

# Analisis Sifat Lasing Bahan *Optical Amplifier* untuk Sistem Komunikasi Optik Menggunakan Aplikasi berbasis MATLAB

Rudi Susanto<sup>1</sup>, Herliyani Hasanah<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Informatika, STMIK Duta Bangsa Surakarta

Email: rudist87@gmail<sup>1</sup>; herlydb@gmail.com<sup>2</sup>

Received August 9, 2017; Revised August 16, 2017; Accepted September 11, 2017

## Abstrak

Artikel ini berisi tahapan pembuatan aplikasi dengan GUI Matlab yang digunakan untuk menganalisis sifat lasing kaca tellurite yang didadad ion erbium dengan teori Judd Ofelt. Tahapan pembuatan aplikasi terdiri dari 1) analisis kebutuhan fungsional, 2) melakukan kajian formulasi model matematis judd ofelt, 3) membuat aplikasi perhitungan parameter judd ofelt dengan Matlab dan 4) Pengujian. Hasil pengujian menunjukkan rata rata error terbesar adalah 5,79% pada komposisi  $x=1,0$  sedangkan rata rata error terkecil adalah 0,17% dari hasil ini aplikasi yang dibuat dapat digunakan untuk menganalisis sifat lasing. Berdasarkan analisis parameter Judd Ofelt memiliki trend  $\Omega_2 > \Omega_6 > \Omega_4$  yang bersesuaian dengan komposisi lain yaitu TBZNbEr10, SALSFEr, LBTAFEr, TZN dan PKBAEr. Berdasarkan hal tersebut, kaca memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai penguat optik dalam sistem komunikasi optik .

**Kata kunci:** Aplikasi, Matlab, Judd Offelt

## *Analysis of the Laser Properties of Optical Amplifier Materials for Optical Communication Systems Using MATLAB-based Applications*

### Abstract

*This article contains the stages of making an application with a GUI Matlab that is used to analyze the lasing properties of tellurite glass doped by erbium ions with Judd Ofelt theory. The stages of making the application consist of 1) functional requirement analysis, 2) conducting the study of mathematical model formulation Judd Ofelt, 3) making application of Judd Ofelt parameter calculation with Matlab and 4) Testing. Test results showed the largest mean error was 5.79% in the composition  $x = 1.0$  while the smallest average error is 0.17% of the results of this application made can be used to analyze the lasing properties. Based on Judd Ofelt parameter analysis has a trend  $\Omega_2 > \Omega_6 > \Omega_4$  which corresponds to other compositions like TBZNbEr10, SALSFEr, LBTAFEr, TZN and PKBAEr. Based on this, glass has the potential to be developed as an optical amplifier in optical communication system*

**Keywords:** Applications, Matlab, Judd Offelt

**DOI :** 10.25273/jpfk.v3i2.1524

## PENDAHULUAN

Pada sistem komunikasi optik jarak transmisi dibatasi oleh adanya rugi-rugi transmisi, yang disebabkan oleh kehilangan daya karena faktor dispersi dan *losses*. Untuk itu, teknologi penguat optik mempunyai peranan penting dalam sistem komunikasi optik untuk khususnya dalam transmisi jarak jauh. Penguat

optik yang bekerja pada panjang gelombang 1500 nm telah sukses ditemukan yaitu EDFA (*Erbium Doped Fibre Amplifier*). EDFA merupakan salah satu jenis dari penguat optik, dengan menggunakan EDFA akan diperoleh pembangkitan sinyal dengan faktor penguatan yang lebih besar dan dapat membawa data dengan kecepatan bit yang lebih tinggi

dibanding penguat elektronik (Baharuddin, 2008)

Parameter utama dalam mendesain EDFA adalah bahan serat optik, karakteristik serat *waveguide*, profil konsentrasi ion erbium (Samijayani dkk, 2008). Erbium merupakan Ion tanah jarang dapat dengan mudah bergabung dalam beberapa material *host* kaca seperti silika, borat, pospat, germanium dan tellurite. Kaca berbasis tellurite banyak digunakan sebagai bahan utama karena mampu menghasilkan sifat optik dan dielektrik yang sangat baik. Telah diketahui bahwa kaca berbasis tellurite memiliki karakteristik untuk dijadikan kaca berkualitas tinggi, pita transmisi yang lebar, saklar optik yang cepat, sifat optik linier dan nonlinier yang sangat baik, dan serat optik yang luar biasa untuk sistem komunikasi optik (Noorazlan, 2015).

