

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.011.10

KARAKTERISASI SIFAT FISIK dan ABSORPSI OPTIKAL SISTEM KACA ZnO – MgO - P₂O₅ MENGGUNAKAN TEKNIK MELT QUENCHING

Indra Permana^{1,a)}, Esmar Budi^{1,b)}, Mangasi A. Marpaung^{1,c)}, Md. Rahim Sahar^{2,d)}, Puzi Anigrahawati Buchori^{2,e)}

¹Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta, Jl. Pemuda No 10, Jakarta 13220.

²Jabatan Fizik Fakulti Sains Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Johor, Malaysia 81310.

Email: ^{a)}indrapermanadoz@gmail.com, ^{b)}esmarbudi@unj.ac.id, ^{c)}mangasi@unj.ac.id,

^{d)}mrahim057@gmail.com, ^{e)}nziluv18@gmail.com

Abstrak

Pembuatan kaca fosfat dengan komposisi kimia $x \text{ ZnO} - 30 \text{ MgO} - (70 - x) \text{ P}_2\text{O}_5$ dengan $x = 0, 5, 10$, dan 15 mol\% telah dilakukan menggunakan teknik *melt quenching*. Sistem kaca yang dibuat dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X (XRD), pengujian sifat fisik dengan metode Archimedes, dan spektrofotometer UV-Vis untuk sifat optik. Hasil XRD menunjukkan bahwa kaca yang dibuat memiliki struktur amorf. Dari hasil pengujian fisik menunjukkan bahwa densitas kaca semakin menurun sedangkan volume molar meningkat dengan bertambahnya mol% ZnO. Absorpsi optikal diukur pada panjang gelombang $200 - 800 \text{ nm}$ menunjukkan tidak adanya berkas absorpsi yang tajam. Dari hasil spektra absorpsi optikal menunjukkan bahwa nilai energi gap menurun sedangkan energi Urbach dan indeks refraktif kaca meningkat dengan bertambahnya mol% ZnO.

Kata-kata kunci: Kaca Fosfat, Melt Quenching, Sifat Fisik, Sifat Optik, Absorpsi.

Abstract

Phosphate glass with the chemical composition $x \text{ ZnO} - 30 \text{ MgO} - (70 - x) \text{ P}_2\text{O}_5$ with $x = 0, 5, 10$, and 15 mol\% was done by melt quenching technique. The glasses system were characterized with X-Ray diffraction, physical property was measured by using Archimedes method, and UV-Vis spectrophotometer for optical property. The result of X-Ray diffraction pattern shows that the glass system has an amorphous structure. The result of physical properties show that the value of density is decreased but the molar volume is increased with the increase of mol% ZnO. The optical absorption was measured in the wavelength region $200 - 800 \text{ nm}$ shows that there is no sharp absorption band edge. From absorption optical spectra shows that gap energy is decreased but Urbach energy and refractive index are increased with the increase of mol% ZnO.

Keywords: Phosphate Glass, Melt Quenching, Physical Property, Optical Property, Absorption.

1. PENDAHULUAN

Diantara berbagai macam kaca oksida, kaca fosfat merupakan *host* yang menarik karena dapat meng-akomodasi ion-ion aktif tanpa kehilangan sifat-sifat khasnya [1,2]. Selain itu, kaca fosfat memiliki sifat menarik lainnya, yaitu memiliki koefisien ekspansi termal yang tinggi, indeks refraktif

yang tinggi, dispersi yang rendah, titik leleh yang rendah, konduktivitas listrik yang tinggi, dan strukturnya bermacam-macam untuk menerima beberapa penukaran kation atau anion [3-5]. Tetapi, kaca fosfat memiliki daya tahan yang lemah terhadap bahan kimia, memiliki sifat higroskopik yang tinggi, dan mudah menguap [6-8].

Untuk mengatasi kekurangan kaca fosfat, maka dalam pembuatannya perlu dipadukan dengan material lainnya, yaitu dengan oksida logam alkali, logam alkali tanah, logam transisi, ataupun ion logam tanah jarang (*rare earth*) [9,10]. Kaca fosfat yang dibuat akan dipadukan dengan oksida logam transisi yaitu Seng Oksida (ZnO) dan logam alkali tanah Magnesium Oksida (MgO). ZnO dapat bertindak sebagai *modifier* karena ZnO dapat mencegah reaksi hidrasi dan dapat membuat koneksi diantara anion fosfat dengan konduktivitas ioniknya [11]. MgO merupakan salah satu *modifier* terbaik yang dapat mengatasi kelemahan kaca fosfat terhadap bahan kimia. Pembuatan kaca akan dibuat dari sistem kaca Seng Oksida – Magnesium Oksida – Fosfor Pentaoksida (ZnO – MgO – P₂O₅). Aplikasi sistem kaca ini dapat berupa substrat pandu gelombang pada laser femtosekon (*f-sec laser*), sebagai biomaterial, immobilisasi limbah radioaktif, layar untuk lampu luminesen, serat optik untuk perangkat komunikasi, baterai zat padat, dan transmisi data optikal [12-14].

Penambahan oksida logam transisi dan logam alkali tanah akan mempengaruhi sifat fisik dan optik kaca fosfat. Sifat fisik adalah sifat yang ada pada material, seperti massa jenis dan volume molar. Sedangkan sifat optik adalah respon material terhadap radiasi gelombang elektromagnetik, khususnya pada daerah cahaya tampak. Dari spektra absorpsi optikal, dapat diperoleh nilai energi gap, energi Urbach, dan indeks refrakstif kaca. Tujuan studi ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan mol% ZnO terhadap sifat fisik dan absorpsi sistem kaca ZnO – MgO – P₂O₅ dengan teknik *melt quenching*.

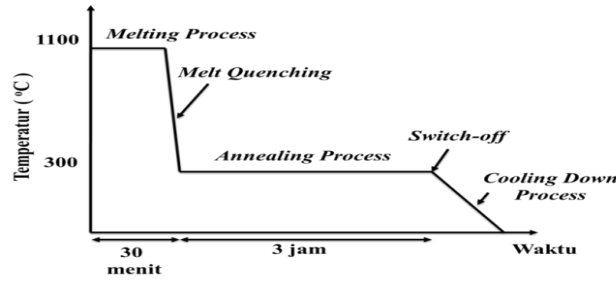
2. METODE PENELITIAN

Spesimen kaca yang digunakan meliputi Seng Oksida (kemurnian 99,99%), Magnesium Oksida (kemurnian 99,99%), dan Fosfor Pentaoksida (kemurnian 98%). Komposisi yang digunakan adalah $x \text{ ZnO} - 30 \text{ MgO} - (70 - x) \text{ P}_2\text{O}_5$ dengan $x = 0, 5, 10, \text{ dan } 15 \text{ mol\%}$ ditunjukkan pada **Tabel 1**.

TABEL 1. Komposisi Kimia Sampel Kaca.

Kode Sampel	Komposisi Kimia (mol%)		
	ZnO	MgO	P ₂ O ₅
Sampel 1	0	30	70
Sampel 2	5	30	65
Sampel 3	10	30	60
Sampel 4	15	30	55

Semua komposisi dicampur ke dalam krusibel alumina lalu dimasukkan ke dalam *furnace* pada suhu 100 °C selama 30 menit dengan tujuan semua bahan benar-benar tercampur secara merata (*melting process*). Proses selanjutnya adalah campuran dituangkan ke dalam cetakan kaca (*steel mould*) dengan waktu secepat mungkin agar bahan campuran tadi tidak mempunyai waktu untuk membentuk kristal. Kemudian sampel kaca dipindahkan ke dalam *furnace* pada suhu 100 °C selama 3 jam untuk proses anil (*annealing process*) dengan tujuan mencegah terjadinya retakan (*crack*) pada sampel. Proses terakhir yaitu pendinginan sampel pada suhu ruangan (*cooling down process*). Keseluruhan proses ditunjukkan pada **Gambar 1**.



GAMBAR 1. Grafik Temperatur Pembuatan Kaca.

Sampel kaca diuji difraksi sinar-X menggunakan Difraktometer Rigaku SmartLab 3kW untuk menegaskan sifat amorf dari kaca. Sampel ditumbuk pada mortar hingga terbentuk serbuk dari sampel kaca yang dibuat. Metode Archimedes digunakan untuk menentukan densitas kaca. Sampel kaca dipotong lalu direndam ke dalam cairan toluena. Cairan toluena digunakan karena bahan ini tidak mudah bereaksi dengan sampel kaca sehingga tidak akan memengaruhi sifat kaca tersebut [15]. Massa sampel ditimbang terlebih dahulu, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia yang telah diisi dengan cairan toluena sehingga diperoleh massa sampel dalam udara dan cairan toluena. Densitas ρ kaca dihitung dengan menggunakan persamaan [16-18].

$$\rho = \rho_t \left(\frac{W_a}{W_a - W_t} \right) \quad (1)$$

dengan ρ_t adalah massa jenis toluena ($0,8669 \text{ g/cm}^3$), W_a dan W_t berturut-turut adalah massa sampel dalam udara dan toluena. Untuk perhitungan volume molar V_m menggunakan persamaan [16-18].

$$V_m = \frac{M_T}{\rho} \quad (2)$$

dengan M_T adalah total berat molekular dari sistem kaca dan ρ adalah densitas kaca.

Absorbansi kaca dicatat pada suhu ruangan menggunakan spektrofotometer Shimadzu 3101PC UV-VIS-NIR pada panjang gelombang 200 – 800 nm dengan ketebalan kaca 2,5 mm. Koefisien absorpsi α untuk masing-masing sampel menggunakan [16-18].

$$\alpha(\nu) = 2,303 \frac{A}{d} \quad (3)$$

dengan B adalah konstanta, $h\nu$ adalah energi foton, E_g adalah energi gap, dan s adalah indeks yang berhubungan dengan transisi elektronik untuk absorpsi. Pada kaca, nilai s adalah 2 yang menunjukkan transisi tidak langsung. Sedangkan untuk energi Urbach berdasarkan pada persamaan [16-18].

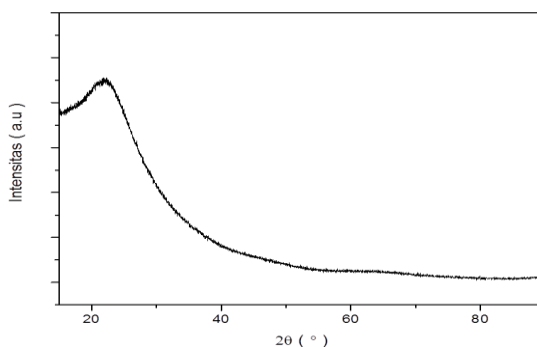
$$\alpha(\nu) = B \exp \frac{h\nu}{E_u} \quad (4)$$

dengan B adalah konstanta, $h\nu$ adalah energi foton, dan E_u adalah energi Urbach. Nilai energi Urbach dikalkulasi dengan menentukan gradien dari kurva dan mengambil nilai kebalikannya (*reciprocals*). Perhitungan nilai indeks refraktif kaca n berhubungan dengan energi gap menggunakan persamaan [16-18].

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = 1 - \sqrt{\frac{E_g}{20}} \tag{5}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola difraksi sinar-X pada seluruh sampel kaca ditunjukkan pada **Gambar 2**. Dari hasil analisis difraksi sinar-X diperoleh bahwa struktur sampel kaca yang dibuat adalah amorf (tidak adanya puncak yang tajam). Puncak yang lebar (*broad hump*) terlihat pada sudut 2θ , yaitu antara $15 - 30^\circ$. Fakta-fakta membuktikan *broad hump* pada sudut yang rendah menegaskan karakteristik kaca yang bersifat amorf [19]. Hasil pengujian sifat fisik (densitas dan volume molar) dan sifat optik (energi gap, energi Urbach, dan indeks refraktif) ditunjukkan pada **Tabel 2**.

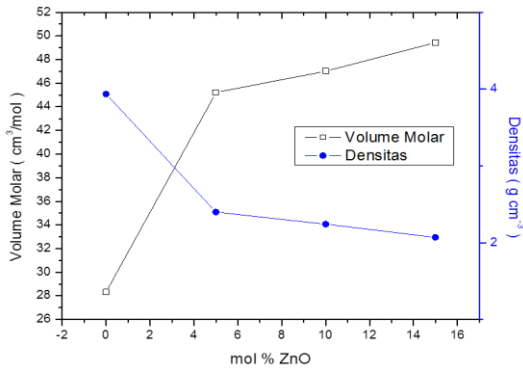


GAMBAR 2. Analisis Pola Difraksi Sinar-X.

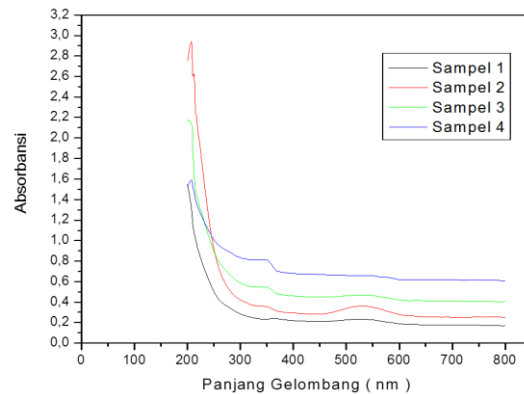
TABEL 2. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Optik Sampel Kaca.

Kode Sampel	Densitas $\rho (g/cm^3)$	Volume Molar, $V_m (cm^3/mol)$	Energi Gap, $E_g (eV)$	Energi Urbach, $E_u (eV)$	Indeks Refraktif, n
Sampel 1	3,93	28,32	3,45	1,22	2,28
Sampel 2	2,40	45,21	3,81	0,92	2,21
Sampel 3	2,24	47,03	2,86	1,59	2,44
Sampel 4	2,07	49,44	2,27	2,08	2,63

Dari hasil pengujian sifat fisik diperoleh bahwa densitas kaca semakin menurun dengan bertambahnya mol% ZnO. Hal ini dikarenakan substitusi dari berat molekular ZnO ($Mr = 81,389 g/mol$) lebih kecil daripada berat molekular P_2O_5 ($Mr = 141,943 g/mol$) [19,20]. Selain itu, konektivitas yang lemah dalam struktur kaca menyebabkan nilai densitas menurun. Lemahnya konektivitas dalam struktur kaca menunjukkan nilai kekakuan (*rigidity*) kaca menurun. Sedangkan volume molar ber-banding terbalik dengan densitas ditunjukkan pada **Gambar 3**. Volume molar kaca semakin meningkat dengan bertambahnya mol% ZnO. Hal ini di-karenakan semakin meningkatnya volume bebas (*free volume*) dengan menurunnya densitas kaca [21]. Selain itu, naiknya volume molar me-nunjukkan kaca memiliki struktur terbuka. Struktur terbuka yang dimaksud adalah pecahnya ikatan BO (*Bridging Oxygen*) dan terbentuknya formasi ikatan NBO (*Non-Bridging Oxygen*) [22].



GAMBAR 3. Hubungan Antara Densitas dan Volume Molar Dengan mol% ZnO.



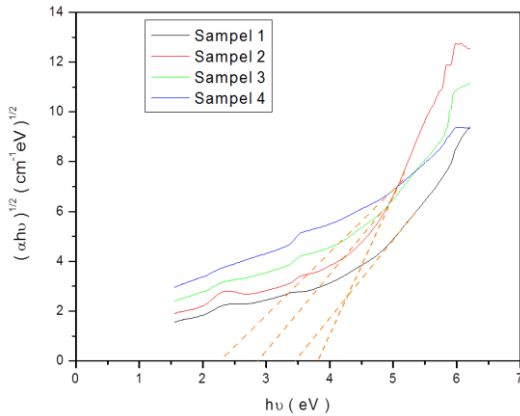
GAMBAR 4. Spektrum Absorbansi Sampel Kaca.

Gambar 4 menunjukkan grafik absorbansi se-bagai fungsi panjang gelombang pada daerah ultra-violet dan cahaya tampak. Dari grafik menunjukkan tidak adanya puncak absorpsi yang tajam. Ini merupakan karakteristik kaca yang bersifat amorf.

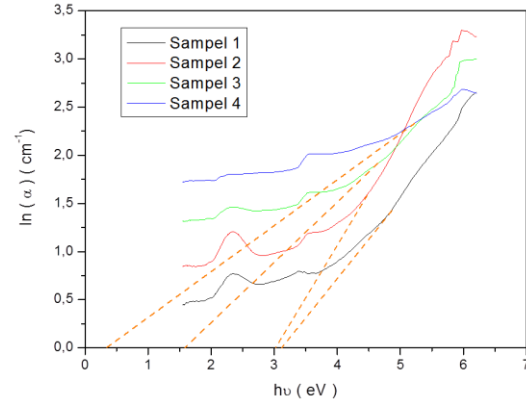
Spektra absorpsi optikal merupakan metode yang digunakan untuk mempelajari transisi optikal dan memberikan informasi mengenai ikatan, struktur, dan energi gap baik untuk material amorf maupun kristal. Pada absorpsi dalam wilayah ultraviolet, cahaya tampak, dan inframerah terjadi penyerapan atom. Prinsipnya adalah penyerapan foton terjadi ketika elektron pada pita valensi tereksitasi dan menuju ke pita konduksi sehingga pada pita konduksi terdapat elektron bebas dan lubang (*hole*) pada pita valensi. Eksitasi yang disertai absorpsi akan terjadi jika energi foton lebih besar dari energi gap. Spektra absorpsi optikal secara umum menentukan kekuatan ikatan oksigen dalam struktur kaca [23].

Dari spektra absorpsi optikal dapat ditentukan nilai energi gap, energi Urbach, dan indeks refraktif kaca. Nilai energi gap diperoleh dengan membuat grafik hubungan antara $(\alpha h\nu)^{1/2}$ dengan $h\nu$ ditunjukkan pada **Gambar 5**. Dapat dilihat bahwa nilai energi gap meningkat dengan bertambahnya mol% ZnO hanya sampai 5 mol% ZnO. Kemudian, nilai energi gap terus menurun. Kenaikan nilai energi gap disebabkan terjadinya pembentukan formasi BO pada matriks penyusun kaca. Kemudian, penurunan energi gap disebabkan ter-jadinya pembentukan formasi NBO. Ini berarti, bertambahnya mol% ZnO ke dalam matriks kaca menyebabkan ikatan BO berubah menjadi NBO dan diketahui bahwa NBO memiliki energi yang lebih besar dibandingkan dengan BO [24]. NBO juga me-miliki muatan yang lebih negatif dibandingkan BO. Oleh karena itu, elektron dapat dengan mudah ber-transfer dari pita valensi ke pita konduksi [21,25].

Sedangkan nilai energi Urbach diperoleh dengan membuat grafik hubungan antara $\ln(\alpha)$ dengan $h\nu$ ditunjukkan pada **Gambar 6**. Nilai energi Urbach menggambarkan derajat keteraturan atau ketidakteraturan (*orderness or disorderness*) struktural dalam material amorf [19,25]. Nilai energi Urbach pada kaca berbanding terbalik dengan energi gap.



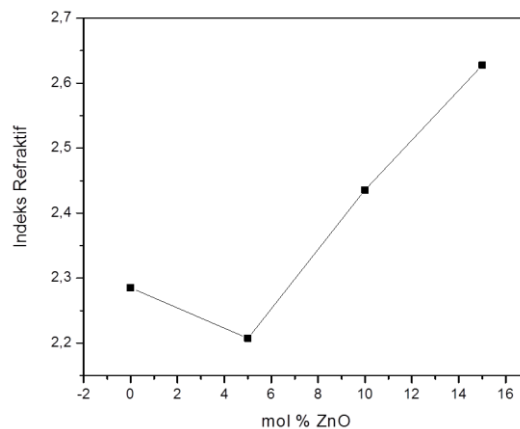
GAMBAR 5. Penentuan Nilai Energi Gap



GAMBAR 6. Penentuan Nilai Energi Urbach.

Dapat dilihat bahwa nilai energi Urbach menurun dengan bertambahnya mol% ZnO hanya sampai 5 mol% ZnO. Kemudian, nilai energi Urbach terus meningkat. Penurunan energi Urbach kemungkinan disebabkan karena meningkatnya keteraturan jaringan kaca sebagai akibat dari polimerisasi sehingga struktur kaca menjadi lebih stabil dan homogen [8]. Kemudian, kenaikan energi Urbach disebabkan karena meningkatnya ketidak-teraturan struktural dalam kaca dengan bertambahnya mol% ZnO. Ketidakteraturan disebabkan karena meningkatnya formasi ikatan NBO akibat menurunnya nilai energi gap. Ikatan NBO memiliki ikatan yang lemah karena memiliki jarak inter-atomik yang besar dalam struktur kaca dan sebuah elektron yang tidak terikat kuat dengan oksigen [21]. Nilai energi Urbach yang tinggi juga meng-indikasikan bahwa sampel kaca memiliki kepadatan (*compactness*) yang rendah, terlihat dari nilai densitas kaca yang semakin menurun dengan bertambahnya mol% ZnO.

Nilai indeks refraktif merupakan hal mendasar untuk mempelajari sifat optik material karena berkaitan dengan performa atau kinerja dan ketahanan perangkat optik [25]. Nilai indeks refraktif menurun dengan bertambahnya mol% ZnO hanya sampai 5 mol% ZnO. Kemudian, nilai indeks refraktif terus meningkat ditunjukkan pada **Gambar 7**. Penurunan nilai indeks refraktif disebabkan karena atom Zn sedang memulai membentuk bagian dalam jaringan struktur kaca [21]. Kemudian, kenaikan nilai indeks refraktif disebabkan karena menurunnya nilai energi gap. Selain itu, disebabkan karena kehadiran awan elektron menyebabkan menurunnya ke-cepatan cahaya dalam medium kaca. Kehadiran awan elektron menunjukkan formasi ikatan NBO (muatan negatif) yang tinggi dan mengindikasikan ikatan BO yang rendah pada matriks penyusun kaca [25,26]. Sebagai tambahan, ikatan NBO lebih ter-polarisasi dibandingkan ikatan BO karena ikatan NBO memiliki ikatan ionik yang lebih besar dan energi ikat yang lebih rendah dibandingkan ikatan BO [26].



GAMBAR 7. Nilai Indeks Refraktif.

4. SIMPULAN

Pembuatan sistem kaca $x \text{ ZnO} - 30 \text{ MgO} - (70 - x) \text{ P}_2\text{O}_5$ dengan $x = 0, 5, 10,$ dan 15 mol\% telah berhasil dilakukan menggunakan teknik *melt quenching*. Pola difraksi sinar-X menunjukkan bahwa kaca yang dibuat bersifat amorf. Konsentrasi mol% ZnO memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap sifat fisik dan sifat optik (absorpsi) kaca. Dari hasil studi diperoleh bahwa nilai densitas dan energi gap menurun sedangkan volume molar, energi Urbach, dan indeks refraktif meningkat dengan bertambah-nya mol% ZnO. Nilai optimum dicapai pada Sampel 4 dengan nilai indeks refraktif tertinggi, yaitu 2,63. Hal ini dikarenakan nilai indeks refraktif akan berkaitan dengan performa atau kinerja dan ketahanan perangkat optik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Esmar Budi, M. T; Dr. Mangasi A. Marpaung, M. Si; Prof. Dr. Md. Rahim Sahar; dan Puzi A. Buchori, M.Sc yang telah membimbing penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1] Nehal Aboufotouh, Yahia Elbasha, Mohammed Ibrahim, and Mohammed Elok, Characterization of Copper Doped Phosphate Glass for Optical Applications, *Ceramics International*. 40 (2014), pp. 10395-10399.
- [2] I. E. C. Machado, L. Prado, L. Gomes, J. M. Prison, and J. R. Martinelli, Optical Properties of Manganese in Barium Phosphate Glasses, *Journal of Non – Crystalline Solids*. 348 (2004), pp. 113-117.
- [3] Amin Abd El-Moneim, Phosphate – based Glasses : Prediction of Acoustical Properties, *Physica B : Physics of Condensed Matter*. S0921 – 4526 (16) 30027-8.
- [4] M. A. Marzouk, F. H. Elbatal, and A. M. Abdelghany, Ultraviolet and Infrared Absorption Spectra of Cr_2O_3 Doped – Sodium Metaphosphate, and Zinc Metaphosphate and Effect of Gamma Irradiation : A Comparative Study, *Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 114 (2013), pp. 658-667.
- [5] Naoyuki Kitamura, Kohei Fukumi, Junichi Nakamura, Tatsuo Hidaka, Hidekazu Hashima, Yoshitaka Mayumi, and Tatsuo Hidaka, Optical Properties of Zinc Bismuth Phosphate Glass, *Material Science and Engineering B*. 161 (2009), pp. 91-95.
- [6] A. Santic, Z. Skoko, A. Gajovic, D. E. Day, and A. Mogus - Milankovic, Physical Properties of Lead Iron Phosphate Glasses Containing Cr_2O_3 , *Journal of Non – Crystalline Solids*. 357 (2011), pp. 3578-3584.
- [7] Leong Pau Ming, Eeu Tien Yew, Leow Ting Qiao, Pang Xie Guan, Zuhairi Ibrahim, and Rosli Hussin, Structural and Luminescence Properties of Fe^{3+} Doped Antimony Lead Borophosphate Glass, *Sains Malaysiana*. 43 (6) (2014), pp. 915-922..
- [8] S. Sreehari Sastry and B. Rupa Venkateswara Rao, Spectroscopic Studies of Copper Doped Alkaline Earth Lead Zinc Phosphate Glass, *Physica B*. 434 (2014), pp. 159-164.
- [9] Refka Oueslati Omrani, Saida Krimi, Jean Jacques Videau, Ismail Khattech, Abdelaziz El Jazouli, and Mohamed Jemal, Structural and Thermochemical Study of $\text{Na}_2\text{O} - \text{ZnO} - \text{P}_2\text{O}_5$ Glasses, *Journal of Non – Crystalline Solids*. 390 (2014), pp. 5-12.
- [10] Raja J. Amjad, M. R. Sahar, S. K. Ghoshal, M. R. Dousti, S. Riaz, and B. A. Tahir, Enhanced Infrared to Visible Upconversion Emission in Er^{3+} Doped Phosphate Glass : Role of Silver Nanoparticles, *Journal of Luminescence*. 132 (2012), pp. 2714-2718.

- [11] H. Elhaes, M. Attallah, Y. Elbasha, M. El-Okr, and M. Ibrahim, Application of Cu₂O Doped Phosphate Glasses for Bandpass Filter , *Physica B*. 449 (2014), pp. 251-254.
- [12] M. A. Ouis, H. A. Elbatal, A. M. Abdelghany, and Ahmed A. Hammad, Structural and Optical Properties of CuO in Zinc Phosphate Glasses and Effects of Gamma Irradiation, *Journal of Structure*. 1103 (2016), pp. 224-231.
- [13] M. Elisa, Christina E. A. Grigorescu, Cristina Vasiliu, B. Bulinski, V. Kuncser, Daniela Predoi, G. Filoti, Aurelia Meghea, Nicoleta Iftimie, and Maria Giurginca, Optical and Electronic Properties of The Alumino-phosphate Glasses Doped With 3D – