

Pengaruh Variasi PbO terhadap Serapan Optis Kaca Tellurite dengan Komposisi Er:TZPBN

The Effect of PbO Variation on Optical Absorption of Tellurite Glass with Composition Er:TZPBN

Mukhayyarotin Niswati Rodliyatul Jauhariyah*, Ahmad Marzuki, Cari

Program Studi Ilmu Fisika Pascasarjana Universitas Sebelas Maret,

Jln. Ir. Sutami 36 A Surakarta

*Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang Gd. C3 Lt.1 Surabaya

ABSTRAK

Kaca tellurite banyak diminati peneliti karena kemampuannya sebagai host laser. Kaca tellurite yang dikembangkan ialah kaca tellurite dengan komposisi Er:TZPBN [$55\text{TeO}_2 - 35\text{ZnO} - (5+x)\text{PbO} - 2\text{Bi}_2\text{O}_3 - (2-x)\text{Na}_2\text{O} - \text{Er}_2\text{O}_3$] dengan $x = 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5$ dan 3 % mol. Artikel ini mendeskripsikan pengaruh variasi PbO terhadap serapan optis kaca Er:TZPBN. Kaca Er:TZPBN dengan komposisi tersebut telah difabrikasi dengan metode *melt quenching*. Setelah kaca di-*annealing* dan di-polish, dilakukan karakterisasi, di antaranya berupa serapan optis. Hasil pengamatan menunjukkan serapan optis meningkat dengan penambahan PbO. Berdasarkan data serapan optis, nilai energi *band gap* optis kaca TZPBN:Er menurun seiring dengan penambahan konsentrasi PbO. Rentang nilai energi *band gap* optis pada komposisi ini memungkinkan sampel digunakan sebagai bahan semikonduktor.

Kata kunci: variasi PbO; kaca Er:TZPBN; serapan optis; energi band gap optis

ABSTRACT

Most of researcher interest to investigate tellurite glasses because of the capability as host laser. The tellurite glasses that develop is Er:TZPBN [$55\text{TeO}_2 - 35\text{ZnO} - (5+x)\text{PbO} - 2\text{Bi}_2\text{O}_3 - (2-x)\text{Na}_2\text{O} - \text{Er}_2\text{O}_3$] with $x = 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5$ and 3 % mol. This paper describe the effect of PbO variation on optical absorption of Er:TZPBN. The Er:TZPBN glass had been fabricated by using melt quenching technique. After annealing and polishing process, we characterized the optical absorption of glass. The result of the characterization showed that the optical absorption increased with increasing PbO. Based on optical absorption data, the optical band gap energy decreased with decreasing PbO concentration. The value of optical band gap energy for this composition showed that this samples can use as the semiconductor material.

Key words: PbO variation, Er:TZPBN glass, optical absorption, optical band gap energy

PENDAHULUAN

Kaca komersial yang penting adalah kaca berbasis kalsium silika. Kaca dari bahan-bahan tersebut baik dan murah (Doremus, 2004). Pada umumnya, kaca berbasis bahan silika memiliki komposisi 72% SiO_2 , 14% Na_2O , 11 % CaO , dan 3% material lain (Shelby, 2006). Namun untuk aplikasi optik dan fotonik, kaca

seperti borat, fluoride, germanate, silikat, fosfat, dan tellurite lebih menarik diinvestigasi karakteristiknya untuk berbagai aplikasi fotonik.

Kaca tellurite banyak diminati peneliti di bidang fotonik karena kemampuan sebagai *host* laser. Banyak parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas sebuah kaca yang digunakan sebagai penguat laser, diantaranya ialah densitas, serapan optis, dan indeks

* Alamat Korespondensi:

surel: mukhayyarotinjauhariyah@unesa.ac.id

bias. Kaca tellurite memiliki kekuatan mekanik yang bagus dan memiliki transmisi yang bagus pada daerah cahaya tampak dan infra merah dekat hingga $4,5 \mu\text{m}$ (El-Deen *et al.*, 2008). Kaca tellurite memiliki nilai indeks bias yang lebih tinggi (sekitar 1,9-2,25 bergantung pada komposisinya) daripada kaca silika (1,458), kaca fosfat (1,507), dan kaca fluoride (1,499). Keunggulan kaca tellurite ini dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti laser, *broadband amplifier*, dan *fiber optic* (Massera, 2009).

