

# PREPARASI DAN KARAKTERISASI SIFAT FISIS ION $\text{Nd}^{3+}$ DIDOPING PADA GELAS $\text{Na}_2\text{O-PbO-ZnO-Li}_2\text{O-B}_2\text{O}_3$

Juniastel Rajagukguk<sup>1,2\*)</sup>, Pintor Simamora<sup>1</sup>, Mitra Djamal<sup>2</sup>, Rahmat Hidayat<sup>2</sup>, Suprijadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Universitas Negeri Medan, Jl. Willem Iskandar Psr.V, Medan 20221

<sup>2</sup>Program Studi Fisika, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

\*) Email: juniastel@yahoo.com

## Abstrak

Telah berhasil dilakukan pembuatan medium gelas dengan komposisi  $(65-x)\text{B}_2\text{O}_3-15\text{Na}_2\text{O}-10\text{PbO}-5\text{ZnO}-5\text{Li}_2\text{O}$  ( $x = 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 2,0$  dan  $4,0$  mol%) dan didoping oleh ion aktif  $x\text{Nd}_2\text{O}_3$ . Melalui pendopingan ion  $\text{Nd}^{3+}$  ini diharapkan diperoleh medium aktif berupa gelas yang dapat diaplikasikan sebagai penguat optik atau medium laser untuk rentang panjang gelombang pada *near infra red* (NIR). Semua senyawa kimia berbentuk serbuk dengan massa total 20 gram dicampur di dalam wadah alumina (*alumina crucible*) dan dibuat dengan metode *melt-quenching*. Untuk mendapatkan bentuk dan ukuran yang optimum, maka sampel gelas dipotong menjadi tiga ukuran berbeda yakni:  $20 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$ ,  $15 \times 5 \times 3 \text{ mm}^3$  dan  $10 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$ . Selanjutnya gelas dihaluskan untuk memperoleh permukaan yang rata dan transparansi yang tinggi. Untuk mengetahui performa material, maka dilakukan pengukuran dan perhitungan terhadap sifat fisis antara lain: kerapatan, volume molar, indeks bias, konsentrasi ion  $\text{Nd}^{3+}$ , refraktivitas molar dan suseptibilitas. Sedangkan suhu transisi di dalam gelas diperoleh dengan menggunakan *thermo-gravimetric analysis* (TGA). Dari hasil pengukuran di peroleh indeks bias gelas meningkat secara bertahap dari 1,570 untuk gelas undoped menjadi 1,625 untuk gelas 4,0  $\text{Nd}^{3+}$ . Kerapatan dan volume molar sampel juga meningkat secara perlahan mengikuti kenaikan konsentrasi ion  $\text{Nd}^{3+}$ .

**Kata kunci:** ion  $\text{Nd}^{3+}$ , gelas, didoping, sifat fisis.

## 1. Pendahuluan

Ion tanah jarang (*rare earth-RE*) merupakan ion aktif golongan lantanida (*trivalent lanthanide*) pada sistem periodik unsur-unsur. Investigasi terhadap sifat fisis, termal, struktur dan optik terhadap ion tanah jarang yang didoping pada sistem gelas telah dilakukan secara luas selama beberapa dekade belakangan ini [1-2]. Hal ini tak terlepas dari peran gelas yang didoping dengan ion tanah jarang dapat diaplikasikan pada bidang laser, penguat optik, pandu gelombang, fiber optik dan sistem penyimpanan data optik [3-5]. Salah satu ion tanah jarang yang sangat populer dan secara intensif diteliti untuk diaplikasikan di bidang optik adalah neodmium ( $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ) atau sering disebut juga  $\text{Nd}^{3+}$ . Ion neodmium telah digunakan secara luas sebagai dopan untuk menghasilkan cahaya laser yang beroperasi dengan efisiensi tinggi pada suhu ruang. Perkembangan teknologi laser saat ini sangat erat kaitannya dengan ion  $\text{Nd}^{3+}$  dikarenakan kemampuannya menghasilkan cahaya lasing berbentuk pulsa dan berdaya tinggi [6]. Tingginyaampang lintang emisi (*emission cross section*) yang terjadi pada transisi  ${}^4\text{F}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{11/2}$  pada panjang gelombang 1064 nm merupakan salah satu aplikasi ion  $\text{Nd}^{3+}$ . Gelas yang didoping dengan ion neodmium merupakan sesuatu material optik yang penting untuk dimanfaatkan dalam bidang penguat laser dan pandu gelombang. Disisi lain, karakteristik medium penguat yang dibutuhkan untuk laser komersial antara lain memiliki garis fluoresensi yang kuat, pita

absorpsi yang kuat, dan memiliki efisiensi kuantum yang tinggi sesuai dengan transisi energi yang diperlukan [8]. Penelitian terhadap sifat spektroskopik dan lasing suatu gelas yang didoping oleh ion  $\text{Nd}^{3+}$  merupakan hal sangat menarik disebabkan kemudahan dalam preparasi dan mensintesis sampel dengan ukuran lebih besar dibandingkan dengan jika ditumbuhkan dalam kristal [4,7].

