

PENGEMBANGAN APLIKASI BERBASIS MATLAB UNTUK MENGANALISIS SIFAT LASING KACA Te-Zn-Bi YANG TERDADAH ION Er^{3+}

APPLICATION DEVELOPMENT BASED ON MATLAB TO ANALYZE THE NATURE OF LASING GLASES Te-Zn-Bi DOPED BY Er^{3+} ION

Rudi Susanto^{1,a}

¹STMIK Duta Bangsa Surakarta

Jl. Bhayangkara no. 55-57 Tipes, Surakarta

e-mail:^arudist87@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan aplikasi untuk menganalisis sifat lasing kaca bahan penguat optik dengan parameter Judd-Ofelt. Pengembangan aplikasi menggunakan kaidah Software Development Life Cycle (SDLC) yang terdiri dari analisis, perancangan, pembangunan dan pengujian. Perancangan aplikasi menggunakan flowchart yang sesuai dengan kebutuhan dan pembangunan aplikasi menggunakan GUI matlab. Pengujian aplikasi menggunakan metode black box serta perbandingan hasil aplikasi dan perhitungan manual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi mampu bekerja sesuai fungsionalitasnya yaitu digunakan untuk menganalisis sifat lasing kaca Te-Zn-Bi dengan doping Er^{3+} yang ditunjukkan dengan output aplikasi berupa (1) Parameter $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$, (2) Probabilitas Transisi, (3) Branching Ratio, (4) Life Time, (5) Ω_4 / Ω_6 serta (6) Aem/AESA. Output aplikasi tersebut merupakan parameter yang digunakan untuk menganalisis sifat lasing sesuai parameter Judd Ofelt. Hasil perbandingan perhitungan manual dan aplikasi dapat diketahui bahwa rata-rata kesalahan relative adalah 1.2476%. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa aplikasi dapat digunakan untuk menganalisis sifat lasing.

Kata kunci: aplikasi, Judd-Ofelt, Software Development Life Cycle (SDLC), sifat lasing

Abstract

The purpose of this study was to develop an application to analyze the nature of the lasing material glass for optical amplifier by using Judd-Ofelt parameters. The Application development used the rules of Software Development Life Cycle (SDLC) that consists of analysis, design, development and testing. The Application design used a flowchart that was appropriate for the needs and implementation development by using GUI Matlab. The application testing used black box method and the comparison of the application's result and manual calculations. The testing results showed that the application was able to work according to the functionality that was used to analyze the nature of the lasing glass Te-Zn-Bi doped Er^{3+} ion indicated by the application's output in the form of (1) Parameter $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$, (2) Probability of Transition, (3) Branching Ratio, (4) Life Time, (5) Ω_4 / Ω_6 and (6) AEM / AESA. The application output was the parameters used to analyze the nature of the lasing based on the Ofelt

Judd parameter. From the comparison results of the manual calculation and implementation, it could be seen that the average relative error was 1.2476%. The testing results concluded that the application could be used to analyze the nature of lasing.

Keywords: application, judd ofelt, Software Development Life Cycle (SDLC), lasing properties

Copyright @ 2016 Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya

I. PENDAHULUAN

Terdapat berbagai bahan yang digunakan untuk membuat penguat optik seperti borate, fluoride, germanite, silicate, phosphate, dan tellurite. Kaca tellurite yang berbahan utama TeO_2 memiliki beberapa keunggulan seperti indeks bias yang tinggi, fonon energi rendah, stabil terhadap kristalisasi, rentang transmisinya sangat lebar, dan kemungkinan untuk mendoping dengan ion tanah jarang dengan konsentrasi yang sangat besar [1]. Keunggulan tersebut yang menjadikan kaca Teurite mendapat perhatian peneliti di dunia. Untuk mendapatkan kaca tellurite yang dapat berfungsi sebagai penguat optik, kaca tellurite dapat didadah dengan ion tanah jarang, salah satunya adalah Erbium. Fungsi kinerja sebuah penguat optik secara umum dipengaruhi oleh probabilitas transisi dan lifetime [2].