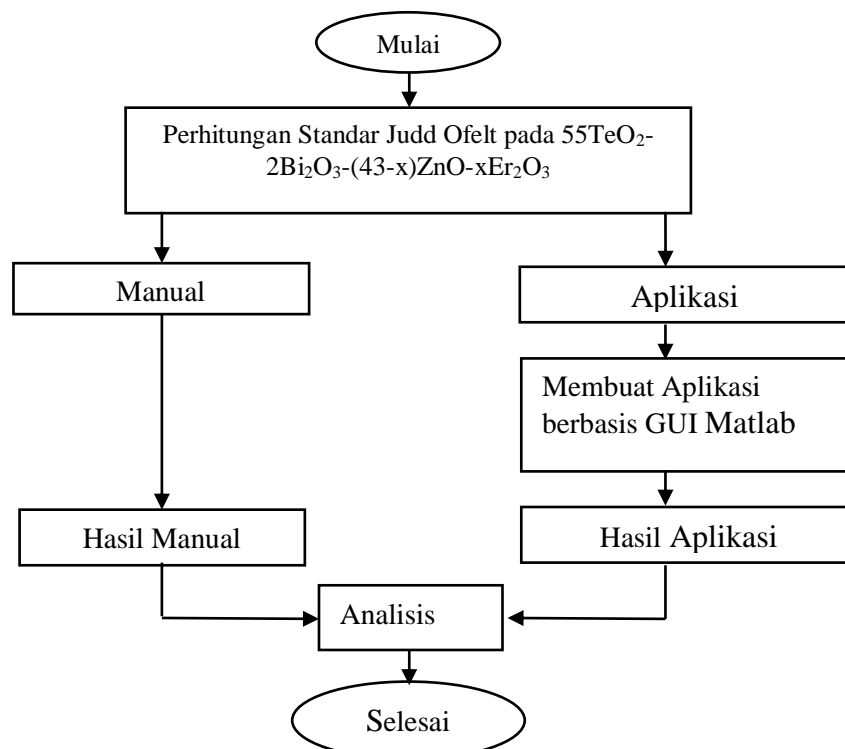
Kaca berbahan utama tellurite telah dibuat dengan komposisi  $55\text{TeO}_2-2\text{Bi}_2\text{O}_3-(43-x)\text{ZnO}-x\text{Er}_2\text{O}_3$  dengan nilai  $x$  adalah 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 dan 3,0 (Susanto, 2014). Diperlukan karakterisasi dan analisis untuk mengetahui kualitas kaca yang telah dihasilkan. Beberapa karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan sifat optik. Sifat fisik seperti indeks kerapatan sedangkan sifat optik yang diukur diantaranya adalah reflektansi, indeks bias dan absorbansi. Karakterisasi reflektansi dan indeks bias menggunakan metode sudut Brewster.

Karakterisasi absorbansi dilakukan dengan spektrofotometer UV/Vis pada rentang panjang gelombang 400 nm sampai 1100nm untuk mengetahui serapan optis kaca tersebut. Untuk analisis menggunakan teori Judd-Ofelt yang sangat penting untuk memperkirakan luminescence dan efisiensi bahan laser (Noorazlan, 2015) (Marzuki, 2007).

Teori Judd Ofelt digunakan untuk menghitung probabilitas transisi radiatif dan radiatif lifetime suatu keadaan tereksitasi, serta cross section emisi terangsang dari ion tanah jarang (Sazali et al. 2014). Proses perhitungan dalam menganalisis dapat dilakukan dengan manual dengan bantuan excel ataupun dengan mengembangkan aplikasi (Yuliasuti dkk, 2014) Dalam artikel ini disajikan analisis Judd Ofelt dengan aplikasi yang dikembangkan berbasis GUI Matlab.

