangkan koefisien Sellmeier orde 2 lebih cocok digunakan untuk memperoleh nilai indeks bias pada rentang panjang gelombang 200 nm hingga 900 nm.

Daftar Pustaka

- [1] T. Purto, A. Widodo, and D. Permatasari, "Pentingnya Kualitas Air dan Penggunaan Filteri Air Sederhana Desa Wonokerto-Kecamatan Wonosalam Kabupaten Jombang Masyarakat Desa Imaan," *Jurnal Abdikarya: Jurnal Karya Pengabdian Dosen dan Mahasiswa*, vol. 03, no. 1, Jan. 2019.
- [2] A. Zamroni, "Pengukuran Indeks Bias Zat Cair Melalui Metode Pembiasan Menggunakan Plan Paralel," *Jurnal Fisika*, vol. 3, no. 2, Nov. 2013.
- [3] D. F. Zahro, "Penentuan Konstanta Sellmeier dan Konstanta Cauchy Minyak Kelapa Sawit pada Berbagai Temperatur Menggunakan Spektrometer Prisma," Universitas Jember, Jember, 2015.
- [4] Herwinarso, "Kebergantungan Nilai Indeks Bias Medium pada Panjang Gelombang Model Sellmeier," *Magister Scientiae*, vol. 32, Oct. 2012.
- [5] E. Y. K. Wijayanti, "Penentuan Konstanta Sellmeier pada Berbagai Variasi Konsentrasi Garam NaCl dengan Menggunakan Spektrometer Prisma," Universitas Jember, Jember, 2018.
- [6] A. N. Bashkatov and E. A. Genina, "Water refractive index in dependence on temperature and wavelength: A simple approximation," in *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, SPIE, Oct. 2003, pp. 393–395. doi: 10.1117/12.518857.
- [7] M. Daimon and A. Masumura, "Measurement of the refractive index of distilled water from the near-infrared region to the ultraviolet region," *Appl Opt*, vol. 46, no. 18, Jun. 2007.