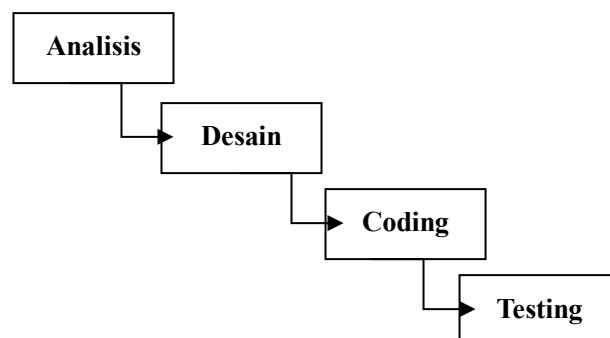
Kaca Tellurite yang didadah ion Er^{3+} telah difabrikasi pada penelitian sebelumnya dengan komposisi $55\text{TeO}_2-2\text{Bi}_2\text{O}_3-(43-x)\text{ZnO}-x\text{Er}_2\text{O}_3$ (TZB:Er) [3]. Karakteristik kaca Tellurite yang didadah ion Er^{3+} dianalisis dengan menggunakan teori Judd Ofelt. Analisis ini diperlukan untuk mengetahui sifat lasing dari kaca TZB:Er yang dihasilkan. Teori Judd Ofelt digunakan untuk menghitung probabilitas transisi radiatif dan radiatif lifetime suatu keadaan tereksitasi, serta cross section emisi terangsang dari ion tanah jarang [4].

Analisis Judd Ofelt dilakukan secara manual yakni dengan perhitungan dengan menggunakan Ms. Excel, perhitungan dengan menggunakan Ms.Excel memberikan hasil

yang cukup baik [5]. Namun perhitungan secara manual ini masih sulit digunakan karena harus mengubah beberapa variabel didalam rumus perhitungan. Nilai variabel dalam analisis judd ofelt banyak sehingga berdampak pula pada formula yang harus dimasukkan kedalam Ms.Excel, selain itu perbedaan komposisi akan merubah nilai masukkan dan formula. Oleh karena itu pada penelitian ini dikembangkan aplikasi berbasis Matlab untuk menganalisis sifat lasing kaca TZB:Er dengan teori Judd Ofelt sehingga pengguna akan lebih mudah dalam melakukan analisis karakteristik lasing.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini pada dasarnya ditujukan untuk membuat aplikasi yang digunakan untuk menganalisis sifat lasing kaca tellurite yang didadah dengan Ion Erbium sebagai bahan penguat Optik. Metode pengembangan aplikasi menggunakan kaidah *Software Development Life Cycle* (SDLC) dengan tipe waterfall (air terjun) Gambar 1. Metode pengembangan aplikasi *software* ini meliputi :



Gambar 1. Metode Pengembangan Aplikasi

a. Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kebutuhan aplikasi. Kebutuhan aplikasi tersebut meliputi formula yang akan digunakan dalam pembuatan aplikasi judd ofelt menggunakan matlab. Formula dalam penelitian ini akan disesuaikan dengan metode Judd-Offelt [6] [7]. Formula matematis yang akan digunakan meliputi: (1) Line strength (f) persamaan 1, (2) Judd-Offelt parameters Ω_2 , Ω_4 and Ω_6 persamaan 2, (3) Peluang transisi persamaan 3, (4) Branching ratio persamaan 4, (5) Lifetime persamaan 5 dan (6) Perbandingan intensitas emisi dan ESA persamaan 6.