## METODE

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis komposisi  $55\text{TeO}_2-2\text{Bi}_2\text{O}_3-(43-x)\text{ZnO}-x\text{Er}_2\text{O}_3$  dimana ( $x=0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$ ). Analisis dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai parameter-parameter yang bertanggung jawab terhadap kualitas EDFA sebagai aplikasi penguat optik. Teori yang digunakan dalam menganalisis menggunakan standar Judd Ofelt.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

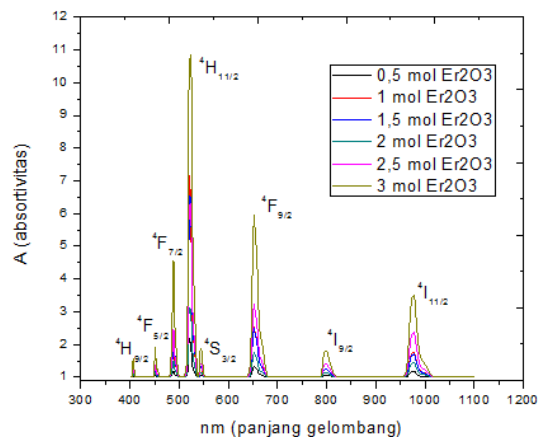
Diagram alir penelitian disajikan dalam Gambar 1. Perhitungan Manual menggunakan bantuan software excel, Perhitungan aplikasi dibangun dengan software Matlab R2009a. Tahapan pembuatan aplikasi dibagi menjadi empat tahap pelaksanaan yaitu 1) analisis kebutuhan fungsional, 2) melakukan kajian formulasi model matematis judd ofelt, 3) membuat aplikasi perhitungan parameter judd ofelt dengan Matlab dan 4) Melakukan pengujian.

Kegiatan Pertama meliputi analisis kebutuhan input dan output aplikasi. Kegiatan kedua ditujukan untuk mengkaji formulasi model matematis yang akan digunakan dalam pembuatan aplikasi menggunakan GUI matlab. Model matematis yang akan digunakan dalam penelitian ini akan ditentukan dengan metode Judd Offelt. Dari tahapan ini dihasilkan script sesuai dengan bahasa pemrograman matlab. Pada tahap ketiga, penelitian dilakukan untuk pembuatan aplikasi berbasis GUI Matlab. Input aplikasi berupa nilai Indeks bias, tebal kaca, jumlah ion erbium, panjang gelombang dan area berdasarkan hasil karakterisasi serta Nilai U<sub>2</sub>, U<sub>4</sub>, U<sub>6</sub>, di peroleh dari Tabel Karnal. Tahap keempat adalah pengujian aplikasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil aplikasi dengan hasil perhitungan manual untuk melihat kesesuaian hasil.

Analisis sifat lasing dari kaca yang parameter judd ofelt nya telah didapatkan dari hasil aplikasi dan manual. Dari tahap ini dapat diketahui kualitas sifat lasing dari sampel dengan komposisi 55TeO<sub>2</sub>-2Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(43-x)ZnO-xEr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kebutuhan fungsional aplikasi didasarkan pada standar Judd Ofelt dan hasil karakterisasi kaca pada komposisi 55TeO<sub>2</sub>-2Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(43-x)ZnO-xEr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Gambar 2 merupakan hasil karakteristik UV/Vis yang menunjukkan terdapat delapan puncak yaitu sekitar panjang gelombang 408, 451, 489, 521, 544, 653, 799, 980 nm yang sama dengan level energi 4H<sub>9/2</sub>, 4F<sub>5/2</sub>, 4F<sub>7/2</sub>, 4H<sub>11/2</sub>, 4S<sub>3/2</sub>, 4F<sub>9/2</sub>, 4I<sub>9/2</sub>, dan 4I<sub>11/2</sub>. Hasil temuan puncak tersebut sama dengan penelitian lain (Sazali et al, 2014) (Pradeesh et al, 2008) yang akan dijadikan input aplikasi. Tabel 1 menunjukkan panjang gelombang setiap komposisi yang didapatkan dari Gambar 1 dengan pengolahan menggunakan software origin.



