

Pembuatan Aplikasi Program Matlab untuk Menganalisa Sifat Lasing Kaca TZBN Yang Didadah Ion Nd³⁺ sebagai Bahan Material Host Laser

Ike Yuliasuti¹, Lita Rahmasari², Riyatun¹

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret

²Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret
iche.chewy@yahoo.com

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk membuat aplikasi program berbasis Matlab. Program Matlab ini digunakan untuk menganalisa sifat lasing kaca TZBN yang didadah ion Nd³⁺, dengan komposisi 60TeO₂-(35-x)ZnO-2Bi₂O₃-3Na₂O-xNd₂O₃ (x = 0,5; 1; 1,5; 2 mol%). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan matematis dan analisis numerik. Program berbasis Matlab ini digunakan untuk menghitung parameter – parameter Judd Ofelt yang meliputi peluang transisi radiatif, peluang transisi radiatif total, radiatif lifetime dan branching ratio. Analisis perhitungan parameter – parameter Judd Ofelt menunjukkan kesalahan relatif rata-rata 1,156% terhadap perhitungan manual, sehingga program ini dapat digunakan untuk menganalisa sifat lasing kaca TZBN:Nd. Sifat lasing kaca TZBN:Nd yang ditunjukkan dari nilai probabilitas transisi dan branching ratio yang tertinggi pada level ⁴F_{3/2} → ⁴I_{11/2} dan tertinggi pada sampel K3 (x=0,5 mol%). Terdapat transisi dari level ⁴F_{3/2} → ⁴I_{15/2} yang bersesuaian dengan panjang gelombang 1380nm sehingga sampel kaca ini dapat digunakan sebagai material host laser pada jendela 1300 nm.

Kata kunci: Parameter – parameter Judd Ofelt, Microsoft Excel, Software Matlab, dan kaca TZBN: Nd

Abstract – This research aims to create an application based on Matlab program. This program was used to analyze the lasing properties of the glass TZBN doped Nd³⁺ ions, the composition of this glass were 60TeO₂ - (35 - x) ZnO - 2Bi₂O₃ - 3Na₂O - xNd₂O₃ with variations x = 0.5, 1, 1.5, 2 mol %. The method in this study was a combination between mathematical modeling and numerical analysis. This program was used to calculate the Judd Ofelt parameters, such as radiative transition probabilities, the total radiative transition probabilities, radiative lifetime, and branching ratio. From the calculation Judd Ofelt parameters showed the averaged relative error were 1,156% to manual calculation, so this program can be used to analyze the lasing properties of glass TZBN : Nd. The lasing properties of glass TZBN : Nd were showed from radiative transition probabilities and branching ratio that higher in ⁴F_{3/2} → ⁴I_{11/2} level and the higher composition was sample K3(x=0,5 mol%). There was transition in level ⁴F_{3/2} → ⁴I_{15/2} at 1380nm so this glass can be used to host laser material in 1300 nm window.

Key words: Judd Ofelt parameters, Microsoft Excel, Matlab software, and TZBN: Nd glass

I. PENDAHULUAN

Penguat optik yang bekerja pada panjang gelombang 1500 nm telah sukses ditemukan yaitu EDFA (*Erbium Doped Fibre Amplifier*), sedangkan penguat optik pada panjang gelombang 1300 nm masih terus dikembangkan. Penelitian terhadap kaca *tellurite* telah banyak dilakukan untuk mencari peluang pemanfaatan kaca *tellurite* sebagai penguat optik yang bekerja pada panjang gelombang 1300 nm. Kaca *tellurite* yang didadah dengan Nd³⁺ merupakan material yang menjanjikan untuk pembuatan laser dan *operating amplifier* pada rentang 1,3 μm [4]. Kaca *tellurite* yang di didadah ion tanah jarang Nd³⁺ memiliki indeks bias kaca yang meningkat dari 1,94 sampai dengan 2,22 seiring kenaikan konsentrasi Nd₂O₃ pada material *host* TeO₂[6]

Kaca TZBN yang didadah ion Nd³⁺ telah difabrikasi pada penelitian sebelumnya. Pada penelitian kali ini karakteristik kaca TZBN yang didadah ion Nd³⁺ dianalisis dengan menggunakan teori *Judd Ofelt*. Analisis ini diperlukan untuk mengetahui sifat lasing dari kaca

TZBN:Nd 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.