$$f_{meas} = \frac{3ch(2J+1)}{8\pi^3 e^2 N} \frac{9n}{(n^2+2)^2} \frac{2.3}{\lambda} \int_{J \rightarrow J'} OD(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

$$f_{calc}(J \rightarrow J') = \sum_{t=2,4,6} \Omega_t |\langle (S, L)J \| U^{(t)} \| (S', L')J' \rangle|^2 \quad (2)$$

$$A[(S, L)J; (S', L')J'] = \frac{3ch(2J+1)}{8\pi^3 e^2 N} \frac{9n}{(n^2+2)^2} f_{calc}(J \rightarrow J') \sum_{t=2,4,6} \Omega_t |\langle (S, L)J \| U^{(t)} \| (S', L')J' \rangle|^2 \quad (3)$$

$$\beta[(S, L)J; (S', L')J'] = \frac{A[(S, L)J; (S', L')J']}{\sum_{S', L', J'} A[(S, L)J; (S', L')J']} \quad (4)$$

$$\tau_R = [\sum_{S', L', J'} A[(S, L)J; (S', L')J']]^{-1} \quad (5)$$

$$\frac{A_{em}}{A_{ESA}} = \frac{0,21\Omega_6}{0,11\Omega_2 + 0,063\Omega_4} \quad (6)$$

b. Desain

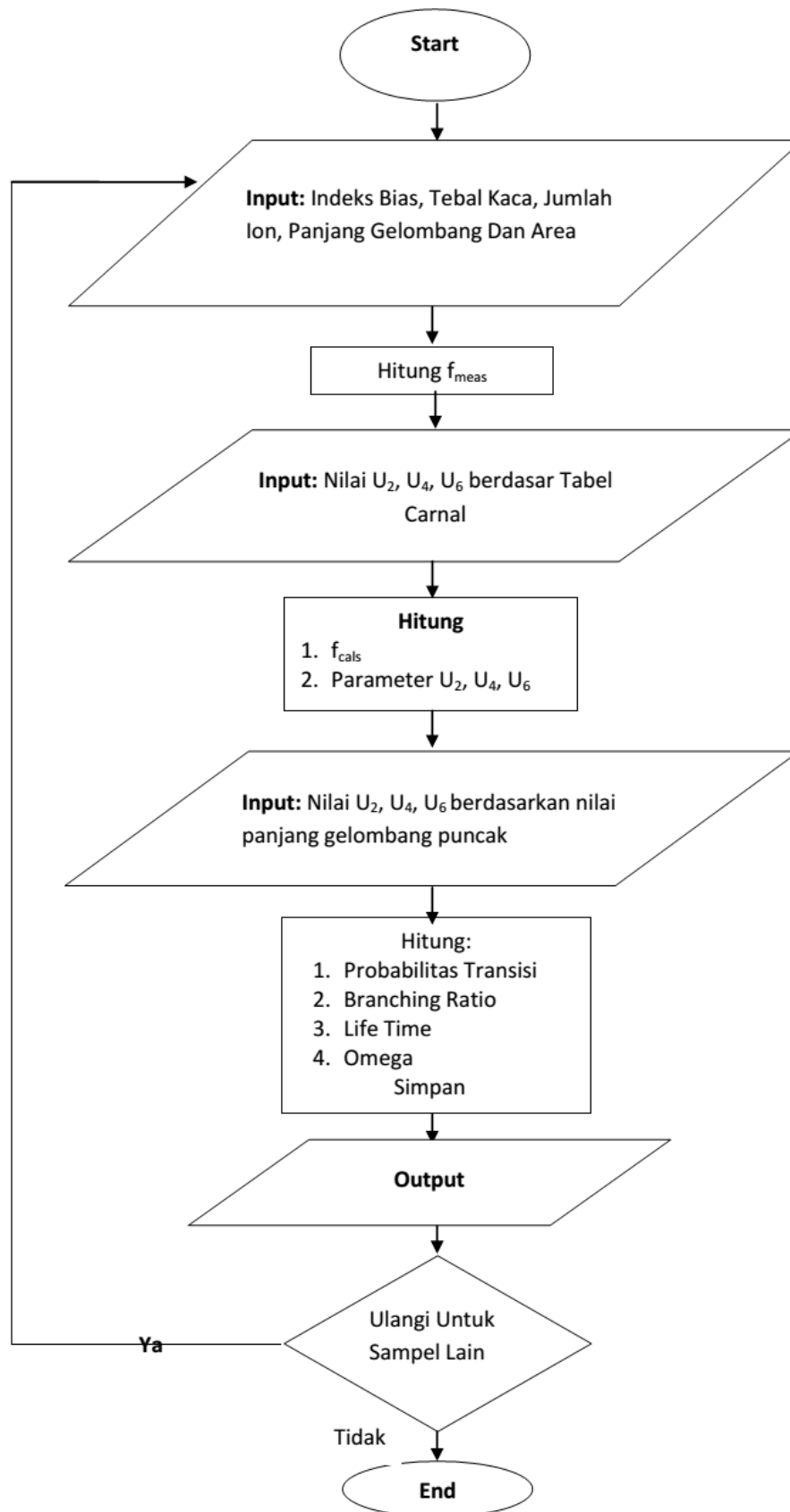
Pada tahap kedua desain penelitian dilakukan untuk pembuatan flow chart aplikasi yang dikembangkan, berdasarkan kajian pada tahapan pertama flow chart program dirancang seperti gambar 2.

