

## Pengaruh Konsentrasi Ion Erbium pada Sifat Fisik dan Optik Kaca *Telurium Oxide* sebagai Bahan Penguat Optik

Rudi Susanto<sup>1</sup>, Ahmad Marzuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> STMIK Duta Bangsa Surakarta

<sup>2</sup> Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta

<sup>1</sup>Jalan Bhayangkara 55-57 Surakarta, <sup>2</sup>Jalan Ir Sutami 36 A Surakarta

E-mail : rudist\_87@yahoo.co.id<sup>1</sup>, mymseam@gmail.com<sup>2</sup>

### Abstrak

Paper ini berisi serangkaian kajian fabrikasi dan karakterisasi kaca Telurium Oxide dengan komposisi  $55\text{TeO}_2-2\text{Bi}_2\text{O}_3-(43-x)\text{ZnO}-x\text{Er}_2\text{O}_3$  dimana ( $x=0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$ ). Fabrikasi dilakukan dengan *melt-quenching technique*. Sampel dipanaskan pada temperatur  $900\text{ }^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Pencetakan dilakukan dengan cara menuangkan leburan panas dalam *mould* bersuhu  $265\text{ }^\circ\text{C}$  secara cepat lalu didinginkan secara natural. Proses karakterisasi kaca dilakukan dengan uji UV/VIS, uji  $n$  (indeks bias), dan uji  $\rho$  (densitas). Pengukuran semua sifat fisik dan optik dilakukan pada suhu kamar setelah mendapat perlakuan panas yang sama. Dari penelitian ini didapatkan bahwa penambahan ion Erbium meningkatkan nilai densitas, indeks bias, dan *cross section*. Nilai *cross section* sebanding nilai probabilitas serapan pada kaca. Probabilitas serapan terbesar terjadi pada panjang gelombang 980 nm yang berarti bahwa kaca ini berpotensi sebagai penguat optik.

**Kata kunci:** kaca Telurium Oxide, Ion  $\text{Er}^{3+}$ , spektrum serapan, probabilitas, penguat optik

### I. Pendahuluan

Terdapat berbagai bahan yang digunakan untuk membuat kaca fiber amplifier seperti borate, fluoride, germanite, silicate, phosphate, dan tellurite. Kaca tellurite yang berbahan utama  $\text{TeO}_2$  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 (Weber, 2002). 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 (Ghosal et al, 2011). Melihat kondisi di atas penelitian ini bertujuan untuk memfabrikasi kaca tellurite yang didadah dengan  $\text{Er}^{3+}$ . Bahan fabrikasi kaca adalah  $\text{TeO}_2, \text{Bi}_2\text{O}_3, \text{ZnO}$  dan  $\text{Er}_2\text{O}_3$ . Penelitian ini juga bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai berbagai parameter spektroskopi yang bertanggung jawab terhadap kualitas kaca tellurite yang didadah dengan  $\text{Er}^{3+}$  untuk aplikasi penguat optik.

#### 1.1 Metode

Penelitian menggunakan metode eksperimen. Fabrikasi Kaca tellurite dibuat dengan *melt-quenching technique*. Kaca dibuat dengan bahan  $\text{TeO}_2, \text{Bi}_2\text{O}_3, \text{ZnO}, \text{Na}_2\text{O}, \text{PbO}$  dan  $\text{Er}_2\text{O}_3$ . Bahan

ditimbang dengan neraca digital sesuai dengan perbandingan komposisi, kemudian dicampur dan dihaluskan dengan mortar dan alu. Campuran bahan diletakkan dalam wadah crucible platina kemudian dipanaskan sampai melewati titik leleh dalam furnace listrik. Pencetakan dilakukan dengan cara menuangkan leburan panas ke dalam mould (cetakan kaca) stainless steel. Hasil kaca dipanaskan pada suhu sekitar  $265\text{ }^\circ\text{C}$  selama 3 jam kemudian didinginkan dengan laju  $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$  menuju suhu kamar. Selanjutnya sampel diampelas hingga berkualitas optik.