Dalam beberapa tahun belakangan, material gelas telah dimanfaatkan secara luas sebagai host matriks ion  $\text{Nd}^{3+}$ . Adapun keunggulan material gelas dibandingkan dengan kristal sebagai host ion  $\text{Nd}^{3+}$  adalah memiliki stabilitas yang tinggi, indeks bias yang rendah, dispersi cahaya optik yang rendah dan memiliki transparansi yang tinggi [2]. Beberapa jenis gelas komersial dimana secara intensif diteliti untuk dijadikan sebagai host matrix laser diantaranya gelas silicate [9], gelas phosphate [10], gelas borate [11] dan gelas tellurite [12]. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa gelas silikat memiliki kelebihan seperti halnya kestabilan kimia yang baik, transparansi yang tinggi terhadap ultra violet, memiliki ketahanan mulai dari koefisien ekspansi termal yang rendah sampai termal yang kuat, indeks bias nonlinier yang rendah, ambang batas ketahanan permukaan yang tinggi, memiliki uji tarik yang kuat dan ketahanan yang baik [13-15] menjadikan jenis gelas ini sangat cocok untuk diaplikasikan sebagai fiber optik atau pandu gelombang laser [16]. Gelas phosphate secara tepat digunakan sebagai matrik host  $\text{Nd}^{3+}$  karena memiliki sifat fluoresensi, konstanta termal-optik yang rendah dan indeks bias nonlinier yg rendah. Lebih lanjut, gelas posphat juga memiliki temperatur transisi gelas yang rendah, titik lebur yang rendah dan koefisien ekspansi termal yang tinggi [17]. Sementara untuk gelas borat telah dilaporkan memiliki sifat kerapatan yang tinggi, ketransparanan yang baik, lebar pita yang optimum, mentransmisikan cahaya infrared yang baik, kestabilan mekanik yang baik, tahan terhadap karat, dan lebih murah [18,19].

Meskipun penelitian terhadap material penguat laser yang berbasis pada gelas ini telah banyak dikaji, namun sampai saat ini pengembangan dalam skala industri masih sangat terbatas dilakukan. Beberapa industri berskala internasional yang telah memproduksi medium penguat laser dari bahan gelas seperti halnya FOCtec, KIGRE, SCHOTT, HOYA maupun Crystaltechno menawarkan harga yang sangat mahal dan kualitas performa yang masih rendah. Beberapa permasalahan dan kelemahan medium penguat laser saat ini diantaranya adalah struktur komposisi gelas yang tidak homogen sehingga menyebabkan efek hamburan cahaya juga kurang tahan pada panas tinggi menyebabkan turunnya intensitas emisi dari medium gelas [20-21]. Pada tulisan ini dijelaskan proses pembuatan medium gelas dengan metode *melt-quenching*. Yang mana metode ini sangat populer dikarenakan proses pembuatan yang sederhana dan mampu menghasilkan struktur gelas yang homogen. Selanjutnya beberapa parameter yang menggambarkan sifat fisis medium tersebut juga dilaporkan dalam penelitian ini melalui persamaan (1) sampai (11).

## 2. Eksperimen

### 2.1. Proses pembuatan

Adapun komposisi sistem gelas dan ion aktif yang digunakan dalam penelitian ini dituliskan dalam bentuk rumus kimia:  $(65-x)\text{B}_2\text{O}_3-15\text{Na}_2\text{O}-10\text{PbO}-5\text{ZnO}-5\text{Li}_2\text{O}-x\text{Nd}_2\text{O}_3$  (dengan  $x = 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 2.0$  and  $4.0$ ). Semua bahan yang digunakan berupa serbuk dan memiliki kemurnian di atas 95%. Proses pembuatan dan pengukuran sifat fisis secara eksplisit ditunjukkan dalam diagram alir pada gambar 1. Sedangkan komposisi setiap bahan ditunjukkan pada tabel 1. Untuk memperoleh satu sampel gelas yang telah didoping oleh ion  $\text{Nd}^{3+}$ , maka dibutuhkan massa total semua komposisi sebesar 20 gram yang ditimbang dengan menggunakan

timbangan digital AND AR-200. Peleburan serbuk kimia yang telah dicampur di dalam *alumina crucible* dilakukan menggunakan tungku pemanas listrik (*electric furnace*) pada suhu 1000°C selama tiga jam. Setelah dipastikan semua bahan melebur, selanjutnya dituangkan ke atas cetakan stainless steel. Kemudian dimasukkan kembali pada tungku listrik pada suhu 450°C selama tiga jam untuk proses pengerasan material. Setelah itu dibiarkan mendingin sampai pada suhu ruang.