Kaca merupakan material anorganik yang dibuat dari proses pemanasan yang kemudian didinginkan tanpa adanya kristal di dalamnya (El-Meliegy, 2012). Kaca merupakan bahan amorf dan padatan bukan kristal. Untuk memperoleh stabilitas kaca, komposisi kaca harus terdiri atas *former*, *intermediate*, dan *modifier*. Komposisi kaca dalam penelitian ini terdiri dari TeO_2 sebagai *former*, ZnO dan PbO sebagai *intermediate*, Na_2O sebagai *modifier*, dan Bi_2O_3 sebagai *stabilizer*. Komposisi ini didadah dengan senyawa oksida tanah jarang Er_2O_3 yang dapat mewarnai kaca (El-Meliegy, 2012).

Setiap komponen dalam komposisi kaca memiliki karakteristik sehingga sifat atau karakteristik kaca hasil fabrikasi juga memiliki perubahan yang signifikan jika terdapat perubahan komposisi dan termasuk terjadi perubahan densitas, kekerasan, elastisitas, indeks bias, koefisien muai termal, sifat mekanik, dan sebagainya. Artikel ini mendeskripsikan hasil investigasi pengaruh variasi PbO terhadap karakteristik optis kaca tellurite Er:TZPBN berupa indeks bias, serapan optis, dan energi band gap optis.

Pada penelitian sebelumnya, diperoleh informasi bahwa penambahan PbO dan pengurangan Na_2O pada kaca Er:TZPBN dengan komposisi yang sama dengan penelitian ini dapat meningkatkan densitas kaca. Semakin besar penambahan senyawa PbO dalam komposisi Er:TZPBN [$55\text{TeO}_2\text{-}35\text{ZnO}\text{-(}5+x\text{)PbO}\text{-}2\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-(}2-x\text{)Na}_2\text{O}\text{-Er}_2\text{O}_3$] dengan $x = 0; 0,5; 1; 1,5; \text{ dan } 2 \%$ mol, semakin besar pula densitasnya (Jauhariyah dkk., 2014). Variasi PbO dan Na_2O tersebut juga meningkatkan indeks bias kaca Er:TZPBN dengan rentang nilai indeks bias 1,7090 hingga 2,0057 (Jauhariyah *et al.*, 2014).

Ketika cahaya melewati bidang batas benda bening, sebagian energi akan dipantulkan (*reflected*), sebagian akan diserap (*absorbed*), dan sebagian akan diteruskan (*transmitted*). Besarnya serapan optis kaca bergantung pada ketebalan dan panjang gelombang yang merupakan fungsi dari struktur fisik dan kimia dari kaca (Massera, 2009).

Serapan cahaya oleh suatu molekul merupakan bentuk interaksi gelombang cahaya dengan atom atau molekulnya. Energi cahaya diserap oleh atom atau molekul digunakan oleh elektron di dalam atom tersebut untuk bertransisi dari suatu level energi E_1

ke tingkat energi yang lebih tinggi E_2 . Serapan hanya terjadi jika selisih kedua tingkat energi tersebut ($\Delta E = E_2 - E_1$) bersesuaian dengan energi cahaya atau foton yang datang, yakni $\Delta E = E_{\text{foton}}$.

Penyerapan cahaya dari suatu kumpulan atom dinyatakan oleh hukum Lambert-Beer. Proporsi berkas cahaya datang yang diserap oleh bahan atau medium tidak bergantung pada intensitas berkas cahaya yang datang. Hukum Lambert-Beer hanya berlaku jika di dalam bahan tersebut tidak ada reaksi kimia atau proses fisis yang dapat dipicu oleh berkas cahaya datang tersebut. Dengan demikian, intensitas cahaya yang keluar I setelah melewati

bahan atau medium dapat dituliskan: $I = T \cdot I_0$, dengan I_0 merupakan intensitas berkas cahaya datang dan T adalah transmitansi. Serapan cahaya A berbanding lurus dengan konsentrasi dan ketebalan bahan atau medium, dituliskan dengan persamaan: $A = \epsilon \cdot c \cdot l$, dengan ϵ adalah molar absorpsivitas untuk panjang gelombang tertentu atau disebut juga sebagai koefisien ekstensif ($1/\text{mol cm}$), c adalah konsentrasi molar (mol/liter), dan l adalah ketebalan bahan yang dilintasi oleh cahaya (cm). Kombinasi hukum Lambert-Beer tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$T = \frac{I}{I_0} \cdot 100 = \exp(-\epsilon cl) \quad (7)$$

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \log(T^{-1}) = \epsilon cl \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan di atas dapat diketahui bahwa nilai serapan sebanding dengan konsentrasi dan molar absorpsivitas. Dengan demikian, besarnya nilai serapan bergantung dari besarnya konsentrasi molar larutan. Semakin besar konsentrasi molar larutan, semakin besar nilai serapannya. Semakin besar konsentrasi molar larutan, nilai transmitansi akan menurun secara eksponensial. Lebih lanjut, artikel ini akan mendeskripsikan pengaruh penambahan konsentrasi PbO terhadap serapan optis kaca Er:TZPBN serta mendeskripsikan energi band gap optis pada kaca tersebut.

METODE PENELITIAN

Kaca Er:TZPBN [$55\text{TeO}_2\text{-}35\text{ZnO}\text{-(}5+x\text{)PbO}\text{-}2\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-(}2-x\text{)Na}_2\text{O}\text{-Er}_2\text{O}_3$] dengan $x = 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 \text{ dan } 3 \%$ mol telah difabrikasi menggunakan *melt quenching technique*. Semua bahan yang digunakan untuk fabrikasi kaca memiliki kemurnian 99,9%. Bahan yang disiapkan ditimbang menggunakan neraca analitik. Bahan-bahan tersebut dihaluskan hingga homogen selama 30 menit sebelum dicairkan dalam *crucible* platina. Proses *melt-quenching technique*

dilakukan dengan melelehkan bahan-bahan kimia dalam *crucible* platina yang dimasukkan dalam *furnace*. Proses melelehan bahan dilakukan pada suhu 900°C selama 30 menit. Untuk mencapai homogenitas bahan cair tersebut, dilakukan *shaked* secara cepat sebelum dimasukkan ke dalam *mold*. Selanjutnya, bahan tersebut dimasukkan dalam *mold* yang telah dipanaskan pada suhu 245°C. Kaca yang telah difabrikasi tersebut di *annealing* pada suhu 265°C selama 3 jam sebelum didinginkan secara lambat pada suhu ruang. Selanjutnya sampel kaca dihaluskan melalui proses *polish*.

Setelah proses *annealing* dan proses *polish*, sampel kaca Er: TZPBN dapat diuji sifat optisnya. Pengujian karakteristik optis berupa serapan optis dilakukan menggunakan spektrofotometer berkas ganda (*double beam*) pada rentang panjang gelombang UV-Vis-NIR (200-1100 nm) dengan *scan rate* sebesar 1 nm/s. Melalui pengukuran serapan kaca, dapat ditentukan energi *band gap* optis dari kaca TZPBN:Er dengan variasi PbO.

Energi *band gap* optis didefinisikan sebagai perbedaan antara pita valensi dan pita konduksi dari kaca (Xu *et al.*, 2011). Untuk menentukan energi *band gap* optis, dilakukan konversi nilai panjang gelombang menjadi energi foton ($E = h \frac{c}{\lambda}$) terlebih

dahulu. Tiap-tiap panjang gelombang memiliki nilai serapan tersendiri, nilai serapan tersebut kemudian dikalikan dengan nilai energi foton yang telah ditentukan. Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara energi foton ($h\nu$) dengan $(\alpha h\nu)^n$.

Penentuan energi *band gap* optis dapat dilakukan menggunakan metode *Taucs' plot*. Metode *Taucs' plot* merupakan metode penentuan celah optik dengan cara melakukan ekstrapolasi dari grafik hubungan antara $h\nu$ dan $(\alpha h\nu)^n$ hingga memotong sumbu energi sehingga diperoleh nilai celah pita optik (Effendi *et al.*, 2012). Energi *band gap* optis ditentukan dengan menggunakan persamaan (Oo *et al.*, 2012):

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_{opt})^n \quad (9)$$

dengan α adalah koefisien serapan, $h\nu$ adalah energi foton yang datang, B adalah konstanta transisi elektronik, n merupakan jenis dari transisi elektronik, dan E_{opt} adalah *optical band gap*. Nilai n sama dengan $\frac{1}{2}$ untuk transisi langsung (*direct transition*), sedangkan untuk transisi tidak langsung (*indirect transition*), nilai n sama dengan 2. Serapan oleh transisi tidak langsung ($n=2$) digunakan untuk banyak oksida kaca, termasuk tellurite (El-Mallawany, 2008).

Material penyusun kaca dalam penelitian ini adalah tellurite (tellurium oksida). El-Mallawany *et al.* (2008) menginformasikan bahwa serapan optis yang terjadi pada kaca tellurite merupakan serapan oleh transisi tidak langsung sehingga nilai n yang

digunakan ialah 2. Oleh sebab itu energi *band gap* optis dapat ditentukan dengan merujuk pada persamaan (9) dan diperoleh persamaan:

$$E_{opt} = h\nu - \left(\frac{\alpha h\nu}{B} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Berdasarkan persamaan (10), maka grafik yang dibuat untuk penentuan energi *band gap* optis melalui metode *Taucs' plot* adalah grafik hubungan antara $(h\nu)$

dengan $(\alpha h\nu)^{\frac{1}{2}}$. Nilai energi *band gap* optis merupakan kesesuaian antara daerah ekstrapolasi linier dengan $(\alpha h\nu)^{1/2}=0$.

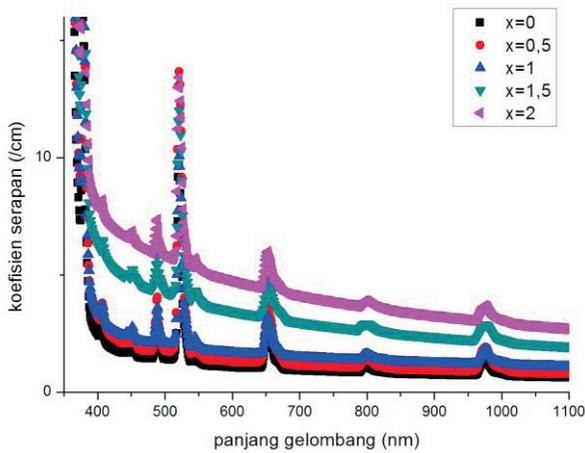
HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektrum serapan kaca Er: TZPBN pada suhu ruang ditunjukkan oleh Gambar 1. Spektrum pada Gambar 1 menunjukkan bahwa terdapat puncak-puncak serapan. Puncak-puncak serapan ini muncul disebabkan oleh adanya *doping* ion Er^{3+} . Konsentrasi ion Er^{3+} dalam penelitian ini dijaga tetap sebesar 1% mol. Namun, penambahan konsentrasi ion Pb^{2+} dalam komposisi kaca tellurite ini menyebabkan perubahan nilai serapan. Semakin tinggi konsentrasi ion Pb^{2+} pada kaca Er: TZPBN menyebabkan peningkatan nilai serapan. Sampel 5 dengan $x=2$ memiliki nilai serapan paling tinggi daripada sampel lainnya.

Pengukuran nilai serapan optis kaca Er: TZPBN menggunakan spektrofotometer SHIMADZU UV-Vis menghasilkan 8 (delapan) puncak serapan (Gambar 1). Serapan terjadi pada rentang panjang gelombang 350 nm hingga 1000 nm. Puncak serapan pada kaca TZPBN dengan variasi konsentrasi ion Pb^{2+} ini terjadi pada sekitar panjang gelombang 407 nm; 452 nm; 489 nm; 523 nm; 546 nm; 656 nm; 804 nm, dan 977 nm atau sama dengan notasi level energi ${}^4H_{9/2}$, ${}^4F_{5/2}$, ${}^4F_{7/2}$, ${}^4H_{11/2}$, ${}^4S_{3/2}$, ${}^4F_{9/2}$, ${}^4I_{9/2}$, dan ${}^4I_{11/2}$. Diagram level energi untuk ion Erbium tampak pada Gambar 2. Serapan tertinggi untuk masing-masing komposisi terjadi pada panjang gelombang sekitar 523 nm, pada tingkat energi ${}^4H_{11/2}$. Nilai serapan kaca Er: TZPBN meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ion Pb^{2+} .

Lezal, *et al.* (2001) menemukan bahwa penambahan ion Pb^{2+} pada kaca tellurite akan menggeser kurva serapan UV *edge* menuju panjang gelombang yang lebih panjang. Pada pengukuran serapan ini terdapat kecenderungan serapan untuk bergeser pada daerah dekat ultraviolet. Namun, tidak terjadi pergeseran yang signifikan karena adanya puncak-puncak serapan yang disebabkan oleh adanya *doping* ion Er^{3+} . Perbedaan peningkatan nilai serapan masing-masing komposisi pada daerah yang mendekati UV lebih signifikan daripada peningkatan serapan pada daerah cahaya tampak. Oleh sebab itu, kurva

serapan semakin miring membentuk eksponensial seiring dengan penambahan ion Pb^{2+} . Kurva serapan untuk sampel 1 dengan $x=0$ lebih landai meskipun memiliki puncak-puncak serapan yang sama dengan sampel lainnya, sedangkan untuk sampel 5 dengan $x=2$ lebih miring pada daerah panjang gelombang 600 nm hingga 350 nm. Serapan semakin tinggi saat mendekati daerah panjang gelombang 350 nm.

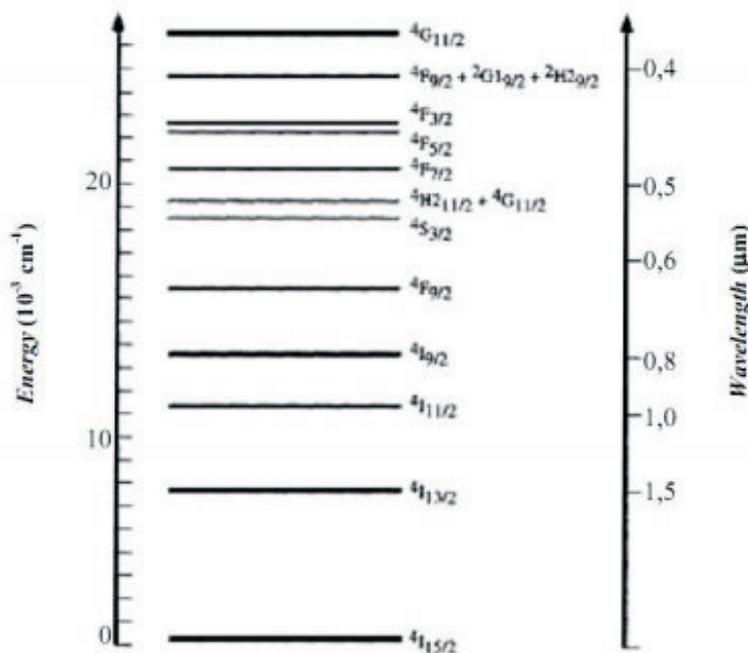


Gambar 1. Spektrum serapan kaca Er:TZPBN [55TeO₂-35ZnO-(5+x)PbO-2Bi₂O₃-(2-x)Na₂O-Er₂O₃]

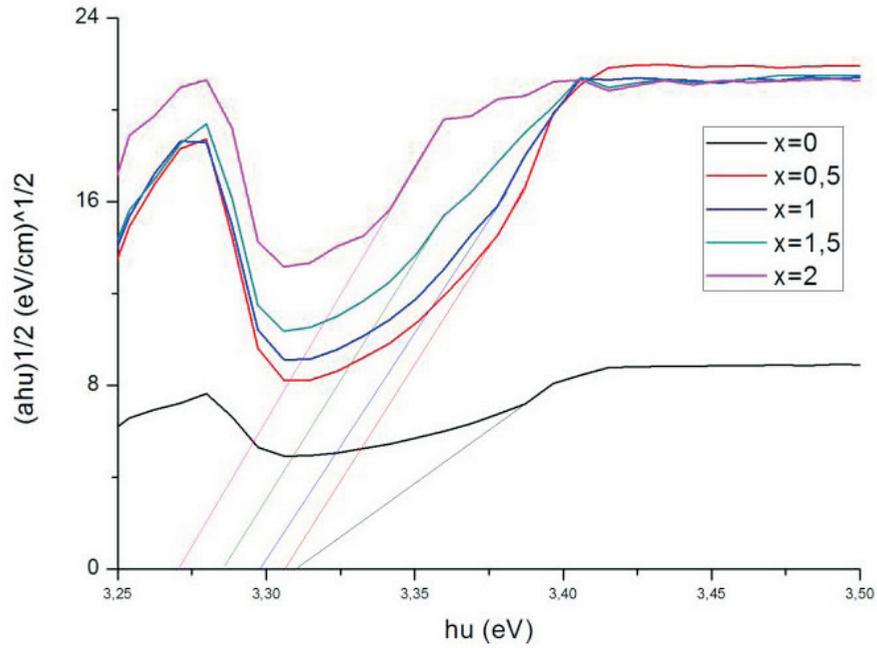
Hasil pengukuran serapan optis dapat digunakan untuk menentukan besarnya energi *band gap* optis kaca Er:TZPBN. Energi *band gap* optis dapat ditentukan menggunakan metode *Taucs' Plot* melalui persamaan (4). Setelah diperoleh nilai energi $h\nu$ dalam eV dan nilai $(\alpha h\nu)^{1/2}$, diperoleh grafik seperti tampak pada Gambar 3. Nilai energi *band gap* optis merupakan kesesuaian antara daerah ekstrapolasi linier dengan $(\alpha h\nu)^{1/2}=0$.

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai $(\alpha h\nu)^{1/2}$ pada kaca Er:TZPBN semakin besar seiring dengan bertambahnya konsentrasi ion Pb^{2+} dan berbanding terbalik dengan pengurangan Na₂O dalam kaca Er:TZPBN. Penelitian ini menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi ion Pb^{2+} sebagai ion berat (*heavy ion*) dapat menaikkan nilai $(\alpha h\nu)^{1/2}$ pada kaca.

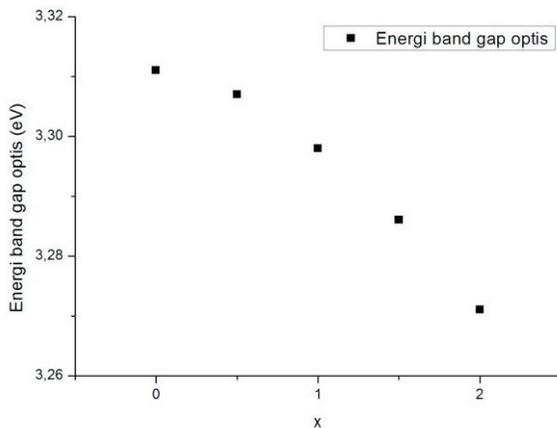
Penentuan nilai energi *band gap* optis menggunakan metode *Taucs' plot* dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil ekstrapolasi linier terhadap $(\alpha h\nu)^{1/2}=0$ merupakan nilai energi *band gap* optis. Energi *band gap* optis untuk sampel 1 dengan $x=0$ adalah 3,311 eV, untuk sampel 2 dengan $x=0,5$ sebesar 3,307 eV, untuk sampel 3 dengan $x=1$ diperoleh nilai sebesar 3,298 eV, untuk sampel 4 dengan $x=1,5$ diperoleh nilai sebesar 3,286 eV, sedangkan untuk sampel 5 dengan $x=2$ diperoleh nilai energi *band gap* optis sebesar 3,271 eV.



Gambar 2. Diagram level energi untuk ion Erbium (Becker dkk, 1999)



Gambar 3. Ekstrapolasi linier terhadap $(ah\nu)^{1/2}=0$ pada kurva $h\nu$ vs $(ah\nu)^{1/2}$ untuk kaca Er:TZPBN [55TeO₂-35ZnO-(5+x)PbO-2Bi₂O₃-(2-x)Na₂O-Er₂O₃]



Gambar 4. Energi *band gap* optis kaca Er:TZPBN [55TeO₂-35ZnO-(5+x)PbO-2Bi₂O₃-(2-x)Na₂O-Er₂O₃]

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa penambahan konsentrasi ion berat Pb²⁺ dan pengurangan konsentrasi Na⁺ dalam komposisi kaca Er:TZPBN menyebabkan penurunan nilai energi *band gap* optis. Tabel 1 menunjukkan pengaruh variasi PbO dan Na₂O terhadap densitas, indeks bias, dan energi *band gap* optis pada kaca Er:TZPBN [55TeO₂-35ZnO-(5+x)PbO-2Bi₂O₃-(2-x)Na₂O-Er₂O₃]. Nilai densitas dan indeks bias diperoleh dari hasil pengukuran pada penelitian sebelumnya (Jauhariyah, *et al.*, 2014).

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa PbO sebagai senyawa yang memiliki ion berat dapat meningkatkan nilai densitas. Peningkatan nilai densitas menyebabkan terjadinya pemadatan volume kaca Er:TZPBN. Salah satu faktor yang memengaruhi nilai indeks bias adalah densitas. Karena penambahan PbO dapat meningkatkan densitas, maka indeks bias

Tabel 1. Tabel pengaruh variasi PbO dan Na₂O terhadap densitas, indeks bias, dan energi *band gap* optis pada kaca Er:TZPBN [55TeO₂-35ZnO-(5+x)PbO-2Bi₂O₃-(2-x)Na₂O-Er₂O₃]

Sampel ke-	x	Densitas (gr/cm ³)	Indeks bias	Energi <i>band gap</i> optis (eV)
1	0	5,6587±0,0004	1,7090	3,311
2	0,5	5,7127±0,0003	1,7556	3,307
3	1	5,7294±0,0003	1,7675	3,298
4	1,5	5,8024±0,0004	1,9347	3,286
5	2	5,8382±0,0002	2,0057	3,271

kaca Er:TZPBN tersebut juga meningkat. Penambahan konsentrasi PbO juga meningkatkan nilai serapan optis kaca Er:TZPBN. Namun, penambahan senyawa PbO ini tidak meningkatkan energi *band gap* optis. Energi *band gap* optis menurun seiring dengan penambahan PbO dan pengurangan Na₂O.

Hal ini juga terjadi pada penelitian Eraiah (2010), setiap kenaikan konsentrasi PbO akan menurunkan energi *band gap* optis kaca tellurite. Alasan lain bisa jadi bahwa pada konsentrasi dopan tinggi, perluasan pita energi oleh pengotor dan pembentukan pita konduksi dan pita valensi akan mengakibatkan penurunan E_{opt} seperti pada semikonduktor (Aw, *et al.*, 1991 dalam Eraiah, 2006). Jika penelitian Eraiah (2006) menggunakan variasi konsentrasi samarium, dalam penelitian ini variasi berupa perubahan konsentrasi PbO. PbO memiliki molaritas yang tinggi mengingat Pb²⁺ merupakan *heavy ion*. Penambahan PbO akan meningkatkan konsentrasi dopan sehingga perluasan pita energi oleh pengotor serta pembentukan pita konduksi dan pita valensi. Oleh sebab itu, peningkatan PbO mengakibatkan penurunan nilai energi *band gap* optis kaca tellurite.

Mustafa, *et al.* (2013) juga menemukan bahwa nilai *band gap* optis untuk proses transisi tidak langsung sebelum iradiasi menurun seiring dengan penambahan PbO dari 0% hingga 0,15% pada kaca dengan komposisi (TeO₂)_y[(PbO)_x(B₂O₃)_{1-x}]_{1-y}. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya gangguan jaringan yang menyebabkan perpanjangan kondisi lokal dalam kesenjangan (*gap*). Mustafa, *et al.* (2013) pun mengungkapkan bahwa nilai E_{opt} untuk transisi tidak langsung menurun dengan meningkatnya dosis iradiasi yang mengandung PbO ≤ 0,2% karena peningkatan derajat gangguan dari fase amorf.

Rentang energi *band gap* optis dalam penelitian ini masih berada pada jangkauan 3 eV. Hal ini menunjukkan bahwa kaca Er:TZPBN dapat dimanfaatkan sebagai material semikonduktor.

SIMPULAN

Kaca Er:TZPBN [55TeO₂-35ZnO-(5+x)PbO-2Bi₂O₃-(2-x)Na₂O-Er₂O₃] telah difabrikasi dengan metode *melt quenching*. Penambahan PbO dalam komposisi ini mengakibatkan peningkatan densitas, peningkatan nilai indeks bias, dan peningkatan nilai serapan optis pada kaca. Namun, penambahan PbO menurunkan nilai energi *band gap* optis pada kaca Er:TZPBN. Untuk sampel 1 dengan x=0, nilai energi *band gap optis* sebesar 3,311. Untuk sampel 2 dengan x=0,5, nilai energi *band gap optis* sebesar 3,307. Untuk sampel 3 dengan x=1, nilai energi *band gap optis* sebesar 3,298. Untuk sampel 4 dengan x=1,5, nilai energi *band gap optis* sebesar 3,286. Sedangkan untuk sampel 5 dengan x=2, nilai energi *band gap optis* sebesar 3,271. Rentang energi

band gap optis ini masih berada dalam jangkauan 3 eV yang menunjukkan bahwa kaca Er:TZPBN ini dapat dimanfaatkan sebagai material semikonduktor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada *Optics and Photonics Research Center (OPR)*, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Sebelas Maret atas fasilitas laboratorium dalam penelitian ini dan tempat pengembangan kaca tellurite. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Surabaya atas uji serapan menggunakan *double-beam UV-Vis Spectroscopy*.

DAFTAR PUSTAKA

- Becker CP, Olsson NA, Simpson SR, 1999. *Erbium-Doped Fiber Amplifiers Fundamentals and Technology*, USA: Academic Press.
- Doremus RH, 2004. *Glass Science*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Effendi M & Bilalodin, 2012. Analisis sifat optik lapisan tipis TiO₂ doping nitrogen yang disiapkan dengan metode spin coating. *Makalah*. Disampaikan dalam Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY, Purworejo, 14 April 2012.
- El-Deen LMS, Al-Salkhi MS, & Elkholly, MM, 2008. IR and UV spectral studies for rare earth-doped tellurite glass. *Journal of Alloy and Compounds*, 456: 333-339.
- El-Mallawany R, Abdalla RD & Ahmed IA, 2008. New tellurite glasses: optical properties. *Science Direct Materials Chemistry and Physics*, 109: 291-296.
- El-Meliegy E & Noort RV, 2012. *Glasses and Glass Ceramics for Medical Applications*. New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Eraiah B, 2006. Optical properties of samarium doped zinc-tellurite glasses. *Bull. Mater. Sci.*, 29(4): 375-378.
- Eraiah B, 2010. Optical properties of lead tellurite glasses doped with samarium trioxide. *Bull. Material Science*, 33(4): 391-394.
- Jauhariyah MNR, Marzuki A & Cari, 2014. The effect of reducing Na₂O and increasing PbO on Optical and Physical Properties of TZPBN:Er Glasses. *Makalah*. Disampaikan dalam ICRIEMS 2014 (International Conference Research on Mathematics and Science 2014), Yogyakarta, 18-20 May 2014, P-45 – P-53.
- Lezal D, Jitka P, Petr K, Jana B, Marcel P, & Jiri Z, 2001. Heavy metal oxide glasses: preparation and physical properties. *Journal of Non-Crystalline Solid*, 284: 288-295.
- Massera J, 2009. *Nucleation and growth behavior of tellurite-based glasses suitable for mid-infrared applications*. Thesis. Clemson University.
- Mustafa IS, Kamari HM, Yusoff WMDW, Aziz SA, & Rahman AA, 2013. Structural and optical properties of lead-boro-tellurite glasses induced by gamma ray. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(2):3201-3214.
- Oo HM, Mohamed-Kamari H, & Wan-Yusof WMD, 2012. Optical properties of bismuth tellurite based glass. *International Journal of Molecular Sciences*, 13: 4623-4631.
- Shelby JE, 2005. *Introduction to Glass Science and Technology 2nd Edition*. UK: The Royal Society of Chemistry.
- Xu T, Chen F, Dai S, Shen X, Wang X, Nie Q, Liu C, Xu K, & Heo J, 2011. Glass formation and third order optical nonlinear properties within TeO₂-Bi₂O₃-BaO Pseudo Ternary System, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357: 2219-2222.