Gambar 2. Hasil karakteristik UV/Vis pada komposisi 55TeO<sub>2</sub>-2Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(43-x)ZnO-xEr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Tabel 1. Panjang gelombang setiap komposisi (nm)

Tingkat Energi	Panjang gelombang komposisi 55TeO <sub>2</sub> -2Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(43-x)ZnO-xEr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
	x=0,5	x=1,0	x=1,5	x=2,0	x=2,5	x=3,0
4I <sub>11/2</sub>	976.9	977.7	977.9	977.6	977.5	977.7
4I <sub>9/2</sub>	799.2	798.6	798.8	798.6	798.9	798.5
4F <sub>9/2</sub>	652.7	652.7	652.7	652.5	652.7	652.7
4S <sub>3/2</sub>	543.7	543.8	544.2	544.1	543.9	543.9
4H <sub>11/2</sub>	521.1	521.1	522	521.6	522.6	522.7
4F <sub>7/2</sub>	488.6	488.6	489.2	488.6	488.6	488.6
4F <sub>5/2</sub>	451	451	451.7	451.1	451.1	451.2
4H <sub>9/2</sub>	407.2	407.2	407.6	407.1	407.1	407.1

Puncak serapan transisi  ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^2H_{11/2}$  menunjukkan intensitas tertinggi di antara semua sampel kaca. Selanjutnya, peningkatan konsentrasi ion  $Er^{3+}$  meningkatkan intensitas absorbansi disertai pergeseran puncak menuju panjang gelombang yang lebih pendek yang dianggap berasal dari penataan ulang struktur pada kaca (Sazali et al, 2014).

Studi terperinci mengenai parameter Judd Ofelt ( $\Omega_{2,4,6}$ ) penting untuk menyelidiki struktur lokal, ikatan di sekitar dan sifat transisi ion tanah jarang. Berdasarkan (Marzuki, 2007) (Sardar et al, 2003) kekuatan osilator eksperimental ( $f_{meas}$ ) untuk transisi yang berbeda diperoleh dari spektrum penyerapan dengan menggunakan persamaan 1.

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

Dimana  $J$  dan  $J'$  adalah merupakan momentum sudut total bilangan kuantum dari keadaan awal dan akhir,  $\bar{\lambda}$  adalah panjang gelombang rata-rata pita absorpsi,  $n$  adalah indeks bias kaca pada  $\bar{\lambda}$ ,  $c$  adalah kecepatan cahaya,  $e$  adalah muatan elektron,  $N$  adalah konsentrasi ion  $Er^{3+}$ ,  $h$  adalah konstanta Plank,  $OD$  adalah densitas optik yang ditentukan dengan persamaan 2 (Marzuki, 2007) dengan  $I_b(\lambda)$  dan  $I_s(\lambda)$  adalah intensitas absorpsi. Data Nilai indeks bias, konsentrasi ion  $Er^{3+}$  dan Tebal bahan sebagai input aplikasi sesuai persamaan 1 disajikan dalam Tabel 2.

$$OD(\lambda) = \log \frac{I_b(\lambda)}{I_s(\lambda)} \quad (2)$$

Tabel 2. Nilai indeks bias dan konsentrasi ion  $Er^{3+}$

Komposisi	Indeks bias	Jumlah Ion	Tebal (cm)
0,5 mol $Er_2O_3$	1.9013	3.60E+20	0.189
1 mol $Er_2O_3$	1.9240	7.13E+20	0.191
1,5 mol $Er_2O_3$	1.9500	1.06E+21	0.191
2 mol $Er_2O_3$	1.9600	1.39E+21	0.189
2,5 mol $Er_2O_3$	1.9833	1.72E+21	0.186
3 mol $Er_2O_3$	1.9533	2.05E+21	0.192

Tabel 3. Nilai densitas optik

Tingkat Energi	Densitas optik komposisi $55TeO_2-2Bi_2O_3-(43-x)ZnO-xEr_2O_3$					
	x=0,5	x=1,0	x=1,5	x=2,0	x=2,5	x=3,0
4I11/2	3.19333	15.77082	14.67048	9.37499	28.97796	53.26056
4I9/2	1.05912	4.10818	3.93574	2.25872	6.9068	13.51777
4F9/2	4.57985	22.142	21.01057	10.77754	32.48131	72.50492
4S3/2	0.40168	2.12545	2.03987	0.97692	2.71108	5.83771
4H11/2	9.71541	50.86913	48.36531	19.96612	52.28317	102.7366
4F7/2	1.28758	7.72834	7.87387	3.32134	9.51408	23.34227
4F5/2	0.15036	1.27276	1.25392	0.56374	1.55258	3.75815
4H9/2	0.12869	0.60545	0.61743	0.37559	0.89564	1.88496