c. Coding

Tahap pembangunan atau *coding* adalah tahap pembuatan aplikasi sesuai dengan flow chart. Pengembangan aplikasi dilakukan dengan GUI matlab dengan formula sesuai dengan metode judd ofelt. Hasil akhir dari tahap ini adalah sebuah aplikasi desktop .

d. Testing

Pengujian aplikasi menggunakan metode *black box* untuk mengetahui fungsionalitas aplikasi sesuai dengan tujuan pembuatan dan pengujian perbandingan dengan perhitungan manual. Dari tahap ini dapat diketahui fungsional aplikasi yang dibuat dan tingkat akurasi dibandingkan dengan perhitungan manual.



Gambar 2. Flowchart Aplikasi

III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Aplikasi dibuat berdasarkan perancangan flowchart gambar 2, terdiri dari input dan output aplikasi. Input berupa Indeks Bias, Tebal Kaca, Jumlah Ion, Panjang Gelombang dan Area. Input aplikasi disesuaikan dengan komposisi $55\text{TeO}_2-2\text{Bi}_2\text{O}_3-(43-x)\text{ZnO}-x\text{Er}_2$

O_3 (TZB:Er) dan hasil spektrum serapan pada daerah panjang gelombang 400 sampai 1100nm. Dari sampel kaca tersebut terdapat delapan puncak yaitu di sekitar panjang gelombang 408, 451, 489, 521, 544, 653, 799, 980 nm atau sama dengan level energy berikut $^4\text{H}_{9/2}$, $^4\text{F}_{5/2}$, $^4\text{F}_{7/2}$, $^4\text{H}_{11/2}$, $^4\text{S}_{3/2}$, $^4\text{F}_{9/2}$, $^4\text{I}_{9/2}$ dan $^4\text{I}_{11/2}$.



Gambar 3. Tampilan GUI Aplikasi

Tampilan antarmuka aplikasi disajikan dalam gambar 3. Tombol hitung 1 berfungsi melakukan perhitungan f_{meas} . Berikut adalah potongan listing program untuk tombol hitung 1.

```
function btn_hitung1_Callback(hObject, eventdata, handles)
    bias=handles.bias;
    tebal=handles.tebal;
    ion=handles.ion;
    lambda1=handles.lambda1;
    areal=handles.areal;
    depan=((3*(2.998*10^10)*(6.626*10^-27)*9*bias*2.3)/(8*(3.14^3)*((4.8*10^-10)^2)*ion*((bias^2+2)^2)));
    fmeas1=depan*(10/tebal)*((areal*10^-7)/(lambda1*10^-7));
    set(handles.edit20, 'string', fmeas1);
    save fmeas1
```