Serapan optik kaca diukur menggunakan Ultra Violet-Visible Spectroscopy (UV-Vis) lambda 25. Pengukuran dilakukan pada panjang gelombang 400 nm sampai dengan 1100 nm dengan range 0,1 nm. Pengukuran nilai densitas kaca dilakukan menggunakan picnometer. Pengukuran nilai indeks bias dilakukan dengan cara pengukuran reflektansi dengan metode sudut Brewster. Laser yang digunakan adalah laser HeNe dengan panjang gelombang 632,8 nm. Semua pengukuran dilakukan pada suhu kamar.

### II. Hasil dan Pembahasan

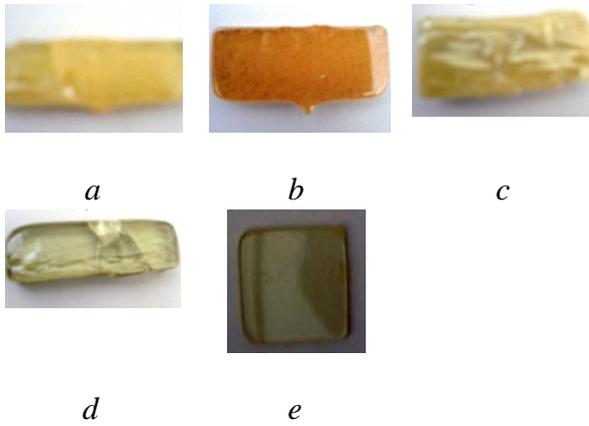
Fabrikasi kaca dalam eksperimen ini dilakukan dengan berbagai komposisi. Hal ini dilakukan untuk memperoleh komposisi yang sesuai dalam pembuatan kaca. Tidak semua komposisi kaca yang difabrikasi menjadi kaca seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi dan hasil kaca

Komposisi	Mol %	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Hasil	
			Tidak tranparan	Transparan
K1	70TeO <sub>2</sub> -10PbO-10ZnO-Na <sub>2</sub> O	900	√	
K2	90TeO <sub>2</sub> -10Na <sub>2</sub> O	900	√	
K3	60TeO <sub>2</sub> -40PbO	900	√	
K4	55TeO <sub>2</sub> -2Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -42ZnO-PbO	900		√
K5	55TeO <sub>2</sub> -2Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -43ZnO	900		√

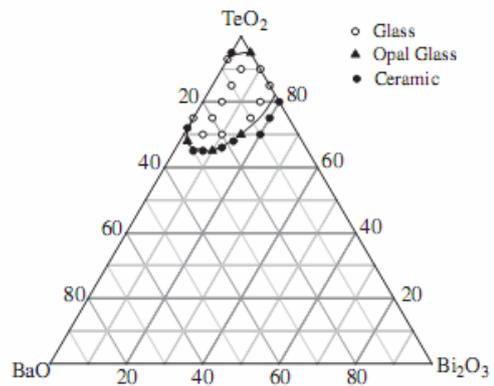
Menurut (Raouf et al, 2001) amorf atau kristal dalam kaca dapat dilihat dari sifat transparan atau tidaknya. Berdasarkan hal tersebut, hasil farikasi yang transparan merupakan kaca tellurite dan yang tidak transparan merupakan kristal tellurite.

Perlakuan khusus pada masing-masing komposisi adalah suhu dinaikan dari suhu kamar dan diatur konstan pada 900 $^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam, kemudian suhu diturunkan menjadi 700 $^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam, setelah itu dicetak dalam cetakan *stainless stell* yang bersuhu 265 $^{\circ}\text{C}$ . Hasil masing-masing komposisi dari kaca ini seperti Gambar 1 a sampai e.



Gambar 1. Hasil fabrikasi kaca dari masing-masing komposisi.

Dalam fabrikasi kaca terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi seperti suhu pemanasan dan komposisi. Komposisi memiliki pengaruh yang dominan dalam pembentukan kaca. Seperti yang dilakukan (Tiefeng Xu et al, 2011) pada fabrikasi TeO<sub>2</sub>-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-BaO yang terbentuk menjadi kaca hanya pada daerah yang sesuai dengan diagram fase Gambar 2.