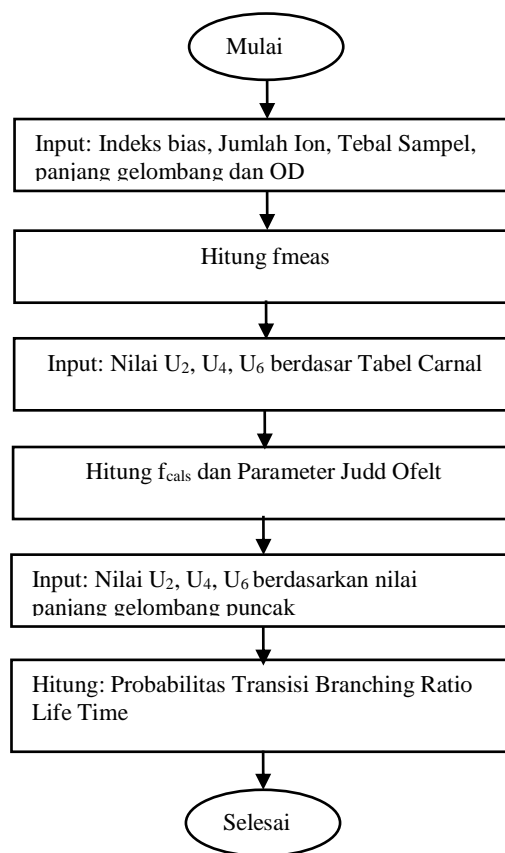
Kekuatan osilator yang dihitung ( $f_{calc}$ ) persamaan 3 ditentukan oleh isolasi kedua dipol listrik dan kontribusi magnetik-dipol dari hasil

$$f_{calc}(J \rightarrow J') = \sum_{t=2,4,6} \Omega_t | \langle (S, L)J || U^{(t)} || (S', L)J' \rangle |^2 \quad (3)$$

Dimana  $| \langle (S, L)J \rangle$  adalah transisi dari keadaan awal dan keadaan akhir  $| \langle (S', L)J' \rangle$  sedangkan nilai  $U^{(t)}$  adalah elemen matriks kuadrat dikurangi dari operator tensor unit. Nilai  $\Omega_t$  (Carnall et al .1978) disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Nilai  $U^{(e)}$

Tingkat Energi	$[U(2)]^2$	$[U(4)]^2$	$[U(6)]^2$
4I11/2	0.0463	0.0017	0.2426
4I9/2	0	0.1201	0.0969
4F9/2	0	0.0867	0.0142
4S3/2	0	0	0.0035
4H11/2	0.101	0	1.1445
4F7/2	0	0.1465	0.6272
4F5/2	0	0	0.2221
4H9/2	0	0.7139	0.0822



Gambar 3. Diagram Alir Aplikasi

Berdasarkan analisis tersebut di atas selanjutnya dibuat diagram alir aplikasi, seperti disajikan dalam Gambar 3. Dalam diagram alir tersebut input aplikasi disesuaikan dengan formula 1 dan 3 yaitu indeks bias, tebal kaca, jumlah ion, panjang gelombang, densitas optik dan  $U_2$ ,  $U_4$ ,  $U_6$ . Sedangkan output aplikasi adalah  $f_{meas}$ ,  $f_{calc}$ , Parameter Judd Ofelt.

Gambar 4 merupakan hasil aplikasi yang dibuat berdasarkan diagram alir, aplikasi dibuat dengan GUI Matlab R2009a. Berikut adalah potongan listing code untuk  $f_{meas}$ ,  $f_{calc}$ , dan Parameter Judd Ofelt.

```

bias=handles.bias;
tebal=handles.tebal;
ion=handles.ion;
lambda2=handles.lambda2;
area2=handles.area2;
    
```

```
fmeas2=((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))*(((2*9/2)+1)/tebal)*((area2*10^-7)/(lambda2*10^-7));
set(handles.edit21, 'string', fmeas2);
save fmeas2
```

```
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

u2b=handles.u2b;
u4b=handles.u4b;
u6b=handles.u6b;
fcalc2=((omega2*u2b)+(omega4*u4b)+(omega6*u6b));
set(handles.edit53, 'string', fcalc2);
save fcalc2
```