Input Nilai U2, U4, U6 berdasar [6] untuk

menjalankan fungsi tombol hitung 2 dan 3 yaitu Parameter $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$ dan f_{cals} . Berikut adalah potongan listing program untuk hitung tombol hitung 2 dan 3.

```
function btn_hitung2_Callback(hObject, eventdata, handles)
    projek=guidata(gcbo);
    u2a=handles.u2a;
    u4a=handles.u4a;
    xz1=u2a*u4a;
    u2b=handles.u2b;
    u4b=handles.u4b;
    xz2=u2b*u4b;
    u2c=handles.u2c;
    u4c=handles.u4c;
    xz3=u2c*u4c;
    u2d=handles.u2d;
    u4d=handles.u4d;
    xz4=u2d*u4d;
    u2e=handles.u2e;
    u4e=handles.u4e;
```

```

xz5=u2e*u4e;
u2f=handles.u2f;
u4f=handles.u4f;
xz6=u2f*u4f;
u2g=handles.u2g;
u4g=handles.u4g;
xz7=u2g*u4g;
u2h=handles.u2h;
u4h=handles.u4h;
xz8=u2h*u4h;
sumxz=xz1+xz2+xz3+xz4+xz5+xz6+xz7+xz8;
.....
D=(sumx2*sumz2*sumw2)+(sumxz*sumzw*sumxw)+(sumxw*sumxz*sumzw)-(sumxw*sumz2*sumxw)-(sumx2*sumzw*sumzw)-(sumxz*sumxz*sumw2);
Da=(sumxf*sumz2*sumw2)+(sumxz*sumzw*sumwf)+(sumxw*sumzf*sumzw)-(sumxw*sumz2*sumwf)-(sumxf*sumzw*sumzw)-(sumxz*sumzf*sumw2);
Db=(sumx2*sumzf*sumw2)+(sumxf*sumzw*sumxw)+(sumxw*sumxz*sumwf)-(sumxw*sumzf*sumxw)-(sumx2*sumzw*sumwf)-(sumxf*sumxz*sumw2);
Dc=(sumx2*sumz2*sumwf)+(sumxz*sumzf*sumxw)+(sumxf*sumzw*sumxz)-(sumxf*sumz2*sumxw)-(sumx2*sumzf*sumzw)-(sumxz*sumxz*sumwf);
omega2=(Da/D);
omega4=(Db/D);
omega6=(Dc/D);
set(handles.edit61,'string',omega2);
save omega2
set(handles.edit62,'string',omega4);
save omega4
set(handles.edit63,'string',omega6);
save omega6

function btn_hitung3_Callback(hObject, eventdata, handles)
projek=guidata(gcbo);

```

```

omeg2=str2num(get(handles.edit61,'string'));
handles.omeg2=omeg2;
omeg4=str2num(get(handles.edit62,'string'));
handles.omeg4=omeg4;
omeg6=str2num(get(handles.edit63,'string'));
handles.omeg6=omeg6;

u2a=handles.u2a;
u4a=handles.u4a;
u6a=handles.u6a;
fcalc1=((omeg2*u2a)+(omeg4*u4a)+(omeg6*u6a));
set(handles.edit52,'string',fcalc1);
save fcalc1

Hasil perhitungan pada hitung 1, 2, dan 3 serta Input Nilai U2, U4, dan U6 berdasarkan nilai panjang gelombang puncak untuk menjalankan fungsi tombol hitung 4 yaitu Probabilitas Transisi, Branching Ratio, Life Time, Omega4/Omega6 serta Aem/AESA. Berikut adalah potongan listing program untuk tombol hitung 4:
function btn_hitung4_Callback(hObject, eventdata, handles)
projek=guidata(gcbo);
bias=handles.bias;
omeg2=str2num(get(handles.edit61,'string'));
handles.omeg2=omeg2;
omeg4=str2num(get(handles.edit62,'string'));
handles.omeg4=omeg4;
omeg6=str2num(get(handles.edit63,'string'));
handles.omeg6=omeg6;

lambda980=handles.lambda980;
u2980=handles.u2980;
u4980=handles.u4980;
u6980=handles.u6980;