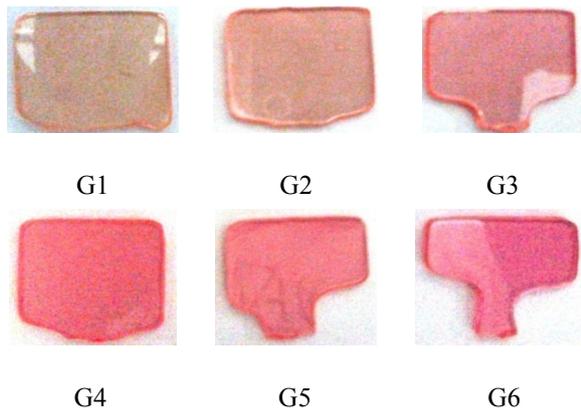


Gambar 2. Diagram fase kaca dengan komposisi TeO<sub>2</sub>-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-BaO (Tiefeng Xu et al, 2011).

Berdasarkan komposisi K5, peneliti melakukan fabrikasi kaca Telurite dengan didadah dengan ion Erbium. Fabrikasi kaca dibuat dengan komposisi berikut 55TeO<sub>2</sub>-2Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(43-x)ZnO-xEr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dimana (x=0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3) Seperti pada Tabel 2. Kaca hasil fabrikasi ditunjukkan Gambar 3.

Tabel 2. Komposisi fabrikasi kaca telurite yang didadah ion erbium (Er<sup>3+</sup>)

Komposisi	Mol %			
	TeO <sub>2</sub>	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
G1	55	2	42,5	0,5
G2	55	2	42	1
G3	55	2	41,5	1,5
G4	55	2	41	2
G5	55	2	40,5	2,5
G6	55	2	40	3



Gambar 3. Kaca fabrikasi  $55\text{TeO}_2-2\text{Bi}_2\text{O}_3-(43-x)\text{ZnO}-x\text{Er}_2\text{O}_3$

Karakterisasi sifat fisik dilakukan dengan pengukuran dan penghitungan densitas. Hasil pengukuran dan penghitungan densitas ditunjukkan Tabel 3. Nilai densitas secara umum menunjukkan *trend* yang naik yaitu dari  $5,5813 \text{ gr/cm}^3$  pada G1 sampai  $5,8742 \text{ gr/cm}^3$  pada komposisi G6. Secara umum nilai densitas bahan menunjukkan nilai yang

lebih tinggi, jika dilihat dari hasil penelitian (Rosmawati et al, 2007) pada kaca  $(\text{TeO}_2)_{1-x}(\text{ZnO})_x$  yang berkisar antara  $4,806$  sampai  $5,283 \text{ gr/cm}^3$  dengan nilai  $x=0$  sampai dengan  $x=4$  dengan kenaikan nilai  $x=0,5$ . Perbedaan berbagai nilai tersebut dikarenakan berbagai hal seperti teknik pembuatan kaca, suhu *aneling*, dan tentunya komposisi kaca (Seiji Inaba et al, 2010).

Perhitungan nilai densitas kaca pada Tabel 3 dengan persamaan berikut ini

$$\rho = 0,53 \frac{\sum M_i X_i}{\sum V_i X_i} \tag{1}$$

dimana  $0,53$  adalah konstanta,  $M_i$  berat molekul bahan dan  $V_i$  adalah *packing density* yang besarnya diberikan dalam (Seiji Inaba et al, 2010) dan  $X_i$  adalah perbandingan mol dari kaca. Nilai perhitungan densitas dengan persamaan 1 memiliki kesalahan perhitungan sekitar 5% (Seiji Inaba et al, 2010).

