



PREPARASI DAN KARAKTERISASI SIFAT OPTIK ION EUROPIUM (Eu_2O_3) DIDOPING DALAM SISTEM GELAS BORON TRIOKSIDA (B_2O_3)

Adri Ely Erien Silitonga dan Juniastel Rajagukguk

Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan

juniastel@unimed.ac.id

Diterima: April 2023. Disetujui: Mei 2023. Dipublikasikan: Juni 2023.

ABSTRAK

Karakterisasi sistem gelas boron trioxide yang didoping oleh ion aktif Europium (Eu^{3+}) telah dilakukan dengan menggunakan metode Melt-Quenching. Komposisi gelas boron trioxide yang dibuat mengikuti rumus kimia $60\text{B}_2\text{O}_3 - 20\text{TeO}_2 - 10\text{Na}_2\text{O} - 10\text{Gd}_2\text{O}_3$ (% mol) kemurnian diatas 99%. Pengujian sifat fisis gelas dilakukan dengan metode Archimedes. Pengujian sifat struktur gelas menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Fourier-transformed infrared (FTIR). Pengujian sifat optik gelas menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil XRD menunjukkan gelas yang dibuat memiliki struktur amorf. Hasil FTIR menyatakan pita serapan yang terjadi pada daerah semua sampel gelas boron trioxide mengalami penurunan tampang lintang pita serapan pada panjang gelombang 2100nm, namun terjadi penurunan yang signifikan pada sampel BTNGEu2.0 yaitu sejauh 51 dari 93 arb.units. Perubahan penurunan signifikan tidak tampak pada panjang gelombang 2100nm pada sampel BTNG dan cenderung menurun secara normal hingga panjang gelombang 2500nm sejauh 81 dari 93 arb.units. Sampel BTNGEu2.0 memiliki intensitas absorpsi yang paling rendah pada panjang gelombang 2100nm yaitu sebesar 51 arb units, sedangkan pada sampel BTNGEu0.5 memiliki peak intensitas absorpsi paling tinggi pada panjang gelombang 1950 nm yaitu sebesar 104 arb.units.

Kata Kunci: Gelas, Sifat Fisis, Sifat Struktur, Sifat Optik

ABSTRACT

The characterization of the boron trioxide glass system doped by the active ion Europium (Eu^{3+}) has been carried out using the Melt-Quenching method. The composition of the boron trioxide glass is made according to the chemical formula $60\text{B}_2\text{O}_3 - 20\text{TeO}_2 - 10\text{Na}_2\text{O} - 10\text{Gd}_2\text{O}_3$ (% mol) purity above 99%. Testing of the physical properties of glass is carried out using the Archimedes method. Testing the structural properties of glass using X-Ray Diffraction (XRD) and Fourier-transformed infrared (FTIR). Testing the optical properties of the glass using a UV-Vis spectrophotometer. XRD results show the glass made has an amorphous structure. The FTIR results show that the absorption band that occurs in the area of all boron trioxide glass samples has decreased in cross-section of the absorption band at a wavelength of 2100nm, but there is a significant decrease in the BTNGEu2.0 sample, which is as far as 51 out of 93 arb.units. Significant decrease changes were not seen at the 2100nm wavelength in the BTNG samples and tended to decrease normally to 2500nm wavelengths as far as 81 of 93 arb.units. The BTNGEu2.0 sample has the lowest absorption intensity at a

wavelength of 2100nm, which is 51 arb units, while the BTNGEu0.5 sample has the highest absorption intensity peak at a wavelength of 1950 nm, which is 104 arb.units.

Keywords: Glass, Physical Properties, Structural Properties, Optical Properties

PENDAHULUAN

Gelas berbasis boron trioksida murni memiliki energi fonon tinggi dalam urutan 1300–1500cm⁻¹, dan ketika gelas ini ditambahkan dengan TeO₂ dan alkali oksida akan menghasilkan pengurangan energi fonon yang signifikan dalam urutan 600–800cm⁻¹. Lebih lanjut, sifat optik seperti indeks bias tinggi dan non-linearitas optik tinggi, gelas B₂O₃-TeO₂ juga sangat diminati untuk pembuatan berbagai perangkat optik baru[1]. Pemilihan ion europium trivalen telah terbukti layak untuk studi material tak teratur, karena struktur tingkat energinya yang sederhana dengan tanah ⁷F₀ non-degenerasi dan status emisi ⁵D₀. Sifat optik ion Eu³⁺ dikenal sangat peka terhadap lingkungan sekitarnya[2].

Sebagian besar ion tanah jarang yang tergabung dalam matriks kaca oksida menampilkan keadaan valensi tunggal, yaitu +3. Namun, ion europium dilaporkan ada dalam keadaan valensi +2 dan +3[3]. Evolusi fitur spektral IR dari gelas xEB dengan memodifikasi konten Eu₂O₃, x, terkait dengan perubahan struktural yang dihasilkan oleh variasi x. Perubahan struktural ini (seperti yang ditunjukkan oleh evolusi pita serapan pada 870, 1050 dan 1260 cm⁻¹) terutama terdiri dari penurunan jumlah gugus struktur boron trioksida dan unit struktural BO₃ (diubah dalam satuan struktural BO₄) dengan peningkatan x ke atas menjadi 0.20. Perubahan struktural yang dibuktikan oleh investigasi IR pada gelas xEB menunjukkan bahwa ion europium memainkan peran pengubah jaringan dalam gelas ini[4].

Pengukuran spektroskopi dilakukan untuk sampel gelas timbal-borosilikat dan boro-telurit yang didoping Eu³⁺. Analisis kuantitatif telah dilakukan dengan mengadaptasi model teoritis yang menghubungkan rasio intensitas ⁵D₀-⁷F₀ / ⁵D₀-⁷F₂ disepanjang bidang kristal ⁷F₁. Hasil ini menunjukkan bahwa hubungan antara rasio intensitas spektral dan lebar pemisahan bidang kristal dalam kaca harus cukup umum.

Penyerapan, fluoresensi, dan eksitasi pita pada transisi f–f dari ion Eu³⁺ yang diamati menghasilkan intensitas fluoresensi merah pada transisi ⁵D₀-⁷F₂ dari ion Eu³⁺ lebih kuat daripada transisi ⁵D₀-⁷F₁, ⁷F₀ dengan penurunan nada warna merah. Fluoresensi merah padam di Konsentrasi Eu₂O₃ lebih dari 3,5 mol% dalam oksida gelas. Pada B₂O₃ dan gelas berbasis TeO₂, intensitas penyerapan yang terintegrasi penampang meningkat dengan meningkatkan kebasaaan[5].

METODE PENELITIAN

Adapun jumlah sampel yang mewakili gelas boron trioxide ini adalah sebanyak 5 sampel gelas dengan inisial masing - masing adalah BTNG, Eu: BTNG1, Eu: BTNG2, Eu: BTNG3, Eu: BTNG4 seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variasi senyawa pada sistem gelas Boron

Jenis Sampel	Komposisi Gelas
BTNG	0.6B ₂ O ₃ – 20TeO ₂ – 10Na ₂ O – 10Gd ₂ O ₃
Eu:BTNG1	0.595B ₂ O ₃ – 20TeO ₂ – 10Na ₂ O – 10Gd ₂ O ₃ – 0.5Eu ₂ O ₃
Eu:BTNG2	0.59B ₂ O ₃ – 20TeO ₂ – 10Na ₂ O – 10Gd ₂ O ₃ – 1.0Eu ₂ O ₃
Eu:BTNG3	0.585B ₂ O ₃ – 20TeO ₂ – 10Na ₂ O – 10Gd ₂ O ₃ – 1.5Eu ₂ O ₃
Eu:BTNG4	0.58B ₂ O ₃ – 20TeO ₂ – 10Na ₂ O – 10Gd ₂ O ₃ – 2.0Eu ₂ O ₃

Masing-masing komposisi dicampur kedalam krusibel alumina lalu dimasukkan kedalam *furnace* pada suhu 1200°C selama 10 jam dan ditahan selama 3 jam dengan tujuan semua bahan benar - benar tercampur secara merata. Selanjutnya, masing - masing campuran dituangkan kedalam cetakan kaca dengan waktu secepat mungkin agar bahan

campuran tidak membentuk kristal. Selanjutnya, masing-masing sampel gelas dimasukkan kedalam *oven annealing* dengan suhu 500°C selama 1½ jam serta didinginkan dengan *cooling rate* 2°C/menit ke suhu 100°C hingga mencapai suhu kamar dengan tujuan mencegah terjadinya retakan (*crack*) pada sampel. Untuk memperoleh material gelas lebih halus dan transparan maka perlu dilakukan *cut* (pemotongan) dan *polish* (penghalusan). Kemudian, untuk mengetahui sifat fisis setiap sampel gelas dilakukan dengan metode Archimedes dengan melakukan penimbangan terhadap benda saat di udara dan dibandingkan dengan selisih berat benda di udara dengan di cairan. Setelah itu, untuk mengetahui sifat struktur setiap sampel gelas menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Fourier-transformed infrared (FTIR). Tahap terakhir yang dilakukan, pengujian sifat optik dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

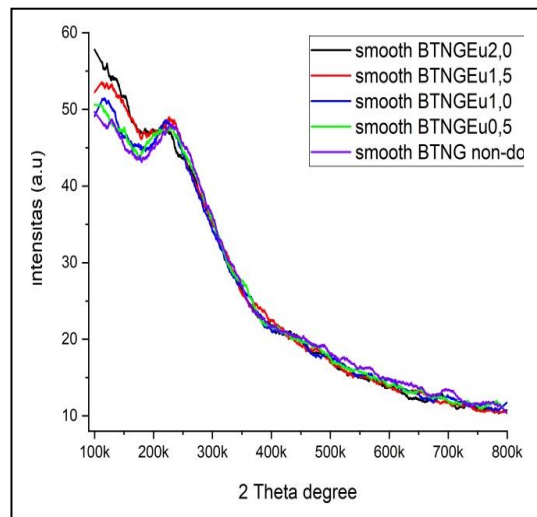
Adapun sifat fisis dari gelas fosfat seperti halnya massa molar, kerapatan (ρ), volume molar, konsentrasi ion Eu³⁺, refraktivitas indeks (n), tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan fisika Metode Archimedes.

Diantara keempat sampel yang telah diteliti, sampel BTNG non-doping Eu memiliki kerapatan tertinggi dibandingkan sampel lainnya. Pada dasarnya, kerapatan pada gelas didasarkan pada konsentrasi ion senyawa penyusun gelas atau perubahan konsentrasi ion Eu³⁺. Nilai kerapatan pada masing-masing sampel menunjukkan variasi non-linear. Peningkatan dan penurunan kerapatan gelas menyebabkan perubahan massa molekul dan struktur gelas. Struktur gelas akan semakin menurun kepadatannya ketika menyentuh volume molar satu molar dan kembali meningkat kepadatannya ketika menuju dua molar. diketahui bahwa perubahan volume molar terkait dengan perubahan struktur kaca, semakin banyak atom oksigen yang tidak menjembatani di dalam gelas hanya unit BO₃

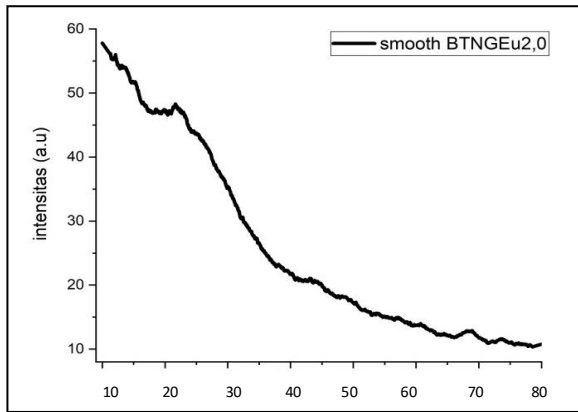
segitiga yang hampir rata dengan satu oksigen yang tidak menjembatani atom terbentuk. Diketahui bahwa kerapatan kaca sebanding dengan rata-rata berat molekul kaca dan berbanding terbalik dengan volume molar[6].

Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan sifat fisis material gelas boron trioksida

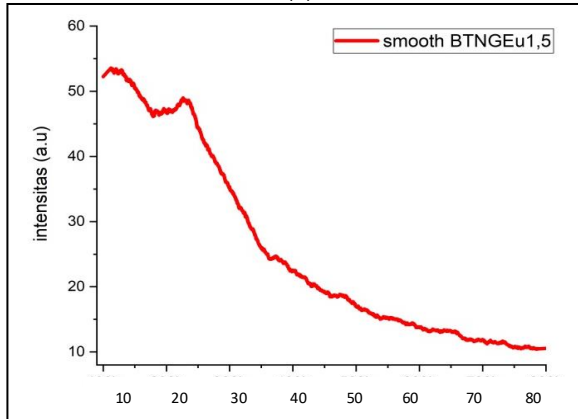
Parameter	Inisial Gelas				
	BT NG	BT NG	BT NG	BT NG	BT NG
	E 0,5	E 1	E 1,5	E 2	
Massa Molar	115,43	116,85	118,26	119,67	121,08
Kerapatan (gr/cm ³)	4,3	4,1	3,3	4,4	5,5
Volume molar (cm ³ /mol)	34,026	34,939	35,989	35,892	36,102
Konsentrasi Ion Eu ³⁺ (N x10 ²² ion/cm ³)	0	0,861	1,673	2,516	3,336
Polaron radius (Å) x10 ⁻⁸	0	1,965	1,575	1,374	1,251
Jarak Inter Nuklir (Å) x10 ⁻⁸	0	4,877	3,909	3,412	3,106
Kekuatan Medan, (F x 10 ¹⁷ cm ²)	0	1,553	2,417	3,173	3,829



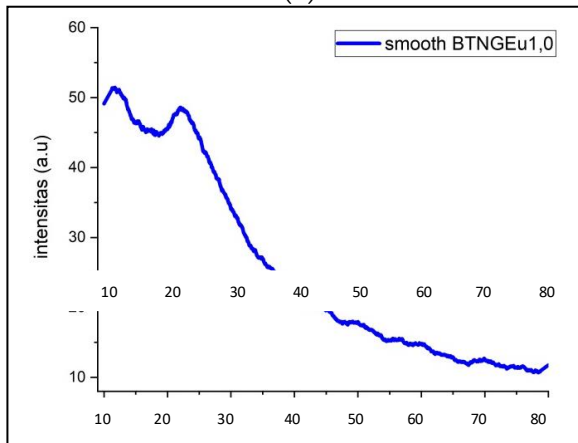
Gambar 1. Spektrum XRD Seluruh Sampel Gelas Boron Trioksida



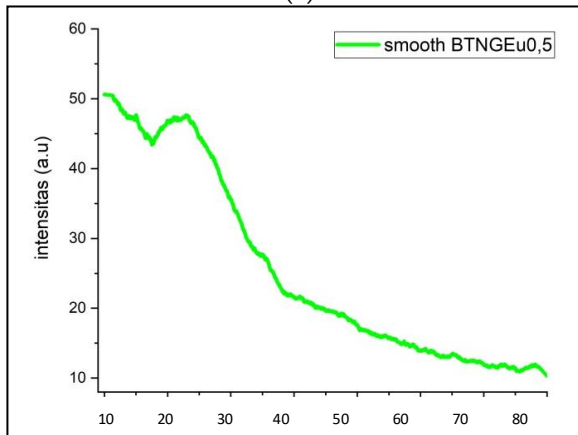
(a)



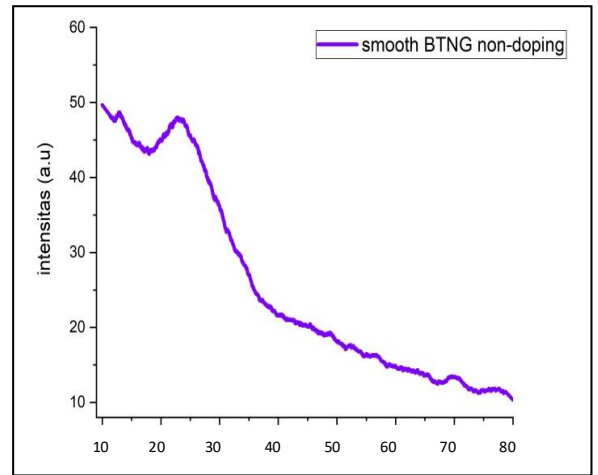
(b)



(c)



(d)



(e)

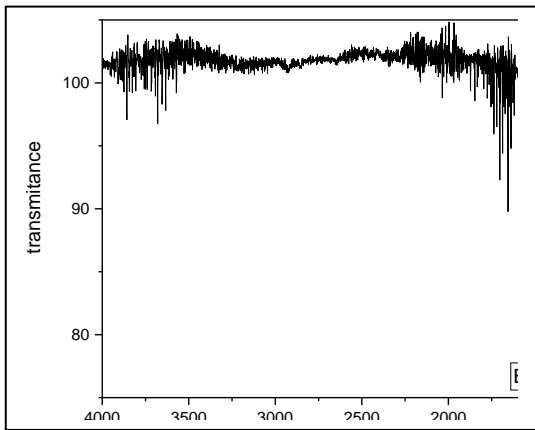
Gambar 2. (a) Spektrum XRD BTNGE 2,0; (b)Spektrum XRD BTNGE1,5; (c)Spektrum XRD BTNGE1,0; (d)Spektrum XRD BTNGE0,5; dan (e)Spektrum XRD BTNG non-doping

Pembahasan

Hasil dari spektrum XRD pada gelas boron trioxide ditunjukkan pada Gambar 1, dimana pada masing-masing sampel, pola spektrum menunjukkan bentuk yang sama, yakni tidak ditemukannya puncak yang tajam sepanjang daerah pengamatan sudut difraksi (2θ), pola difraksi sinar-X dari kaca menunjukkan tidak ada puncak difraksi yang diamati, tipikal gangguan struktural jarak jauh yang menegaskan sifat amorf kaca, karena spektrumnya serupa di semua lima gelas. Namun dapat diamati beberapa gundukan (bukit) disekitar sudut difraksi 24° . Hal ini mengindikasikan bahwa tidak adanya sifat kristal di dalam material gelas sehingga dapat dinyatakan gelas boron trioxide bersifat amorf (tidak adanya puncak yang tajam). Bentuk gundukan ini merupakan hasil dari keteraturan jarak orde inter-atomik yang disebut juga *short range order* (SRO) antar molekul-molekul gelas yang terdekat. Untuk gelas boron trioxide, SRO dipengaruhi oleh material *host*, sedangkan intensitas gundukan untuk setiap jenis gelas terlihat sama.

Tabel 3. Puncak posisi spektrum FTIR untuk medium gelas boron Trioxide

Daerah Serapan (cm ⁻¹)	Keterangan
400 - 800 cm ⁻¹	ditetapkan untuk pembengkokan getaran dari berbagai segmen borat
610- 680 cm ⁻¹	mode tekuk dari
720 - 780 cm ⁻¹	Hubungan Te-O-Te atau O-Te-O
800 1200 cm ⁻¹	Peregangan B-O dalam satuan BO ₄ tetrahedral
1200 - 1600 cm ⁻¹	asimetris meregangkan relaksasi ikatan B-O dari unit trigonal [BO ₃]



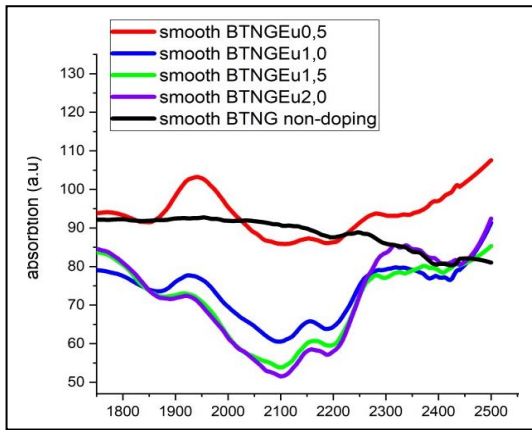
Gambar 3. Spektrum FTIR untuk gelas boron trioxide

FTIR eksperimental dari gelas 60B₂O₃ - 20TeO₂ - 10Na₂O - 10Gd₂O₃ - xEu₂O₃ (%mol) (dengan x = 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0) menghasilkan spektroskopi FTIR yang digunakan, memberikan informasi penting tentang susunan unit struktural kaca gelas ini. Pita yang terletak sekitar 460 cm⁻¹, dalam kisaran 610 - 680 cm⁻¹ dan 720-780 cm⁻¹ diberi mode tekukan yang saling bertautan pada Te-O-Te atau O-Te-O sehingga menghasilkan mode regangan [TeO₂]-doping Eu dan berbentuk piramida trigonal dengan oksigen yang berfungsi sebagai penghubung dari mode peregangan piramida trigonal [TeO₂] non-doping dengan oksigen bebas lainnya. Diketahui bahwa dalam material B₂O₃ memiliki intensitas kadar kepekatan sekitar 80% dari material boron dan 20% oksigen[7].

Mode getaran dari jaringan boron trioxide cenderung aktif di tiga wilayah

spektral inframerah. Fitur IR yang terletak di wilayah pertama yang berkisar antara 1200 dan 1600 cm⁻¹ disebabkan oleh relaksasi regangan asimetris ikatan B-O dari unit trigonal [B₂O₃]-doping Eu. Wilayah kedua berkisar antara 800 dan 1200 cm⁻¹ dan fitur spektralnya disebabkan oleh peregangan ikatan B-O dari unit B₂O₃- doping Eu. Di wilayah ketiga mulai dari 400 hingga 800 cm⁻¹ terdapat pita penting yang terletak sekitar 720 cm⁻¹ yang ditetapkan untuk getaran lentur berbagai segmen borat. Spektrum IR tercatat untuk gelas 60B₂O₃ - 20TeO₂ - 10Na₂O - 10Gd₂O₃ - xEu₂O₃ (%mol) (dengan x = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0).

Berdasarkan jurnal [8] Spektrum FTIR eksperimental dari penelitian (1 - x) Gelas TeO₂ . xB₂O₃ (dengan x = 0,3 dan 0,4) Spektroskopi FTIR digunakan untuk memperoleh informasi penting tentang susunan unit-unit struktural gelas tersebut. Pita yang terletak sekitar 460 cm⁻¹, dalam kisaran 610- 680 cm⁻¹ dan 720-780 cm⁻¹ ditetapkan sebagai mode tekuk dari Hubungan Te-O-Te atau O-Te-O, mode regangan [TeO₄] trigonal piramidal dengan menjembatani oksigen dan mode peregangan [TeO₃] piramida trigonal dengan oksigen non-jembatan. Fitur IR terletak di wilayah pertama yang berkisar antara 1200 dan 1600 cm⁻¹ disebabkan oleh asimetris meregangkan relaksasi ikatan B-O dari unit trigonal [BO₃] Dan juga berdasarkan jurnal [9] Karakterisasi FTIR bahan yang mengandung boron banyak digunakan dalam bidang gelas dan keramik. Mode getaran borat terdeteksi di tiga wilayah inframerah utama. Absorbansi IR dalam kisaran 1200-1500 cm⁻¹ ditetapkan untuk peregangan asimetris ikatan B-O dalam unit trigonal BO₃. Daerah kedua berkisar antara 800 dan 1200 cm⁻¹ dan fitur spektral disebabkan oleh peregangan ikatan B-O dari tetrahedral unit BO₄. Di wilayah ketiga mulai dari 400 hingga 800 cm⁻¹ ada pita penting yang terletak sekitar 720 cm⁻¹ yang ditetapkan untuk pembengkokan getaran dari berbagai segmen borat.



Gambar 3. Spektrum tampang lintang absorpsi untuk gelas Boron Trioxide

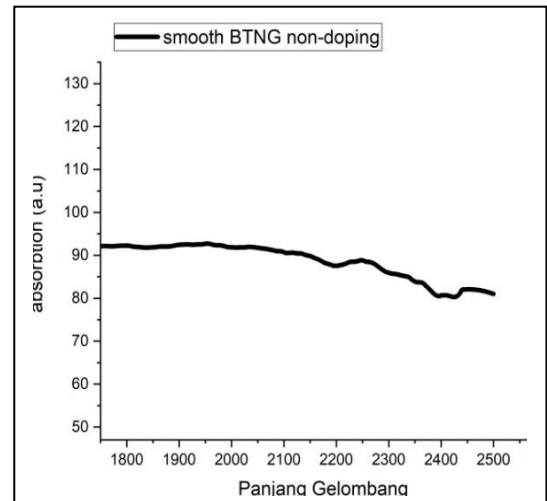
Pada spektrum tampang lintang terdapat banyak sekali puncak yang ukurannya mempengaruhi setiap perhitungannya. dikarenakan ukurannya yang tidak menyerupai spektrum gelas, maka absorbansi tidak dapat diperhitungkan secara manual. Pita serapan kelima sample muncul pada panjang gelombang 400nm.

Spektrum absorpsi pada setiap gelas mengalami perubahan bentuk dan ketinggian puncak, dimulai dari :

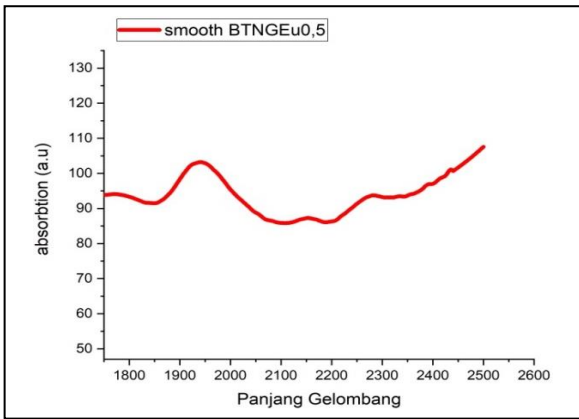
1. Sampel BTNG pada panjang gelombang 1700nm sampai 2500nm disepanjang 93 hingga 81 arb.units, ditunjukkan pada Gambar 4
2. Sampel BTNGEu0.5 pada panjang gelombang 1700nm sampai 2500nm disepanjang 94 hingga 106 arb.units, ditunjukkan pada Gambar 5
3. Sampel BTNGEu1.0 pada panjang gelombang 1700nm sampai 2500nm disepanjang 81 hingga 91 arb.units, ditunjukkan pada Gambar 6
4. Sampel BTNGEu1.5 pada panjang gelombang 1700nm sampai 2500nm disepanjang 85 hingga 85 arb.units, ditunjukkan pada Gambar 7
5. Sampel BTNGEu2.0 pada panjang gelombang 1700nm sampai 2500nm disepanjang 86 hingga 93 arb.units, ditunjukkan pada Gambar 8.

Transisi hypersensitive tersebut terjadi pada posisi yang sama untuk setiap gelas boron trioxide yang di doping dengan ion Eu^{3+} kecuali gelas boron trioxide non-doping yang cenderung tidak memiliki peak. Semua sampel gelas boron trioxide yang di doping ion Eu^{3+} mengalami penurunan tampang lintang pita serapan pada panjang gelombang 2100 nm, namun terjadi penurunan paling rendah intensitas absorpsi pada sampel BTNGEu2.0 yang ditunjukkan oleh Gambar 8 yaitu pada lembah grafik sebesar 51 arb units. Perubahan penurunan intensitas absorpsi tidak tampak pada panjang gelombang 2100 nm pada sampel BTNG non-doping yang ditunjukkan oleh Gambar 4 dan cenderung menurun secara normal hingga panjang gelombang 2500 nm sebesar 81 dari 93 arb.units dan merupakan intensitas absorpsi paling teratur.

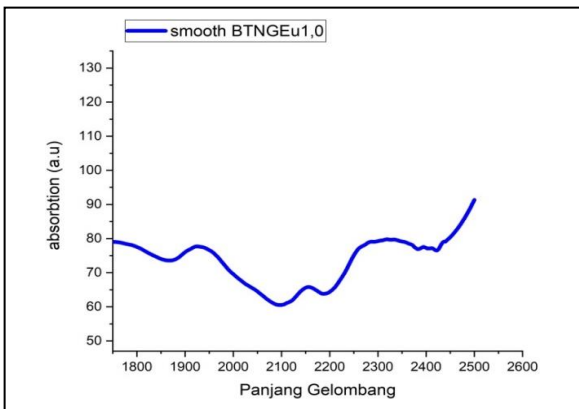
Sampel BTNGEu2.0 pada Gambar 8 memiliki intensitas absorpsi dengan yang paling rendah pada panjang gelombang 2100nm yaitu sebesar 51 arb units, sedangkan pada sampel BTNGEu0.5 pada Gambar 5 memiliki peak intensitas absorpsi paling tinggi pada panjang gelombang 1950 nm yaitu sebesar 104 arb.units.



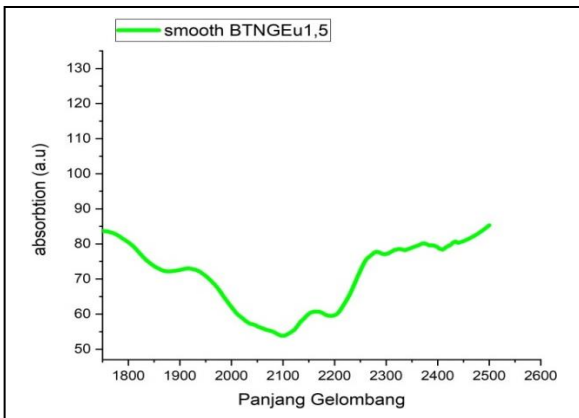
Gambar 4. spektrum absorpsi BTNG



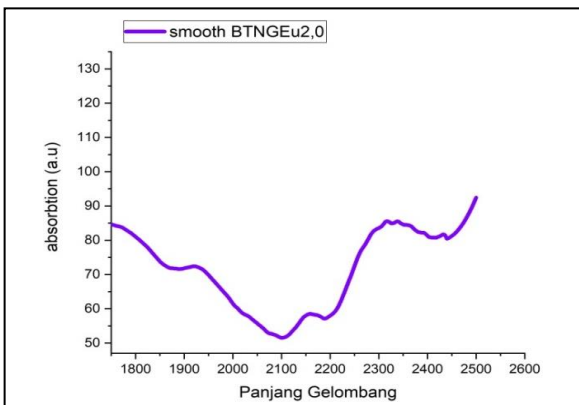
Gambar 5. Spektrum absorpsi BTNGEu0.5



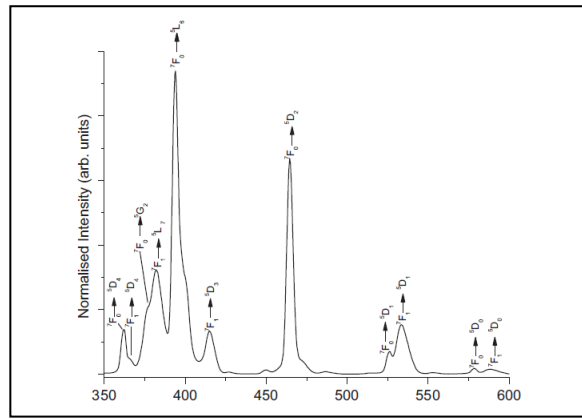
Gambar 6. spektrum absorpsi BTNGEu1.0



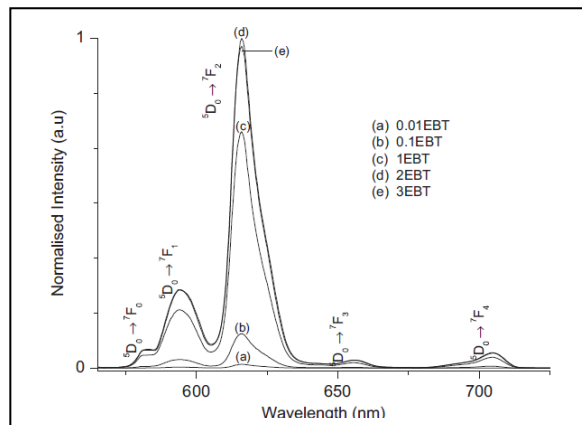
Gambar 7. spektrum absorpsi BTNGEu1.5



Gambar 8. spektrum absorpsi BTNGEu2.0



Gambar 9. spektrum eksitasi dari Eu^{3+} : kaca boro-tellurite 2EBT[2]



Gambar 10. Pendaran gelas boro-tellurit.[2]

Berdasarkan [2] Spektrum eksitasi dari kaca boro-tellurit Eu^{3+} :2EBT yang direkam oleh pantauan pada misi 616nm yang salah ditunjukkan pada Gambar 4. Spektrum berisi tujuh transisi eksitasi seperti $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_4$, $^7\text{F}_1 \rightarrow ^5\text{D}_4$, $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{G}_2$, $^7\text{F}_1 \rightarrow ^5\text{L}_7$, $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{L}_6$, $^7\text{F}_1 \rightarrow ^5\text{D}_3$, $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_2$, $^7\text{F}_1 \rightarrow ^5\text{D}_1$, $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{D}_0$ dan $^7\text{F}_1 \rightarrow ^5\text{D}_0$ bersesuaian ke masing-masing posisi pita di 363,367,377,382,393,415,464,526, 533, 579 dan 588nm. Diantara transisi tersebut adalah eksitasi transisi $^7\text{F}_0 \rightarrow ^5\text{L}_6$ adalah pengukuran lebih intens. Oleh karena itu emisi dilakukan dengan menarik sampel pada 393nm menggunakan lampu flash xenon. Spektrum luminesensi yang dinormalisasi dari Eu^{3+} . Gelas xEBT emisinya mengandung lima transisi seperti $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_0$, $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$, $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$, $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_3$ dan $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_4$ dengan energi masing-masing sebesar 583.594.616.654 dan 705nm. Karena kurangnya fasilitas instrumen, transisi $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_6$ yang diketahui berada di daerah inframerah tidak dapat diamati[10].

KESIMPULAN DAN SARAN

Penambahan doping ion Eu^{3+} pada sistem gelas boron trioxide menghasilkan karakteristik sifat optik, namun tidak memiliki luminescence, dan celah pita energi yang beragam. Dari kelima gelas, kandidat terbaik untuk bahan material optik yakni gelas BTNGEu0.5. Gelas BTNGEu0,5 inimemiliki peak intensitas absorpsi paling tinggi pada panjang gelombang 1950 nm yaitu sebesar 104 arb.units dan Transisi hypersensitive tersebut terjadi pada posisi yang sama untuk setiap gelas boron trioxide yang di doping dengan ion Eu^{3+} kecuali gelas boron trioxide non-doping yang cenderung tidak memiliki peak. Semua sampel gelas boron trioxide yang di doping ion Eu^{3+} mengalami penurunan tampang lintang pita serapan pada panjang gelombang 2100 nm, namun terjadi penurunan paling rendah intensitas absorpsi pada sampel BTNGEu2.0 yang ditunjukkan oleh Gambar 8 yaitu pada lembah grafik sebesar 51 arb units. Perubahan penurunan intensitas absorpsi tidak tampak pada panjang gelombang 2100 nm pada sampel BTNG non-doping yang ditunjukkan oleh Gambar 4 dan cenderung menurun secara normal hingga panjang gelombang 2500 nm sebesar 81 dari 93 arb.units dan merupakan intensitas absorpsi paling teratur. memuat jawaban atas pertanyaan penelitian. Saran diberikan atas dasar hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- J. Rajagukguk, J. Kaewkhao, M. Djamal, R. Hidayat, and Y. Ruangtaweeep, "Structural and optical characteristics of Eu^{3+} ions in sodium-lead-zinc-lithium-borate glass system," *J. Mol. Struct.*, vol. 1121, pp. 180–187, 2016, doi: 10.1016/j.molstruc.2016.05.048.
- K. Maheshvaran and K. Marimuthu, "Concentration dependent Eu^{3+} doped boro-tellurite glasses - Structural and optical investigations," *J. Lumin.*, vol. 132, no. 9, pp. 2259–2267, 2012, doi: 10.1016/j.jlumin.2012.04.022.
- G. Chadeyron-Bertrand, D. Boyer, C. Dujardin, C. Mansuy, and R. Mahiou, "Structural and scintillation properties of spray coated lutetium borate films doped with Ce^{3+} and Eu^{3+} ," *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 229, no. 2, pp. 232–239, 2005, doi: 10.1016/j.nimb.2004.11.029.
- E. Culea and I. Bratu, "Structural and magnetic behaviour of some borate glasses containing dysprosium ions," *J. Non. Cryst. Solids*, vol. 262, no. 1, pp. 287–290, 2000, doi: 10.1016/S0022-3093(99)00709-7.
- J. Rajagukguk et al., "Synthesis and Structural Properties of Sm^{3+} doped Sodium Lithium zinc Lead Borate Glasses," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1811, 1-7.
- Y. Yang et al., "Investigation on structure and optical properties of Er^{3+} , Eu^{3+} single-doped $\text{Na}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{TeO}_2$ glasses," *Opt. Mater. (Amst.)*, vol. 31, no. 2, pp. 445–450, 2008, doi: 10.1016/j.optmat.2008.06.014.
- J. Rajagukguk, Fitrilawati, B. Sinaga, and J. Kaewkhao, "Structural and spectroscopic properties of Er^{3+} doped sodium lithium borate glasses," *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 223, p. 117342, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.SAA.2019.117342.
- M. Culea, "Structure of $\text{TeO}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ glasses inferred from infrared spectroscopy and DFT calculations," pp. 2–7, doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2008.09.009.
- C. C. Zhang, X. Gao, and B. Yilmaz, "Development of ftir spectroscopy methodology for characterization of boron species in fcc catalysts," *Catalysts*, vol. 10, no. 11, pp. 1–11, 2020, doi: 10.3390/catal10111327.
- J. Rajagukguk et al., "Structural, spectroscopic and optical gain of Nd^{3+} doped fluorophosphate glasses for solid state laser application," *J. Lumin.*, vol. 216, p. 116738, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.JLUMIN.2019.116738.