```

```
A980=(64*(3.14^4)*(4.8*4.8*10^-20)*b
ias*(bias^2+2)^2*((omeg2*u2980)+(ome
g4*u4980)+(omeg6*u6980)))/(3*6.626*1
0^-27*4*(lambda980*10^-7)^3*(9));
```

```
lambda1500=handles.lambda1500;
u21500=handles.u21500;
u41500=handles.u41500;
u61500=handles.u61500;
A1500=(64*(3.14^4)*(4.8*4.8*10^-20)*
bias*(bias^2+2)^2*((omeg2*u21500)+(o
meg4*u41500)+(omeg6*u61500)))/(3*6.6
26*10^-27*4*(lambda1500*10^-7)^3*(9)
);
```

```
AT=A980+A1500;
```

```
B980=A980/AT;
```

```
B1500=A1500/AT;
```

```
lifetime=(1/AT)*10^6;
```

```
Aem=(0.21*omeg6)/((0.11*omeg2)+(0.06
3*omeg4));
```

```
omega4per6=omeg4/omeg6;
```

```
set(handles.edit72, 'string', A980);
```

```
save A980
```

```
set(handles.edit73, 'string', A1500);
```

```
save A1500
```

```
set(handles.edit74, 'string', B980);
```

```
save B980
```

```
set(handles.edit75, 'string', B1500);
```

```
save B1500
```

```
set(handles.edit76, 'string', AT);
```

```
save AT
```

```
set(handles.edit77, 'string',
lifetime);
```

```
save lifetime
```

```
set(handles.edit78, 'string',
omega4per6);
```

```
save omega4per6
```

```
set(handles.edit79, 'string', Aem);
```

```
save Aem
```

Hasil pengujian dengan metode blackbox terhadap fungsionalitas tombol hitung 1, 2, 3, dan 4 disajikan dalam Tabel 1 dan Gambar 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi mampu bekerja sesuai fungsionalitasnya yaitu digunakan untuk menganalisis sifat lasing Erbium Doped Fiber Amplifier yang ditunjukkan dengan output aplikasi berupa (1) Parameter $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$, (2) Probabilitas Transisi, (3) Branching Ratio, (4) Life Time, (5) Ω_4/Ω_6 serta (6) $Aem/AESA$. Output aplikasi tersebut merupakan parameter yang digunakan untuk menganalisis sifat lasing dari Erbium Doped Fiber Amplifier. .



Gambar 4. Hasil pengujian black box

Tabel 1. Hasil pengujian dengan metode blackbox

No	Perlakuan	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Kesimpulan
1	Klik Tombol hitung 1 dan Input Indeks Bias, Tebal Kaca, Jumlah Ion, Panjang Gelombang Dan Area	Melakukan perhitungan fmeas dan menyajikan dalam kolom fmeas	Perhitungan fmeas tampil dalam kolom fmeas	Berhasil
2	Klik Tombol hitung 2 dan Input Nilai U ₂ , U ₄ , U ₆ berdasar Tabel Carnal	Melakukan perhitungan Parameter $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$ dan menyajikan dalam kolom	Perhitungan Parameter $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$ tampil dalam kolom $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$	Berhasil
3	Klik Tombol hitung 3 dan Input Nilai U ₂ , U ₄ , U ₆ berdasar Tabel Carnal	Melakukan perhitungan fcals dan menyajikan dalam kolom	Perhitungan fcals tampil dalam kolom fcals	Berhasil
4	Klik Tombol hitung 4 dan Input Nilai U ₂ , U ₄ , U ₆ berdasarkan nilai panjang gelombang puncak	Melakukan perhitungan Probabilitas Transisi, Branching Ratio, Life Time, Omega4/ Omega6 serta Aem/AESA dan menyajikan dalam kolom	Perhitungan Probabilitas Transisi, Branching Ratio, Life Time, Omega4/ Omega6 serta Aem/AESA tampil dalam masing masing kolom	Berhasil