## 2.2. Pemotongan dan penghalusan

Setelah dilakukan pembuatan medium gelas, selanjutnya dilakukan pemotongan untuk memperoleh ukuran yang optimum ketika dilakukan karakterisasi struktur dan optik. Dalam hal ini ukuran medium gelas yang dibentuk dibuat bervariasi yakni 20 x 10 x 3 mm<sup>3</sup>, 15 x 5 x 3 mm<sup>3</sup> dan 10 x 10 x 3 mm<sup>3</sup>. Penghalusan (*polishing*) terhadap sampel juga dilakukan untuk memperoleh sifat transparansi dan kehalusan permukaan gelas yang baik.

## 2.3. Pengukuran sifat fisis

Beberapa sifat fisis medium gelas yang diamati antara lain: kerapatan, volume molar, indeks bias, konsentrasi ion dan jari-jari polaron. Kerapatan dan volume molar diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan prinsip Archimedes. Sampel gelas ditimbang di udara dan di dalam air dengan menggunakan timbangan neraca digital AND AR-200. Untuk memperoleh parameter-parameter yang berkaitan dengan sifat fisis gelas tersebut maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kerapatan } (\rho): \rho = \frac{w_a - w_b}{w_b} \rho_b \quad (1)$$

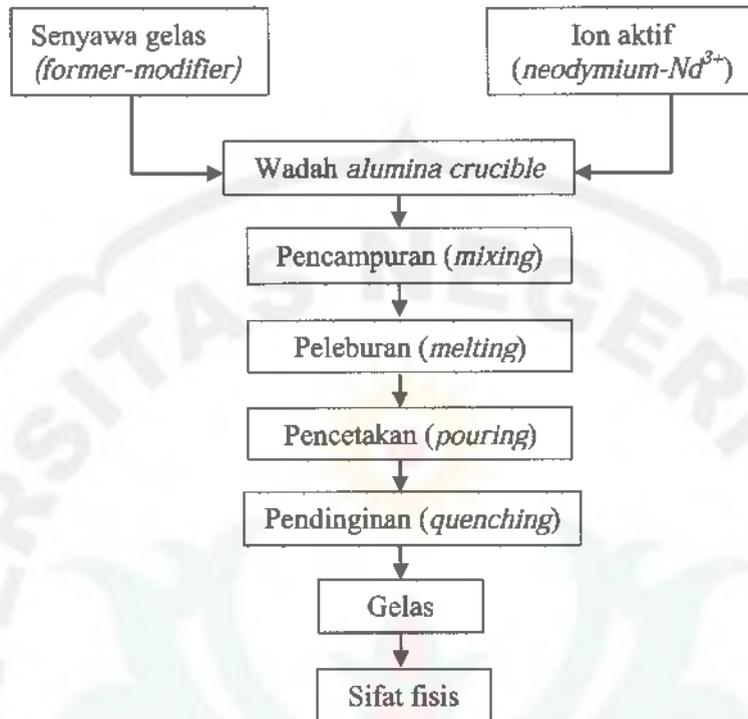
Dengan  $\rho$  dalam gr/cm<sup>3</sup>,  $w_a$  dan  $w_b$  masing-masing adalah berat gelas di udara dan di air sedangkan  $\rho_b$  merupakan kerapatan air. Volume molar,  $V_M$  dihitung dengan menggunakan hubungan  $V_M = M/\rho$  dimana  $M$  adalah berat molekul total komposisi sistem gelas yang persamaannya diberikan sebagai berikut [13]:

$$M = X_{B_2O_3} Z_{B_2O_3} + X_{Na_2O} Z_{Na_2O} + X_{PbO} Z_{PbO} + X_{ZnO} Z_{ZnO} + X_{Li_2O} Z_{Li_2O} + X_{Nd_2O_3} Z_{Nd_2O_3} \quad (2)$$

dimana  $X_{B_2O_3}$ ,  $X_{Na_2O}$ ,  $X_{PbO}$ ,  $X_{ZnO}$ ,  $X_{Li_2O}$  dan  $X_{Nd_2O_3}$  adalah fraksi mol dari senyawa oksida dan  $Z_{B_2O_3}$ ,  $Z_{Na_2O}$ ,  $Z_{PbO}$ ,  $Z_{ZnO}$ ,  $Z_{Li_2O}$  dan  $Z_{Nd_2O_3}$  adalah berat molekular dari senyawa-senyawa oksida. Berdasarkan hasil pengukuran kerapatan dan volume molar maka konsentrasi ion Nd<sup>3+</sup> dan sifat-sifat fisis lainnya seperti halnya radius polaron, jarak antar ion dan kekuatan medan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3) s.d (6) berikut ini [22]:

$$\text{Konsentrasi ion Nd}^{3+}, N_{Nd^{3+}} (\text{ion/cm}^3) = \frac{A \cdot N_A \cdot \rho}{M_{av}} \quad (3)$$

Dimana  $A$  dinyatakan sebagai komposisi ion Nd<sup>3+</sup> dalam mol%,  $N_A$  adalah bilangan Avogadro dan  $M_{av}$  merupakan berat molekul ion Nd<sup>3+</sup>.