Tabel 3. Densitas Kaca  $55\text{TeO}_2-2\text{Bi}_2\text{O}_3-(43-x)\text{ZnO}-x\text{Er}_2\text{O}_3$

Komposisi	$\rho_{\text{ukur}} (\text{gr/cm}^3)$	$\rho_{\text{hitung}} (\text{gr/cm}^3)$	Perbedaan $ \rho_{\text{ukur}} - \rho_{\text{hitung}} $	Kesalahan pengukuran (%)
G1	$5,581 \pm 0,098$	5,838	0,257	4,402
G2	$5,701 \pm 0,007$	5,864	0,163	2,780
G3	$5,534 \pm 0,084$	5,890	0,356	6,044
G4	$5,640 \pm 0,109$	5,916	0,276	4,665
G5	$5,790 \pm 0,115$	5,941	0,151	2,542
G6	$5,874 \pm 0,045$	5,966	0,092	1,542

Karakterisasi sifat optik dilakukan dengan pengukuran nilai indeks bias dan serapan UV/VIS. Pengukuran nilai indeks bias dilakukan menggunakan prinsip sudut Brewster. Nilai indeks bias yang diperoleh dalam penelitian ini antara  $1,9013$  sampai  $1,9533$  yang ditunjukkan Tabel 4. Hasil pengukuran ini menunjukkan *trend* yang naik dengan penambahan nilai konsentrasi  $\text{Er}_2\text{O}_3$  seperti pada penelitian (Rosmawati et al, 2007; Weeranut et al, 2010).

Hubungan antara densitas ( $\rho$ ) dan indeks bias ( $n$ ) dalam penelitian ini terdapat kesesuaian dengan teori Plot Lorentz-Lorenz untuk kaca Alkali-Tellurite (Raouf, 2001). Nilai densitas ( $\rho$ ) dan indeks bias ( $n$ ) berbanding lurus dengan penambahan ion erbium pada sampel kaca G1 sampai G6. Hal ini ditunjukkan dimana semakin besar mol  $\text{Er}_2\text{O}_3$  maka nilai densitas ( $\rho$ ) dan nilai indeks

bias ( $n$ ) juga semakin besar seperti pada Tabel 3 dan Table 4. Hubungan antara indeks bias dan densitas tersebut memenuhi persamaan 2 (Raouf, 2001; Shelby, 2005) yang dikenal dengan persamaan Lorentz-Lorenz,

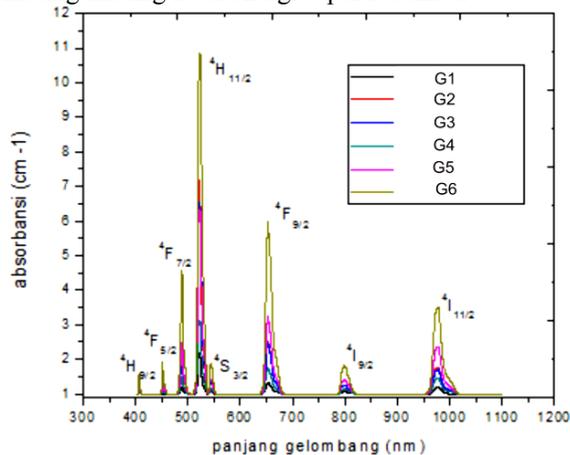
$$\frac{n^2-1}{n^2+2} \left( \frac{M}{\rho} \right) = R_M \tag{2}$$

Dimana  $R_M$  adalah *molar refraction*,  $M$  adalah *molecular weight*,  $\rho$  adalah densitas,  $n$  adalah indeks bias.