Tabel 2. Hasil perhitungan manual dan aplikasi f_{means} (cm²)a. Komposisi 0,5 sampai 1,5 mol%Er₂O₃

Transisi ke-	Panjang Gelombang (m)	Er2O3 (%mol)								
		0.5			1.0			1.5		
		Manual	Aplikasi	Selisih	Manual	Aplikasi	Selisih	Manual	Aplikasi	Selisih
⁴ I _{11/2}	980	6.25495E-21	6.25476E-21	0.00019	1.51556E-20	1.51554E-20	0.00001	9.39689E-21	9.27744E-21	0.11945
⁴ I _{9/2}	799	2.53583E-21	2.53575E-21	0.00008	4.83330E-21	4.83324E-21	0.00006	3.08619E-21	3.04696E-21	0.03923
⁴ F _{9/2}	653	1.34267E-20	1.34263E-20	0.00004	3.18733E-20	3.18729E-20	0.00004	2.01632E-20	1.99069E-20	0.02563
⁴ S _{3/2}	544	1.41368E-21	1.41364E-21	0.00004	3.67228E-21	3.67223E-21	0.00005	2.34789E-21	2.31805E-21	0.02984
⁴ H _{11/2}	521	3.56755E-20	3.56744E-20	0.00011	9.17185E-20	9.17174E-20	0.00011	5.80360E-20	5.72983E-20	0.07377
⁴ F _{7/2}	489	5.04256E-21	5.04241E-21	0.00015	1.48613E-20	1.48611E-20	0.00002	1.00818E-20	9.95360E-21	0.01282
⁴ F _{5/2}	451	6.37949E-22	6.37930E-22	0.00019	2.65151E-21	2.65148E-21	0.00003	1.73882E-21	1.71671E-21	0.02211
² H _{9/2}	408	6.04738E-22	6.04720E-22	0.00018	1.39699E-21	1.39698E-21	0.00001	9.48829E-22	9.36768E-22	0.12061
rata-rata selisih				0.00012	0.00004			0.05543		

b. Komposisi 2,0 sampai 3,0 mol%Er₂O₃

Transisi ke-	Panjang Gelombang (nm)	Er ₂ O ₃ (%mol)								
		2.0			2.5			3.0		
		Manual	Aplikasi	Selisih	Manual	Aplikasi	Selisih	Manual	Aplikasi	Selisih
⁴ I _{11/2}	980	4.51701E-21	4.53251E-21	0.01550	1.1254E-20	1.12848E-20	0.00595	1.7302E-20	1.72811E-20	0.00206
⁴ I _{9/2}	799	1.33222E-21	1.33679E-21	0.00457	3.28210E-21	3.29099E-21	0.00890	5.3767E-21	5.37033E-21	0.00640
⁴ F _{9/2}	653	7.78001E-21	7.80671E-21	0.02670	1.8892E-20	1.89436E-20	0.00512	3.5281E-20	3.52391E-20	0.00420
⁴ S _{3/2}	544	8.45710E-22	8.48612E-22	0.02902	1.89230E-21	1.89743E-21	0.00513	3.4089E-21	3.40482E-21	0.04006
⁴ H _{11/2}	521	1.80301E-20	1.80919E-20	0.00618	3.798E-20	3.80832E-20	0.01027	6.2425E-20	6.23510E-20	0.00743
⁴ F _{7/2}	489	3.20185E-21	3.21284E-21	0.01099	7.39230E-21	7.41233E-21	0.02003	1.5173E-20	1.51552E-20	0.00180
⁴ F _{5/2}	451	5.88637E-22	5.90657E-22	0.02020	1.3066E-21	1.31015E-21	0.00354	2.6454E-21	2.64226E-21	0.00315
² H _{9/2}	408	4.34564E-22	4.36056E-22	0.01492	8.3522E-22	8.37479E-22	0.02263	1.4706E-21	1.46883E-21	0.00175
rata-rata selisih				0.01601					0.01020	0.00386