Gambar 4. Hasil aplikasi

Tabel 5. Data hasil perhitungan  $f_{meas}$  manual dan aplikasi ( $10^{-2}$  cm)

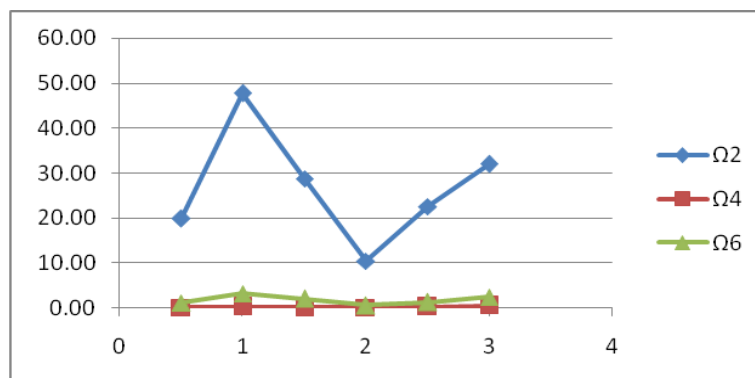
Tingkat Energi	x=0,5			x=1,0			x=1,5		
	Manual	Aplikasi	error	Manual	Aplikasi	error	Manual	Aplikasi	error
4I11/2	0.630	0.630	0.000	1.520	1.520	0.000	0.940	0.928	0.012
4I9/2	0.250	0.254	0.004	0.480	0.025	0.455	0.310	0.305	0.005
4F9/2	1.340	1.340	0.000	3.190	3.190	0.000	2.020	1.990	0.030
4S3/2	0.140	0.141	0.001	0.370	0.367	0.003	0.230	0.232	0.002

4H11/2	3.570	3.570	0.000	9.170	9.170	0.000	5.800	5.730	0.070	
4F7/2	0.500	0.504	0.004	1.490	1.490	0.000	1.000	0.995	0.005	
4F5/2	0.060	0.064	0.004	0.260	0.265	0.005	0.170	0.172	0.002	
4H9/2	0.060	0.061	0.001	0.140	0.140	0.000	0.090	0.094	0.004	
Error rata rata			0.0017	Error rata rata			0.0579	Error rata rata		
<b>Tingkat Energi</b>	<b>x=2,0</b>			<b>x=2,5</b>			<b>x=3,0</b>			
	<b>Manual</b>	<b>Aplikasi</b>	<b>error</b>	<b>Manual</b>	<b>Aplikasi</b>	<b>error</b>	<b>Manual</b>	<b>Aplikasi</b>	<b>error</b>	
4I11/2	0.250	0.453	0.203	1.130	1.130	0.000	1.730	1.730	0.000	
4I9/2	0.130	0.134	0.004	0.330	0.329	0.001	0.540	0.537	0.003	
4F9/2	0.780	0.781	0.001	1.890	1.890	0.000	3.530	3.520	0.010	
4S3/2	0.080	0.085	0.005	0.190	0.190	0.000	0.340	0.340	0.000	
4H11/2	1.800	1.810	0.010	3.800	3.810	0.010	6.240	6.240	0.000	
4F7/2	0.320	0.321	0.001	0.740	0.741	0.001	1.520	1.520	0.000	
4F5/2	0.060	0.059	0.001	0.130	0.131	0.001	0.260	0.264	0.004	
4H9/2	0.040	0.044	0.004	0.080	0.084	0.004	0.150	0.147	0.003	
Error rata rata			0.0286	Error rata rata			0.0021	Error rata rata		

Hasil perbandingan aplikasi dan manual disajikan dalam Tabel 5. Dari hasil perbandingan rata rata error terbesar adalah 5,79% pada komposisi  $x=1,0$  sedangkan rata rata error terkecil adalah 0,17% dari hasil ini aplikasi yang dibuat dapat digunakan untuk menganalisis sifat lasing.

Hasil perhitungan aplikasi terkait dengan parameter Judd Ofelt di sajikan dalam Tabel 6. Ilustrasi nilai  $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$  disajikan dalam Gambar

5. Trend nilai hasil perhitungan menunjukkan  $\Omega_2 > \Omega_6 > \Omega_4$ , nilai hasil perhitungan ini sesuai dengan (Seshadri et al, 2014) pada kaca TBZNbEr10, SALSFEr, LBTAFEr, TZN dan PKBAEr. Kesesuaian hasil dan trend nilai parameter Judd Ofelt ini menunjukkan bahwa sampel memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai penguat optik dalam sistem komunikasi optik.