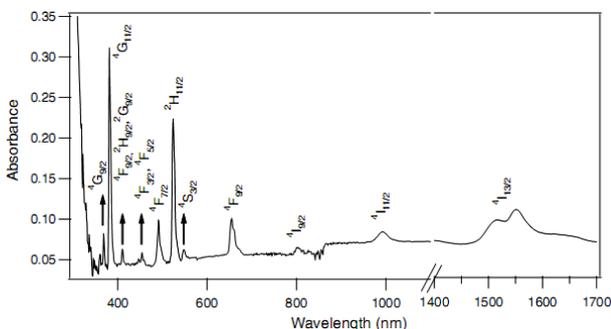
Tabel 4. Nilai Indeks bias kaca

Komposisi	Indeks Bias
G1	1,9013 ± 0,0098
G2	1,9240 ± 0,0052
G3	1,9500 ± 0,0000
G4	1,9600 ± 0,0000
G5	1,9833 ± 0,0058
G6	1,9533 ± 0,0058

Gambar 4 merupakan spektrum serapan kaca pada daerah 400 nm sampai 1100 nm. Dari kaca tersebut terdapat delapan puncak yaitu di sekitar panjang gelombang 408, 451, 489, 521, 544, 653, 799, 980 nm atau sama dengan level energi  $^4H_{9/2}$ ,  $^4F_{5/2}$ ,  $^4F_{7/2}$ ,  $^4H_{11/2}$ ,  $^4S_{3/2}$ ,  $^4F_{9/2}$ ,  $^4I_{9/2}$ , dan  $^4I_{11/2}$ . Dalam Gambar 4 didapatkan puncak-puncak yang memiliki intensitas serapan yang berbeda, hal ini menunjukkan masing-masing level energi seperti Gambar 5.



Gambar 4. Spektrum serapan kaca hasil pengukuran dengan UV/VIS Lambda 25.

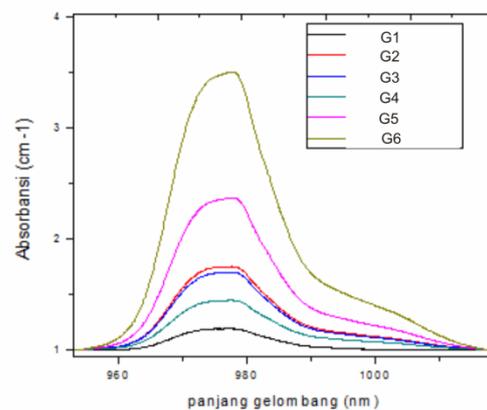


Gambar 5. Tipikal serapan kaca Er<sup>3+</sup> doped alkali chlorophosphate (Pradeesh, 2008).

Gambar 4 menunjukkan *cross section* pada daerah panjang gelombang 980 nm paling besar di antara puncak-puncak yang lain. Seperti (Choi et al,

2007) bahwa ion Er<sup>3+</sup> bekerja pada daerah di sekitar infrared yaitu pada panjang gelombang 1550 nm dan 980 nm, yang dikenal dengan *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA).

Gambar 6 merupakan puncak di sekitar 980 nm atau  $^4I_{11/2}$ . Secara spesifik perbandingan *Cross Section* masing-masing kaca pada panjang gelombang 980 nm tersebut meningkat, pada kaca G1 mempunyai nilai *Cross Section* terendah dan pada kaca G6 mempunyai nilai *Cross Section* paling tinggi. Dari hal tersebut diketahui bahwa penambahan Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> meningkatkan probabilitas absorpsi. Hasil ini mendukung hasil penelitian (Huang We et al, 2007) dan (Amarnath et al, 2011). Nilai perhitungan dengan software Origin 8 nilai *Cross Section* seperti pada Tabel 5.



Gambar 6. Spektrum serapan pada panjang gelombang 980 nm

Tabel 5. Nilai Cross section pada panjang gelombang 980 nm

Komposisi	Cross Section	Panjang gelombang (nm)
G1	16,1732	976,9
G2	17,4448	977,7
G3	17,5021	977,9
G4	17,5576	977,6
G5	17,6284	977,5
G6	17,6913	977,7

Nilai probabilitas sebanding dengan nilai *cross section* (Pramono, 2009), sehingga penambahan Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> meningkatkan probabilitas absorpsi kaca. Dalam aplikasinya kaca G6 yang didadah 3 mol Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki kualitas pengautan yang lebih besar sebagai penguat optik karena memiliki probabilitas absorpsi yang lebih besar.