Hasil pengujian perbandingan hasil perhitungan manual dan aplikasi f_{means} (tombol hitung 1) disajikan dalam tabel 1a, 1b. Dari hasil perbandingan perhitungan dapat diketahui bahwa rata rata selisih terbesar adalah 5,543% pada komposisi 1,5 mol%Er₂O₃ sedangkan hasil rata rata selisih terkecil adalah 0,004% pada komposisi 1,0 mol%Er₂O₃ dengan rata-rata kesalahan relative adalah 1,2476%. Dari Hasil perhitungan manual dan aplikasi dapat disimpulkan bahwa aplikasi dapat digunakan untuk menganalisis sifat lasing.

IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian *black box* menunjukkan bahwa aplikasi mampu bekerja sesuai fungsionalitasnya yaitu digunakan untuk menganalisis sifat lasing Erbium Doped Fiber Amplifier yang ditunjukkan dengan output aplikasi berupa (1) Parameter $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$, (2) Probabilitas Transisi, (3) Branching Ratio, (4) Life Time, (5) Ω_4/Ω_6 , serta (6) Aem/AESA. Output aplikasi tersebut merupakan parameter yang digunakan untuk menganalisis sifat lasing dari Erbium Doped Fiber Amplifier. Dari hasil perbandingan perhitungan manual dan aplikasi dapat diketahui bahwa rata-rata kesalahan relative adalah 1,2476%. Dari Hasil pengujian dapat

disimpulkan bahwa aplikasi dapat digunakan untuk menganalisis sifat lasing.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada saudara Ike Yusliastuti yang telah membantu dan memberikan pencerahan dalam pembuatan aplikasi ini. Terima kasih juga kami ucapkan untuk Tim di LPPM STMIK Duta Bangsa Surakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Weber M. *Handbook of Optical Materials*. CRC Press: New York; 2002.
- [2] Ghoshal SK, Sahar MR, Rohani MS, dan Sharma S. Temperature dependent luminescence in erbium-doped zinc tellurite glass: A model investigation. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*. 2011; **49**: 509-515. Terdapat pada: <http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/12452/1/IJPAP%2049%288%29%20509-515.pdf>
- [3] Susanto R dan Marzuki A. Pengaruh Konsentrasi Ion Erbium pada Sifat Fisik dan Optik Kaca Telurium Oxide sebagai Bahan Penguat Optik. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika (JMPF)*. 2014; **4**(1). Terdapat pada: <http://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/fisika/article/view/5397/3813>

- [4] Sazali et al. *Journal of Non-Oxide Glasses*. 2014; **6**(4): 61 – 67.
- [5] Yuliasuti I, Rahmasari L, dan Riyatun. Pembuatan Aplikasi Program Matlab untuk Menganalisa Sifat Lasing Kaca TZBN Yang Didadah Ion Nd³⁺ sebagai Bahan Material Host Laser. *Jurnal Fisika Indonesia*. 2014; **18**(54): 97-102. Terdapat pada: <http://pdm-mipa.ugm.ac.id/ojs/index.php/jfi/article/view/896>
- [6] Sardar DK, et al. Judd–Ofelt analysis of the Er³⁺ (4f¹¹) absorption intensities in Er³⁺--doped garnets. *Journal of Applied Physics*. 2003; **93**(5). DOI: [10.1063/1.1543242](https://doi.org/10.1063/1.1543242)
- [7] Marzuki A. Laser Analysis of Nd³⁺ Ions in Fluoroaluminate Glasses. *Jurnal Matematika dan Sains*. 2007; **12**(1): 32-37. Terdapat pada: http://jms.fmipa.itb.ac.id/ojs_3.0.2/index.php/jms