Gambar 5. Grafik nilai  $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$

Tabel 6. Hasil perhitunga parameter Judd Ofelt dengan aplikasi (x 10-20 cm<sup>2</sup>)

Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mol%)	$\Omega_2$	$\Omega_4$	$\Omega_6$
x=0,5	26.90	0.26	0.74
x=1,0	65.80	0.52	2.20
x=1,5	40.50	0.33	1.49
x=2,0	12.40	0.15	0.47
x=2,5	25.10	0.34	1.09
x=3,0	36.30	0.59	2.24

## KESIMPULAN

Hasil perhitungan aplikasi GUI Matlab memiliki error rata-rata terbesar 5,79% terhadap perhitungan manual. Berdasarkan analisis parameter Judd Ofelt memiliki trend  $\Omega_2 > \Omega_6 > \Omega_4$  yang bersesuaian dengan komposisi lain yaitu TBZNbEr10, SALSFEr, LBTAFEr, TZN dan PKBAEr. Berdasarkan hal tersebut, kaca dengan komposisi  $55\text{TeO}_2\text{-}2\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-(}43\text{-x)ZnO-xEr}_2\text{O}_3$  dimana (x=0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0) memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai penguat optik dalam sistem komunikasi optik.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baharuddin. (2008). Evaluasi Penerapan Penguat Optik EDFA – Raman Pada Sistem Komunikasi Fiber Optik. *Jurnal Teknik* No. 29 Vol. 2 Thn. XV April 2008 ISSN: 0854-8471
- Carnall et al. (1978). *Energy level structure and transition probabilities in the spectra of the trivalent lanthanides in LaF3*. Argonne National Lab., IL
- Marzuki, A. (2009). Laser analysis of Nd<sup>3+</sup> ions in fluoroaluminate glasses. *Jurnal Matematika & Sains*, 12(1), 32-37.
- Noorazlan, A. M. et al. (2015). Green Emission of Tellurite Based Glass Containing Erbium Oxide Nanoparticles. *Journal of Nanomaterials* Volume 2015

- Pradeesh, K., Oton, C. J., Agotiya, V. K., Raghavendra, M., & Prakash, G. V. (2008). Optical properties of Er<sup>3+</sup> doped alkali chlorophosphate glasses for optical amplifiers. *Optical materials*, 31(2), 155-160.
- Samijayani, O. N., & Syahriar, A. (2008). Aplikasi In-line Amplifier EDFA Pada Sistem Transmisi Panjang Gelombang Tunggal dan Transmisi Berbasis WDM. *Konferensi dan Temu Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi untuk Indonesia*, 21-23.
- Sardar, D. K., Gruber, J. B., Zandi, B., Hutchinson, J. A., & Trussell, C. W. (2003). Judd–Ofelt analysis of the Er<sup>3+</sup>(4f<sup>11</sup>) absorption intensities in phosphate glass: Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>. *Journal of applied physics*, 93(4), 2041-2046.
- Sazali, E. S., Sahar, R., Ghoshal, S. K., Rohani, S., & Arifin, R. (2014). JUDD-OFELT INTENSITY PARAMETERS OF ERBIUM DOPED LEAD TELLURITE GLASS. *Journal of Non-Oxide Glasses* Vol, 6(4), 61-67.
- Seshadri et al. 2014. Optical characterization, infrared emission and visible up-conversion in Er<sup>3+</sup> doped tellurite glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids* 402 (2014) 141–148
- Susanto, R., & Marzuki, A. (2014). Pengaruh Konsentrasi Ion Erbium pada Sifat Fisik dan Optik Kaca Telurium Oxide sebagai Bahan Penguat Optik. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*, 4(1).
- Yuliasuti, I., & Rahmasari, L. (2015). Pembuatan Aplikasi Program Matlab untuk Menganalisa Sifat Lasing Kaca TZBN Yang Didadah Ion Nd<sup>3+</sup> sebagai Bahan Material Host Laser (Halaman 97 sd 102). *Jurnal Fisika Indonesia*, 18(54).