Gambar 1. Diagram alir penelitian yang dilakukan

Konstanta dielektrik,  $\epsilon = n^2$  dengan  $n$  merupakan indeks bias gelas (4)

$$\text{Reflection loss, } R(\%) = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Refraktivitas molar, } R_m (\text{cm}^3/\text{mol}) = \frac{(n^2 - 1) M}{(n^2 + 2) d}, \quad d \text{ merupakan ketebalan gelas} \quad (6)$$

$$\text{Jarak antar ion, } r_i (\text{Å}) = \left(\frac{1}{N}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

$$\text{Radius polaron, } r_p (\text{Å}) = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{6N}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

$$\text{Kekuatan medan, } F (\text{cm}^2) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z}{r_p^2} \quad (9)$$

$$\text{Polarisabilitas ion oksida, } \alpha_m (\text{cm}^3) = \frac{3R_m}{4\pi N_A} \quad (10)$$

$$\text{Suseptibilitas listrik, } \chi = \frac{n^2 - 1}{4\pi} \quad (11)$$

Tabel 1. Komposisi setiap bahan kimia untuk untuk medium gelas

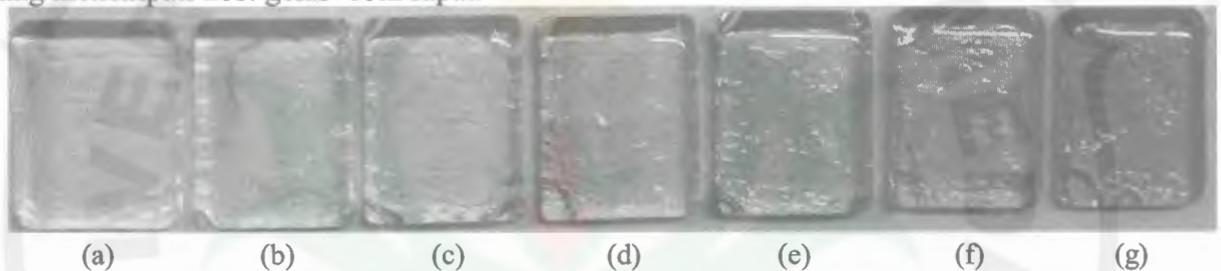
No	Glass initial	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mol%)	Na <sub>2</sub> O (mol%)	PbO (mol%)	ZnO (mol%)	Li <sub>2</sub> O (mol%)	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mol%)
1	BNPZLi	65.00	15.0	10.0	5.0	5.0	-
2	BNPZLiN1	64.95	15.0	10.0	5.0	5.0	0.05
3	BNPZLiN2	64.90	15.0	10.0	5.0	5.0	0.10
4	BNPZLiN3	64.50	15.0	10.0	5.0	5.0	0.50

5	BNPZLiN4	64.00	15.0	10.0	5.0	5.0	1.00
6	BNPZLiN5	63.00	15.0	10.0	5.0	5.0	2.00
7	BNPZLiN6	61.00	15.0	10.0	5.0	5.0	4.00

### 3. Hasil dan Pembahasan

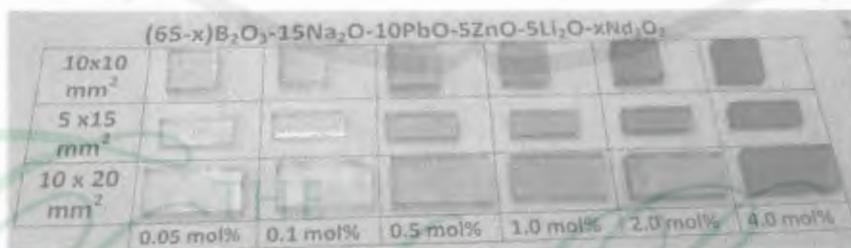
#### 3.1. Tampilan gelas

Hasil potografi dari sampel gelas yang berhasil dibuat dengan metode melt-quenching ditunjukkan pada gambar 2. Tampak ada perubahan warna pada ketujuh sampel tersebut untuk setiap perbedaan konsentrasi dopingan ion  $Nd^{3+}$ . Sampel dengan konsentrasi ion  $Nd^{3+}$  sebesar 4,0 mol% tampak memiliki warna lebih gelap dibanding material lainnya disebabkan jumlah ion  $Nd^{3+}$  yang menempati host gelas lebih rapat.



Gambar 2. Material gelas yang didoping oleh ion  $Nd^{3+}$  dengan konsentrasi masing-masing: (a) murni gelas, (b) 0,05  $Nd^{3+}$ , (c) 0,1  $Nd^{3+}$ , (d) 0,5  $Nd^{3+}$ , (e) 1,0  $Nd^{3+}$ , (f) 2,0  $Nd^{3+}$  dan (g) 4,0  $Nd^{3+}$ .

Untuk memperoleh material gelas yang memiliki ukuran bervariasi, lebih halus dan transparan maka perlu dilakukan pemotongan dan penghalusan. Adapun material gelas hasil pemotongan dan penghalusan ditunjukkan pada gambar 3. Setiap sampel dipotong menjadi tiga ukuran yakni  $10 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$ ,  $15 \times 5 \times 3 \text{ mm}^3$  dan  $20 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$ . Dari gambar 3 dapat dilihat warna medium gelas tampak ungu sesuai dengan karakteristik warna ion neodmium. Selain itu diperoleh juga tampilan warna ungu yang semakin pekat untuk konsentrasi dopingan ion  $Nd^{3+}$  yang makin tinggi.



Gambar 3. Medium gelas yang telah dipotong dan dihaluskan

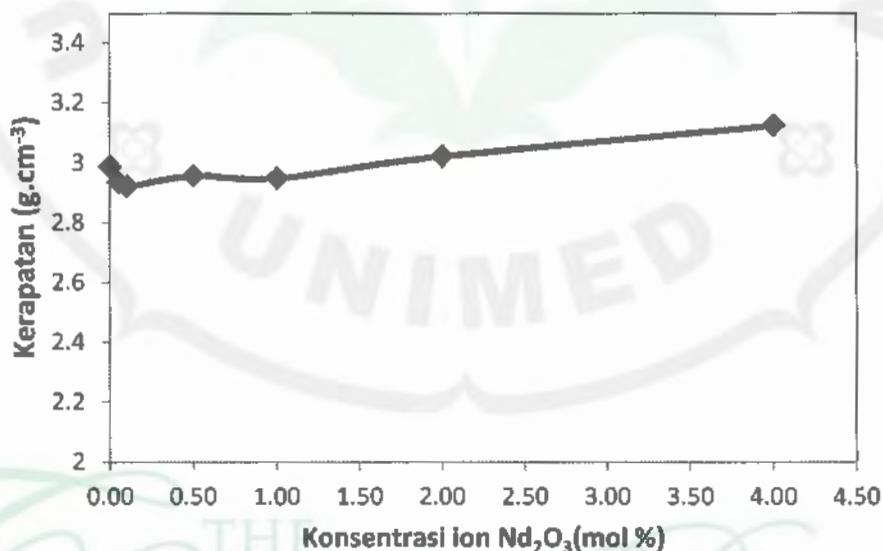
#### 3.2. Sifat Fisis

Indeks bias ( $n$ ), kerapatan ( $\rho$ ), konsentrasi ion  $Nd^{3+}$  dan parameter fisis lainnya telah dihitung dengan menggunakan persamaan sifat fisis matriks gelas seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1)-(11). Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan dalam Tabel 1 dan dibandingkan dengan data yang diperoleh peneliti sebelumnya [26]

Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan sifat fisis material gelas  $(65-x)\text{B}_2\text{O}_3-15\text{Na}_2\text{O}-10\text{PbO}-5\text{ZnO}-5\text{Li}_2\text{O}-x\text{Nd}_2\text{O}_3$

Parameter	Inisial Gelas						
	BNPZLi	BNPZLiN1	BNPZLiN2	BNPZLiN3	BNPZLiN4	BNPZLiN5	BNPZLiN6
Massa molar	82.433	82.567	82.700	83.768	85.102	87.771	93.108
Kerapatan ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.99	2.93	2.92	2.96	2.95	3.02	3.12
Volume molar ( $\text{cm}^3/\text{mol}$ )	27.60	28.14	28.31	28.33	28.86	29.05	29.81
Konsentrasi ion $\text{Nd}^{3+}$ ( $\text{N} \times 10^{22}/\text{cm}^3$ )	0	0.11	0.21	1.06	2.09	4.15	8.08
Polaron radius ( $\text{\AA}$ )	0	3.940	3.134	1.833	1.464	1.164	0.932
Jarak inter nuklir ( $\text{\AA}$ )	0	9.777	7.776	4.548	3.632	2.889	2.313
Kekuatan medan ( $\text{F} \times 10^{17}/\text{cm}^2$ )	0	0.929	1.469	4.293	6.732	10.640	16.600
Indeks bias	1.570	1.576	1.598	1.601	1.609	1.618	1.625
Refraktivitas molar	9.056	9.313	9.660	9.707	9.992	10.177	10.537
Suseptibilitas	1.150	1.165	1.220	1.227	1.247	1.270	1.288
Rflection loss	4.919	5.000	5.298	5.339	5.449	5.572	5.669
Polarisabilitas ion oksida ( $\alpha_m \times 10^{-24}/\text{cm}^3$ )	6.79	6.94	7.02	6.75	6.85	6.89	7.07

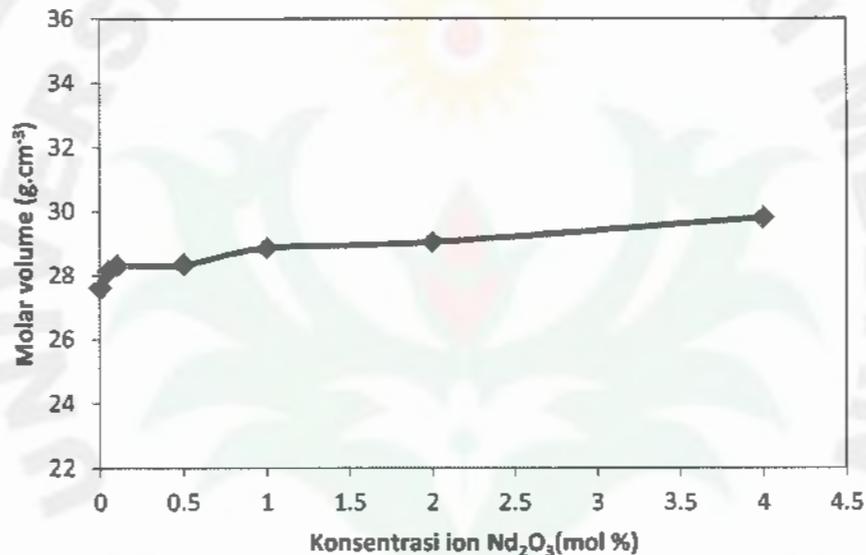
### 3.3. Kerapatan dan Volume Molar



Gambar 4. Kerapatan material gelas  $(65-x)\text{B}_2\text{O}_3-15\text{Na}_2\text{O}-10\text{PbO}-5\text{ZnO}-5\text{Li}_2\text{O}$  didoping oleh ion  $\text{Nd}^{3+}$

Kerapatan gelas biasanya dianggap sebagai suatu sifat yang penting untuk mengontrol kualitas gelas. Perubahan pengamatan kerapatan gelas secara langsung dipengaruhi oleh perbedaan komposisi gelas dan pada akhirnya mempengaruhi struktur jaringan. Adapun hasil pengukuran kerapatan gelas boro-soda-lead-zinc-lithium yang didoping oleh ion neodmium diperlihatkan pada tabel 2. Sedangkan hubungan variasi konsentrasi ion  $\text{Nd}^{3+}$  terhadap kerapatan ditunjukkan pada gambar 4. Dari grafik tersebut diperoleh hasil bahwa secara umum kerapatan material gelas

semakin meningkat dengan dinaikkannya konsentrasi ion  $\text{Nd}^{3+}$  mulai dari 0,05 sampai ke 4,00 mol.%. Peningkatan kerapatan ini disebabkan karena berat molekul ion lanthanida yang ditambahkan ke dalam gelas lebih besar daripada massa boron yang dikurangi. Ion-ion dari  $\text{Nd}^{3+}$  diindikasikan memasuki jaringan gelas borat menyebabkan terjadi pengaturan ulang struktur atom. Pembahasan tentang perubahan posisi molekular di dalam jaringan gelas didukung dengan hasil riset sebelumnya yang dilakukan oleh R. Ruamnikhom, dkk [23] yang menyatakan bahwa isi dari ion lanthanida yang memiliki berat molekul yang lebih besar telah mengubah posisi jaringan gelas sehingga kerapatan meningkat. Pernyataan ini dikuatkan juga oleh M.R Sahar, dkk [24] dimana jaringan pemodifikasi gelas direposisi oleh konten yang lebih berat dari ion oksida tanah jarang. Nilai kerapatan gelas ini menunjukkan tren yang stabil terhadap jumlah boron oksida.



Gambar 5. Hubungan volume molar gelas  $(65-x)\text{B}_2\text{O}_3-15\text{Na}_2\text{O}-10\text{PbO}-5\text{ZnO}-5\text{Li}_2\text{O}$  didoping oleh ion  $\text{Nd}^{3+}$

Hasil perhitungan volume molar untuk ion  $\text{Nd}^{3+}$  yang didoping pada komposisi gelas  $(65-x)\text{B}_2\text{O}_3-15\text{Na}_2\text{O}-10\text{PbO}-5\text{ZnO}-5\text{Li}_2\text{O}$  adalah ditunjukkan pada Gambar 5. Peningkatan volume molar gelas boro-soda-lead-zinc-lithium telah terjadi sejak didoping dari konsentrasi 0,05 sampai 4,00 mol%. Hasil perhitungan menjelaskan telah terjadi peningkatan jarak rata-rata inter atomik yang diikuti juga oleh peningkatan kepadatan struktur gelas untuk setiap penambahan konsentrasi lanthanida [R. Ruamnikhom, dkk]. Boron termasuk pada kelompok pembentuk gelas, sedangkan Na, Li, Zn dan Pb termasuk pada kelompok pengubah (modifer) [Arun K. Varsneya] ikatan ionic sehingga saat konsentrasi boron berkurang maka akan terjadi efek tanpa sambungan oksigen (Non-Bridging Oxygen, NBO). Dengan berkurangnya berat molekul  $\text{B}_2\text{O}_3$ , maka semakin meningkat juga efek NBO dimana terjadi ekspansi volume molar pada susunan gelas tersebut. Efek tanpa sambungan oksigen (NBO) merupakan sifat yang dimiliki struktur jaringan gelas ketika adanya peran unsur pengubah (modifier) dalam jaringan gelas yang menyebabkan volume molar terekspansi atau meningkat saat berat molekul modifiernya ditingkatkan. Nomor atom ion negatif (*anion*), ion positif (*cations*) dan konsentrasi NBO secara efektif akan mempengaruhi celah pita optik dari gelas borate. Penambahan ion  $\text{Nd}^{3+}$  dapat meningkatkan elektron yang terlokalisasi karena peningkatan pusat donor di dalam jaringan gelas.

#### 4. Kesimpulan

Material gelas dengan senyawa pembentuknya berbasis borate ( $B_2O_3$ ) yang dicampur dengan beberapa senyawa pemodifikasi dapat dijadikan kandidat matriks ion neodmium ( $Nd^{3+}$ ). Hal ini terlibat dari hasil yang diperoleh ketika ion  $Nd^{3+}$  didoping pada komposisi gelas  $(65-x)B_2O_3-15Na_2O-10PbO-5ZnO-5Li_2O$ . Dari tampilan gelas secara visual dapat dilihat tingkat transparansi yang baik dan penyebaran ion aktif yang merata di dalam matriks. Untuk mencapai sifat fisis dan struktur gelas yang baik maka metode preparasi yang dilakukan adalah *melt-quenching*. Tingkat kerapatan dan volume molar gelas menunjukkan pola yang semakin meningkat untuk konsentrasi ion  $Nd^{3+}$  yang meningkat, hal ini disebabkan karena berat molekul ion  $Nd^{3+}$  yang lebih besar dari ion  $B_2O_3$ ,  $PbO$ ,  $Na_2O$ ,  $Li_2O$  maupun  $ZnO$  sehingga secara perlahan menggeser komposisi gelas tersebut dan meningkatkan berat molekul rata-rata gelas secara keseluruhan.

#### Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat terlaksana atas dukungan dari Program Hibah Bersaing DIKTI 2014-2015. Terimakasih juga disampaikan pada Prof. Jakrapong dari Glass Technology and Materials Science (CEGM) Nakhon Pathom Rajabhat University, Thailand.

#### 5. Daftar Pustaka

1. Kumar S., S., Khatei, J., Kasthuriengan, S., Rao, K. S. R. K., & Ramesh, K. P. (2011). Optical absorption and photoluminescence studies of  $Nd^{3+}$  doped alkali boro germanate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357(3), 842–846.
2. Murthy, D. V. R., Sasikala, T., Jamalaih, B. C., Babu, a. M., Kumar, J. S., Jayasimhadri, M., & Rama Moorthy, L. (2011). Investigation on luminescence properties of  $Nd^{3+}$  ions in alkaline-earth titanium phosphate glasses. *Optics Communications*, 284(2), 603–607.
3. Serqueira, E. O., Dantas, N. O., Anjos, V., Pereira-da-Silva, M. a., & Bell, M. J. V. (2011). Optical spectroscopy of  $Nd^{3+}$  ions in a nanostructured glass matrix. *Journal of Luminescence*, 131(7), 1401–1406.
4. Ratnakaram, Y. C., Vijaya kumar, a., Tirupathi Naidu, D., & Chakradhar, R. P. S. (2005). Absorption and emission properties of  $Nd^{3+}$  in lithium cesium mixed alkali borate glasses. *Solid State Communications*, 136(1), 45–50.
5. Jamalaih, B. C., Suhasini, T., Rama Moorthy, L., Kim, I.-G., Yoo, D.-S., & Jang, K. (2012). Structural and luminescence properties of  $Nd^{3+}$ -doped  $PbO-B_2O_3-TiO_2-AlF_3$  glass for  $1.07\mu m$  laser applications. *Journal of Luminescence*, 132(5), 1144–1149.
6. Mhareb, M. H. a., Hashim, S., Ghoshal, S. K., Alajerami, Y. S. M., Saleh, M. a., Dawaud, R. S., ... Azizan, S. a. B. (2014). Impact of  $Nd^{3+}$  ions on physical and optical properties of Lithium Magnesium Borate glass. *Optical Materials*, 1–7.
7. Moban, S., Thind, K. S., Sharma, G., & Gerward, L. (2008). Spectroscopic investigations of  $Nd^{3+}$  doped fluoro- and chloro-borate glasses. *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 70(5), 1173–9.
8. Semwal, K., & Bhatt, S. C. (2013). Study of  $Nd^{3+}$  ion as a Dopant in YAG and Glass Laser, 1(1), 15–21.
9. Pal, I., Agarwal, a., Sanghi, S., Aggarwal, M. P., & Bhardwaj, S. (2014). Fluorescence and radiative properties of  $Nd^{3+}$  ions doped zinc bismuth silicate glasses. *Journal of Alloys and Compounds*, 587, 332–338.

10. Nogata, K., Suzuki, T., & Ohishi, Y. (2013). Quantum efficiency of Nd<sup>3+</sup>-doped phosphate glass under simulated sunlight. *Optical Materials*, 35(11), 1918–1921. doi:10.1016/j.optmat.2012.12.021
11. Shanmugavelu, B., Venkatramu, V., & Ravi Kanth Kumar, V. V. (2014). Optical properties of Nd<sup>3+</sup> doped bismuth zinc borate glasses. *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 122, 422–7.
12. Kumar, K. U., Prathyusha, V. a, Babu, P., Jayasankar, C. K., Joshi, a S., Speghini, a, & Bettinelli, M. (2007). Fluorescence properties of Nd<sup>3+</sup>-doped tellurite glasses. *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 67(3-4), 702–8.
13. P. Chimalawong, J. Kaewkhao, C. Kedkaew, P. Limsuwan. Optical and electronic polarizability investigation of Nd<sup>3+</sup> doped soda-lime silicate glasses, *Journal of Physics and chemistry of solids* 71 (2010) 965-970
14. Yanbo Qiao, Ning Da, Peng Mingying, Yang Lyun, Chen Danping, Qiu Jianrong, Zhu Congshan, Tomoko Akai, Spectroscopic properties of Nd silica glass prepared by sintering porous glass, *Journal of Rare Earths* 24 (6) (2006) 765–770 December
15. Qinling Zhou, Lei Xu, Liying Liu, Wencheng Wang, Congshan Zhu, Fuxi Gan, Study on the laser-induced darkening in Nd-doped laser glasses, *Optical Materials* 25 (3) (2004) 313–319 April.
16. Shi-Ling Li, Ke-Ming Wang, Feng Chen, Xue-Lin Wang, Gang Fu, Qing-Ming Lu, Li-Li Hu, Ding-Yu Shen, Hong-Ji Ma, Rui Nie. Low loss waveguide in Nd<sup>3+</sup> - doped silicate glass fabricated by carbon ion implantation. *Surface and coating technology* 200 (2005) 598-601
17. M. Seshadari, K.V. Rao, J.L. Rao, K.S.R. Koteswara Rao, Y.C. Ratnakaram, Spectroscopic investigations and luminescence spectra of Nd<sup>3+</sup> and Dy<sup>3+</sup> doped different phosphate glasses. *Journal of luminescence* 130 (2010) 536-543.
18. *Spectroscopic properties of Nd<sup>3+</sup> doped borate glasses.* Kumar, K. Vijaya and Kumar, A. Suresh. 2012, *Optical Materials*, Vol. 35, hal. 12-17.
19. M. Naftaly, A. Jha, *J. Appl. Phys.* 87 (2000) 2098–2104
20. Ehrmann, P. R., Carlson, K., Campbell, J. H., Click, C. a., & Brow, R. K. (2004). Neodymium fluorescence quenching by hydroxyl groups in phosphate laser glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 349, 105–114.
21. Jayasankar, C. K., Balakrishnaiah, R., Venkatramu, V., Joshi, a S., Speghini, a., & Bettinelli, M. (2008). Luminescence characteristics of Nd<sup>3+</sup>-doped K–Ba–Al-fluorophosphate laser glasses. *Journal of Alloys and Compounds*, 451(1-2), 697–701.
22. Rao, A. S., Ahammed, Y. N., Reddy, R. R., & Rao, T. V. R. (1998). Spectroscopic studies of Nd<sup>3+</sup> -doped alkali fluoroborophosphate glasses, (September), 245–252.
23. R. Ruamnikhom, P. Limsuwan, M.Horprathum, N. Chanthima, H.J. Kim, S.Ruengsri, J. Kaewkhao Up- and Downconversion Luminescence Properties of Nd<sup>3+</sup> Ions doped in Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-BaO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Glass System. Hindawi Publishing Corporation, *Advances in Materials Science and Engineering* Volume 2014, Article ID 751973, 5 pages
24. M.R Sahar, B. Astuti, M.S. Rohani, The Physical Properties of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>—Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO<sub>2</sub> Glass System, *Optical Review*. Vol. 13, No. 2 (2006) 101-103
25. Arun K. Varshneya, *Fundamental of Inorganic Glasses*, Academic Press, Inc 1994 Chapter 3

26. Vijaya Kumar, K., & Suresh Kumar, a. (2012). Spectroscopic properties of Nd<sup>3+</sup>-doped borate glasses. *Optical Materials*, 35(1), 12–17.



THE  
*Character Building*  
UNIVERSITY