### III. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kaca berhasil dibuat menggunakan metode *melt-*

*quenching* dengan komposisi utama  $\text{TeO}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ . Kaca yang didadah ion erbium menggunakan komposisi  $55\text{TeO}_2-2\text{Bi}_2\text{O}_3-(43-x)\text{ZnO}-x\text{Er}_2\text{O}_3$  dengan ( $x=0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$ ). Pengukuran sifat fisik berupa desitas ( $\rho$ ) kaca menggunakan picnometer. Spektrum serapan kaca diukur dengan UV/VIS Spectroscopy pada rentang 400 nm sampai 1100 nm. Indeks bias ( $n$ ) diukur dengan metode brewter pada panjang gelombang 632,8 nm. Dari penelitian ini didapatkan bahwa penambahan Ion Erbium meningkatkan nilai densitas ( $\rho$ ), nilai indeks bias ( $n$ ), dan nilai *cross section*. Probabilitas serapan terbesar terjadi pada panjang gelombang 980 nm yang berarti bahwa kaca ini berpotensi sebagai penguat optik

#### IV. Daftar Pustaka

- Amarnath, R. A., Surendra B.S., Pradeesha, K. 2011. *Optical properties of highly  $\text{Er}^{3+}$ -doped sodium-aluminium-phosphate glasses for broadband 1500 nm emission*. Journal of Alloys and Compounds 509(2011)4047–4052
- Choi Ju H, Frank G. Shi. 2007. *Novel alkaline-free  $\text{Er}^{3+}$ -doped fluorophosphate glasses For broadband optical fiberlasers and amplifiers*. Journal of Alloys and Compounds 450 (2008) 540–545
- Ghoshal, S K., Sahar, MR., Rohani, MS., 2011. *Temperature dependent luminescence in erbium-doped zinc tellurite glass: A model investigation*. Indian Jurnal of Pure & Applied Physics Vol. 49 August 2011, pp. 509-515
- Huang Wei, Tu Ming-Liang, Zhang Xu-Dong. 2007. *Investigation on Spectroscopic Properties of  $\text{Er}^{3+}$  doped  $\text{TeO}_2\text{-ZnO-Bi}_2\text{O}_3$  Glasses*. Journal laser & Infrared Vol. 37, No.9 September, 2007
- Pradeesh, K., Oton, C.J., Agotiya, V.K. 2008. *Optical properties of  $\text{Er}^{3+}$  doped alkali chlorophosphate Glasses for optical amplifiers*. Journal Optical Materials, 31 (2008)155-160
- Pramono, Sholeh H. 2009. *Metode Perataan Penguatan Erbium Doped Fiber Amplifiers (EDFA) C-Band dengan metode pengaturan daya sinyal masukan Pada daya pompa tetap*. Jurnal Intrumentasi vol 33 No 1 Januari-Juni 2009
- Raouf A.H. El-Mallawany. 2001. *Tellurite glasses handbook : physical properties and data*. CRC PRESS : London
- Rosmawati, S., Sidek, H.A.A., Zainal, A.T. and Mohd Zobir, H. 2007. *The Effect Of Zinc On The Physical Properties of Tellurite Glass*. Journal of Applied Sciences
- Seiji Inaba and Shigeru Fujino. 2010. *Empirical Equation for Calculating the Density of Oxide Glasses*. The American Ceramic Society..Soc., 93 [1] 217–220
- Shelby, James E. 2005. *Introduction to Glass Science and Technology Second Edition*. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK
- Tiefeng Xu , Feifei Chen, Shixun Dai. 2011. *Glass formation and third-order optical nonlinear properties with  $\text{inTeO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-BaO}$  pseudo-ternary system*. Journal of Non-Crystalline Solids 357 (2011) 2219–2222
- Weber, M. 2002. *Handbook Of Optical Materials*. CRC Press: New York
- Weeranut K , Jakrapong K and Pichet L. 2009. *Optical Properties of Erbium Doped Soda-Lime-Silicate Glasses*. International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB), 23-24 July 2009, Mahasarakham University, Thailand