Analisis *Judd Ofelt* dilakukan secara manual yakni dengan perhitungan dengan menggunakan Ms. Excel, perhitungan dengan menggunakan Ms.Excel memberikan hasil yang cukup baik. Namun perhitungan secara manual ini masih sulit digunakan untuk pengguna baru karena harus mengubah beberapa variabel didalam rumus perhitungan. Oleh karena itu dikembangkan pemrograman berbasis Matlab untuk analisa *Judd Ofelt* sehingga pengguna akan lebih mudah karena hanya memasukkan beberapa variabel sifat optik dari sampel untuk menghitung *parameter Judd Ofelt*. Pemrograman Matlab yang digunakan dibuat menggunakan aplikasi GUI (*Graphic User Interface*). Tujuan dari penelitian ini adalah membuat program analisa *Judd Ofelt* berbasis Matlab untuk menentukan sifat lasing kaca TZBN:Nd.

II. LANDASAN TEORI

A. Teori Judd Ofelt

Teori *Judd Ofelt* digunakan untuk menghitung probabilitas emisi spontan dan probabilitas emisi terangsang dari ion tanah jarang. Analisis ini berkaitan dengan transisi optik antara keadaan elektronik yaitu dipol listrik, dipol magnetik dan quadropol listrik. Transisi yang dominan adalah transisi dipol listrik, sedangkan transisi dipol magnetik dan quadropol listrik memberikan kontribusi yang relatif kecil. Oleh karena itu, transisi dipol listrik digunakan dalam analisis seluruhnya [5].

Dengan menggunakan teori *Judd Ofelt* besarnya probabilitas transisi spontan (A) dari transisi dipol listrik dari J' manipol $|(S',L')J'$ ke terminal manipol $|(S,L)J$ pada ion tanah jarang dinyatakan dengan persamaan (1)[3].

$$A^{ED}(SLJ, S'L'J') = \frac{64\pi^4 \bar{\nu}^3 e^2}{3(2J+1)hc^3} n X_{ED} S_{ED}(SLJ, S''L'J') \quad (1)$$

di mana e adalah muatan elektron, S, L, J merupakan keadaan awal dan S', L', J' merupakan keadaan akhir yang mana menggambarkan spin, momentum sudut dan momentum sudut total. $\bar{\nu}$ adalah frekuensi rata-rata transisi dan n adalah indeks bias. Parameter $X_{ED} = \frac{(n^2+2)^2}{9}$ adalah faktor koreksi medan lokal dan S_{ED} adalah *line strength* dipol listrik.

Line strength dipol listrik (S_{ED}) menyatakan transisi antara dua *eigenstate* ion dalam teori *Judd Ofelt*. *Line strength* antara keadaan awal J dikarakteristikan dengan (S, L, J) dan keadaan akhir diberikan dengan (S', L', J') dan dapat dituliskan dalam persamaan (2).

$$S_{ED}(SLJ, S'L'J') = \sum_{t=2,4,6} \Omega_t |\langle f_Y^N S'L'J' | U^{(t)} | f_Y^N SLJ \rangle|^2 \quad (2)$$

di mana $\Omega_t (t = 2, 4, 6)$ adalah parameter *Judd Ofelt* dan $U^{(t)} (t = 2, 4, 6)$ adalah elemen matriks direduksi secara dobel dan hanya bergantung pada mementum anguler. Komponen operator tensor tereduksi $U^{(t)} (t = 2, 4, 6)$ tidak bergantung pada material *host*, nilainya dapat dijumpai pada beberapa referensi. Parameter $\Omega_t (t = 2, 4, 6)$ ditentukan secara eksperimen dengan menghitung *line strength* pada hasil pengukuran pita serapan dengan menggunakan fitting kuadrat terkecil.

Pengukuran *line strength* dari teori di atas dibandingkan dengan nilai yang diturunkan dari data eksperimen $f_{meas}(J \rightarrow J')$ yang dengan persamaan (3) yaitu :

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

di mana J dan J' adalah bilangan kuantum momentum sudut total pada keadaan awal dan akhir, $\bar{\lambda}$ adalah panjang gelombang rata-rata dari pita absorpsi, n adalah indeks bias pada kaca $\bar{\lambda}$, c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s), e adalah muatan elektron, h adalah konstanta Planck dan N adalah konsentrasi ion Nd³⁺ serta OD adalah *optical density* sebagai fungsi panjang gelombang [5].

Setelah diketahui nilai parameter $JO (\Omega_t)$ maka dapat ditentukan nilai probabilitas transisi dan waktu hidup radiatif pada keadaan tereksitasi. Jika a merupakan keadaan tereksitasi dan peluruhan hanya terjadi karena emisi foton, maka dapat diamati kecepatan relaksasi yaitu penjumlahan probabilitas transisi (A) untuk semua keadaan akhir yang mungkin pada keadaan akhir f . Radiatif *lifetime* dapat dinyatakan dengan persamaan (4)[2]:

$$\frac{1}{\tau_a} = \sum_f A_{a,f} \quad (4)$$

Radiatif *lifetime* pada transisi dipol listrik mendekati 10^{-8} s. Jika a adalah keadaan tereksitasi dan b dan c adalah keadaan dibawahnya maka *branching ratio* ($\beta_{a,b}$) untuk transisi $a \rightarrow b$ adalah fraksi dari semua proses peluruhan spontan dan dinyatakan dengan persamaan berikut ini [2]:

$$\beta_{a,b} = \frac{A_{a,b}}{\sum_c A_{a,c}} = A_{a,b} \tau_a \quad (5)$$

B. Serapan Keadaan Tereksitasi (Excited Stated Absorption/ESA)

Ion tanah jarang pada keadaan metamantap akan mengalami dua transisi utama yaitu tereksitasi ke level dibawahnya atau terserap ke keadaan tereksitasi diatasnya. Transisi ESA berawal dari keadaan $^4F_{3/2}$. Dikarenakan rentang keadaan tereksitasi yang cukup rapat maka ESA dapat terjadi, karena atom-atom pada keadaan metamantap memiliki energi yang cukup besar untuk bertransisi.

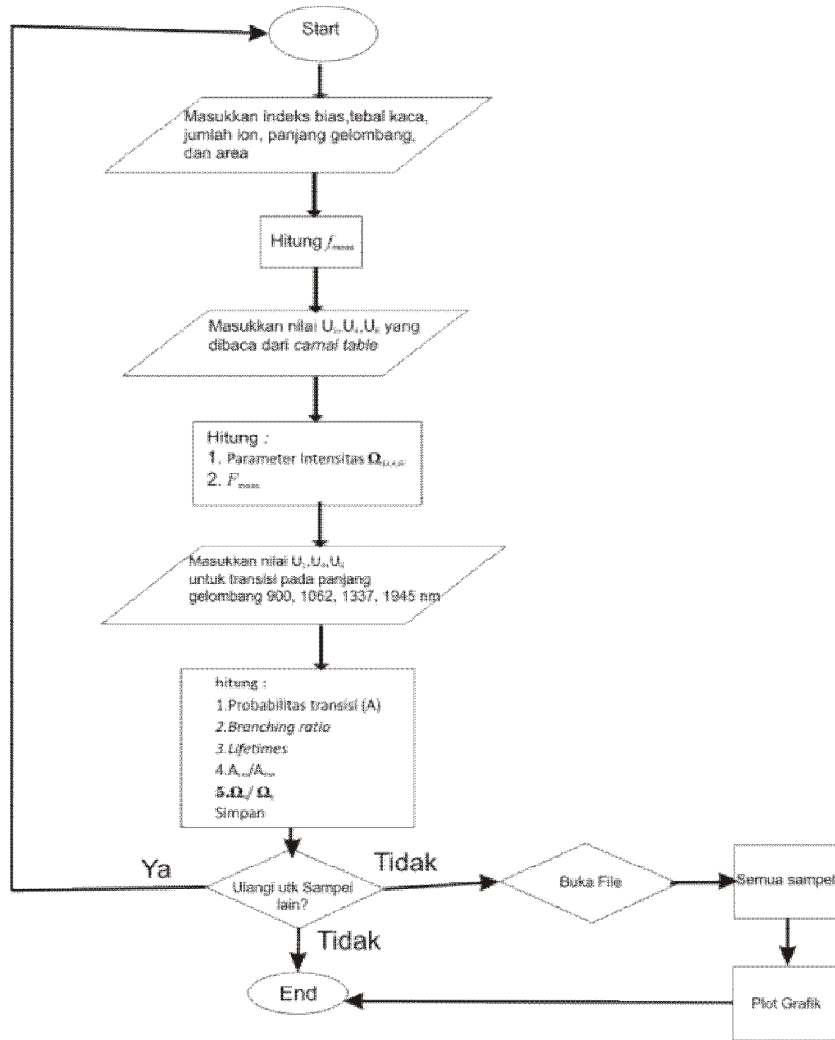
Probabilitas transisi ESA bila dibandingkan dengan probabilitas transisi emisi akan menentukan apakah penguatan dapat terjadi. Nilai dari parameter *Judd Ofelt* digunakan untuk memperkirakan perbandingan intensitas emisi dan ESA, yang mana ditunjukkan dengan persamaan (6).

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

di mana A_{em} dan A_{ESA} adalah intensitas emisi dan intensitas ESA. Jika hasil perbandingan antara A_{em} / A_{ESA} bernilai lebih dari 1 maka penguatan dapat terjadi pada komposisi kaca ini [5].

III. METODE PENELITIAN

Program Matlab dibuat dengan menggunakan *Graphic User Interface (GUI)*. Diagram alir pembuatan program ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir program Matlab.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan *Judd Ofelt* dilakukan dengan membuat program menggunakan *Graphic User Interface* (GUI) pada *software* Matlab 7.7. Perhitungan dan rumus yang digunakan sama dengan ketika perhitungan dengan menggunakan Ms. Excel, sehingga hasil antara Ms.Excel dan GUI Matlab dapat dibandingkan.

Tabel 1. Selisih perhitungan manual dan program untuk parameter Judd Ofelt.

Glass	Ω_2 manual	Ω_2 program	Ω_4 manual	Ω_4 program	Ω_6 manual	Ω_6 program
K1	2.245	2.239	0.578	0.587	1.555	1.547
K2	2.205	2.201	0.579	0.585	1.481	1.481
K3	2.282	2.277	0.417	0.424	1.558	1.558
K4	2.124	2.119	0.455	0.464	1.456	1.448
	Selisih = 0.00458		Selisih = 0.00797		Selisih = 0.00411	

Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan Ms. Excel, hasil dari perhitungan Matlab ini memiliki kesalahan relatif rata-rata menunjukkan nilai 1,156% terhadap perhitungan manual. Output dari program *Judd Ofelt* untuk data input sampel K1 ditunjukkan oleh Gambar 2.

Nilai *line strength* dari transisi dipol listrik antara dua keadaan *J* dapat dihitung dari spektrum absorpsi dengan persamaan (3). *Optical density* telah dihitung sebelumnya dari luasan area untuk masing-masing puncak serapan. Terdapat dua belas puncak serapan yaitu pada panjang gelombang 473, 514, 527, 585, 628, 683, 749, 805, 878, 1380, 1599, 1714 nm dan bersesuaian dengan level-level energi adalah $^2G_{9/2}$, $^4G_{9/2} + ^2K_{13/2}$, $^4G_{7/2}$, $^4G_{5/2}$, $^2H_{11/2}$, $^4F_{9/2}$, $^4F_{7/2} + ^2H_{9/2}$, $^2H_{9/2} + ^4F_{5/2}$, $^4F_{3/2}$, $^4I_{15/2}$, $^4I_{15/2}$, $^4I_{15/2}$.

Line strength dari perhitungan ditentukan dengan persamaan (2), radiatif lifetime dengan persamaan (4), *branching ratio* dengan persamaan (5), perbandingan antara probabilitas transisi ESA dan emisi dihitung

dengan persamaan (6). Hasil dari perhitungan ini ditunjukkan pada Gambar 3.

Berdasarkan data pada Gambar 3 terlihat bahwa nilai Ω_t untuk masing-masing sampel cenderung menurun yaitu $\Omega_2 > \Omega_6 > \Omega_4$ dan juga nilai $\Omega_2, \Omega_4, \Omega_6$ cenderung menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi ion Nd³⁺. Parameter Ω_2 berhubungan dengan waktu lamanya elektron berada pada potensial *crystal field*. Semakin tinggi nilai Ω_2 menunjukkan semakin mudah sampel mengalami perubahan struktur lokal dan ikatannya lebih kovalen. Nilai Ω_2 tertinggi terdapat pada sampel K3 ($x = 1,5$ mol%) yaitu $2,2727 \times 10^{-20}$ cm², sehingga dapat dikatakan bahwa sampel K3 paling mudah mengalami perubahan struktur lokal dan ikatannya menjadi lebih kovalen. Pada sampel K4 ($x=2$ mol%) memiliki nilai Ω_2 terendah yaitu 2.11872×10^{-20} cm² sehingga dapat dikatakan bahwa sampel K4 tidak mudah mengalami perubahan struktur lokal sehingga ikatannya lebih ionik.

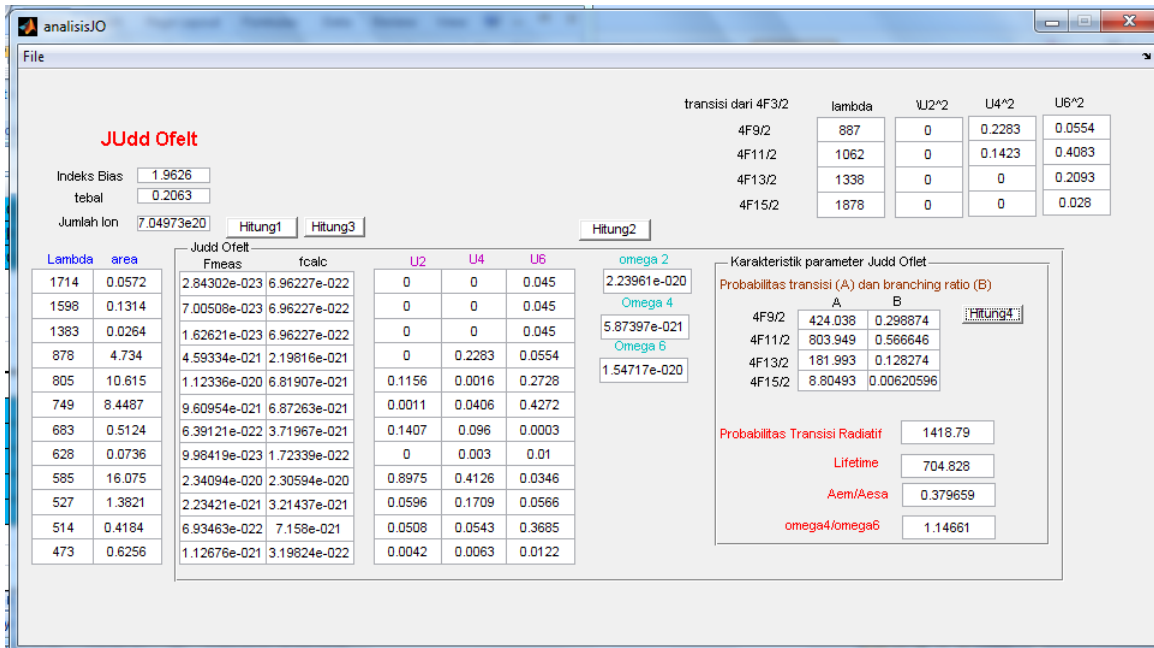
Besarnya *branching ratio* pada transisi tertentu memiliki nilai yang hampir sama untuk semua komposisi. Nilai *branching ratio* paling tinggi terdapat pada level ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ dan paling besar ditunjukkan oleh sampel K3 ($x = 1,5$ mol%). Laju kenaikan dan penurunan *branching ratio* ditunjukkan dengan Gambar 4.

Radiatif *lifetime* menyatakan lamanya waktu elektron berada pada keadaan metastabil (${}^4F_{3/2}$). Radiatif *lifetime* pada suatu level energi dapat ditentukan dari kebalikan probabilitas emisi spontan per unit waktu dari sebuah ion yang keluar dari level tereksitasi ke level dibawahnya. Nilai radiatif *lifetime* untuk transisi ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ ion Nd³⁺ dengan *host* material kaca *tellurite* berkisar antara 140 hingga 240 μ s [1] Nilai radiatif *lifetime* ion Nd³⁺ yang

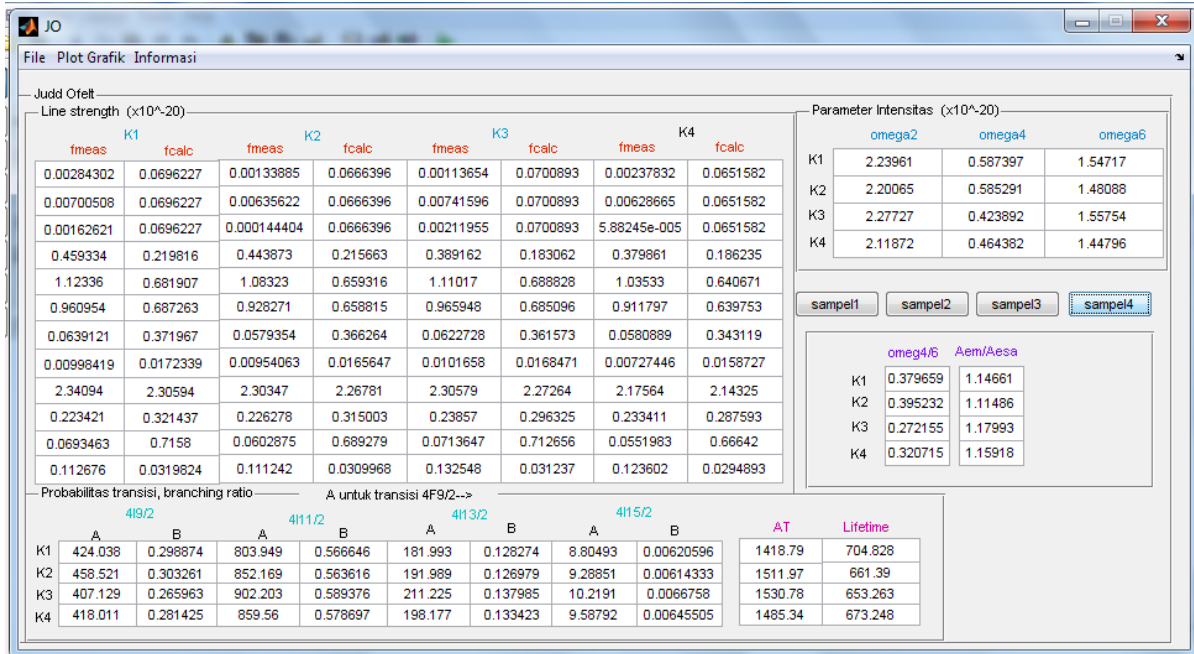
didadah pada kaca TZBN berkisar antara 600 sampai dengan 720 μ s.

Nilai radiatif *lifetime* menunjukkan nilai yang tidak stabil, yaitu paling rendah untuk sampel K3 dan paling tinggi untuk sampel K1. Hal ini menunjukkan bahwa pada sampel K1 dan memiliki waktu paling lama untuk ion Nd³⁺ berada pada keadaan metastabil. Semakin besar nilai radiatif *lifetime* maka akan semakin banyak atom yang berada pada level *metastabil* tersebut sehingga populasi inversi dapat terjadi, sehingga laser 4 level dapat diciptakan untuk penguatan pada level transisi ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$.

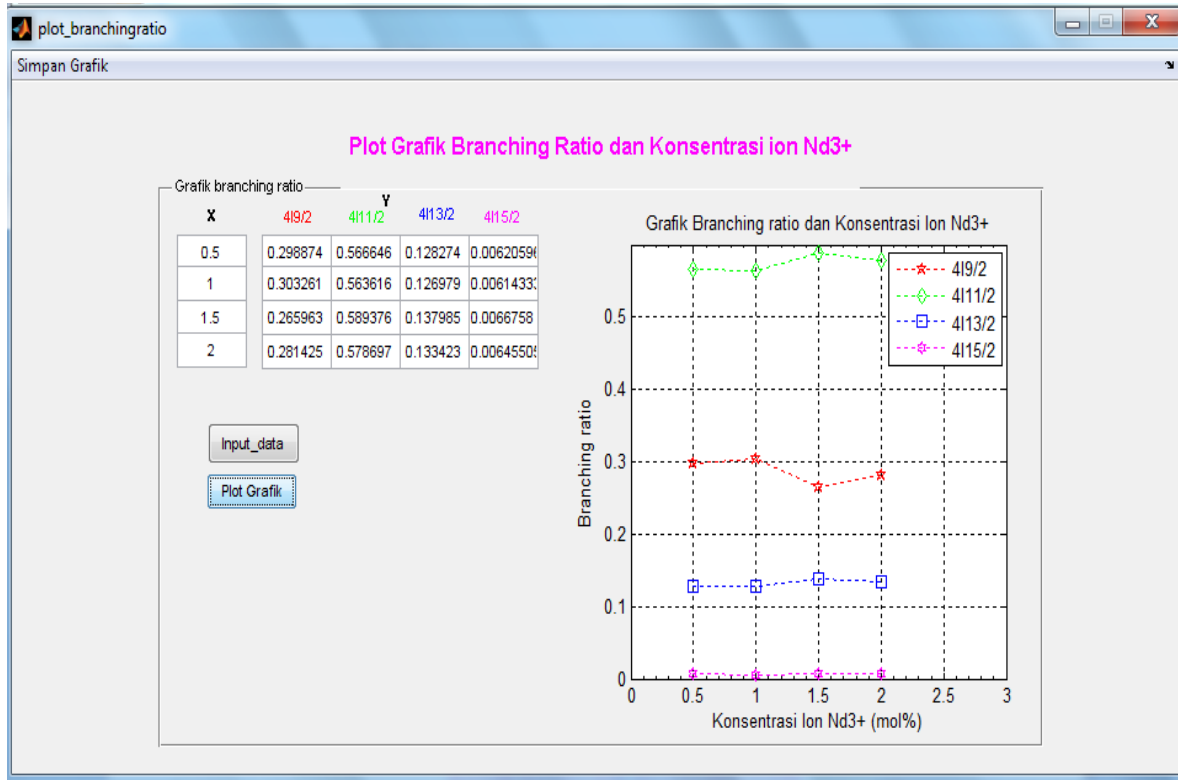
Kaca TZBN:Nd dapat dipertimbangkan sebagai material *host* laser berdasarkan karakteristik bahwa nilai probabilitas transisi tertinggi dan *branching ratio* yang tertinggi berada pada level transisi ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ dan tertinggi pada sampel K3 ($x=1,5$ mol%). Nilai $\Omega_6 > \Omega_4$ menunjukkan bahwa level transisi yang dominan adalah ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$. Sampel K1 ($x=0,5$ mol%) juga memiliki nilai *lifetime* yang tinggi yaitu 705 μ s sehingga pada sampel ini dapat diprediksikan akan menghasilkan emisi dengan energi yang tinggi, karena terdapat lebih banyak atom yang tinggal pada level metamantap. Terdapat puncak serapan pada panjang gelombang 1380 nm yang bersesuaian dengan level transisi ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$. Berdasarkan karakteristik diatas kaca TZBN:Nd dapat dipertimbangkan sebagai material laser yang beroperasi pada panjang gelombang 1300 nm.



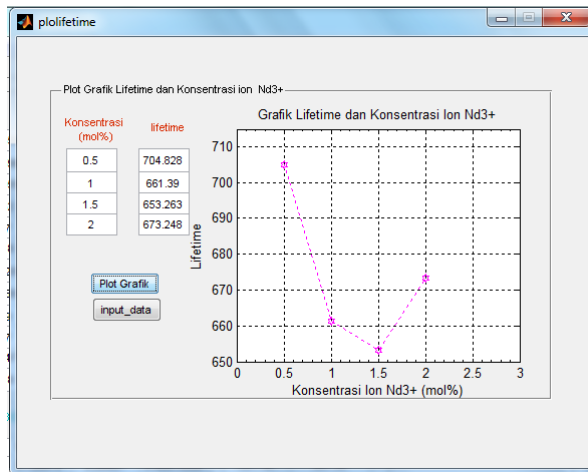
Gambar 2. Hasil Run Program GUI Matlab untuk sampel K1.



Gambar 3. Tampilan program ketika nilai *line strength* pengukuran (*fmeas*) dan perhitungan (*fcalc*) ($\times 10^{-20} \text{ cm}^2$) dari ion Nd³⁺ yang didadah pada kaca tellurite.



Gambar 4. Tampilan program ketika plot grafik *branching ratio* dan konsentrasi ion Nd³⁺.



Gambar 5. Tampilan program ketika plot grafik *lifetime* dan konsentrasi ion Nd³⁺.

V. KESIMPULAN

Hasil dari perhitungan Matlab (GUI) memiliki kesalahan relatif rata-rata adalah 1,156% terhadap perhitungan manual. Berdasarkan analisis *Judd Ofelt* didapatkan bahwa nilai probabilitas transisi tertinggi dan *branching ratio* yang tertinggi berada pada level transisi ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$. Nilai probabilitas transisi dan *branching ratio* yang tertinggi pada level ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ berada pada sampel K3 ($x=1,5$ mol%). Nilai $\Omega_6 > \Omega_4$ menunjukkan bahwa level transisi yang dominan adalah ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$. Sampel K3 ($x=1,5$ mol%) juga memiliki nilai radiatif *lifetime* yang cukup tinggi yaitu 653 μ s, sehingga populasi inversi dapat terjadi pada level ini. Terdapat transisi dengan panjang gelombang 1380 nm bersesuaian

dengan level ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$. Sehingga kaca TZBN:Nd dapat dipertimbangkan sebagai material *host* laser yang beroperasi pada panjang gelombang 1300 nm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Universitas Sebelas Maret atas dukungan finansial melalui "Hibah Bersaing DIPA BLU UNS". Serta kepada seluruh teknisi dan staff dari Laboratorium Optik dan Photonik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

PUSTAKA

- [1] D. Hewak, *Glass and Rare Earth-Doped Glasses for Optical Fibres*. London : INSPEC.1998
- [2] F. J. M. Dignonet, *Rare-Earth-Doped Fiber Lasers and Amplifier*. New York : Marcel Dekker, Inc. 2001.
- [3] G.Soundararajan, Optical Characterization Of Rare Earth Doped Glasses. *Thesis of Graduate Studies*, Department of Electrical and Computer Engineering University of Saskatchewan Saskatoon Canada, 2009.
- [4] J. Zhang, S. Dai, G. Wang, S. Xu, L. Zhang, and ,L. Hu, Spectroscopic properties of Neodymium-doped Tellurite Glass Fiber. *Chinese Optics Letter/Vol. 2, No. 9*. 2004.
- [5] M. Ahmad, Laser analysis of Nd³⁺ ion in flouroaluminat glasses. *Departemen Fisika Universitas Sebelas Maret Surakarta*. 2007
- [6] R. El-Mallawany, M. D. Abdalla, and A. Ahmed, New Tellurite glass : Optical Properties . *Material Chemistry and Physics* 109. 2008. Pp. 291-296.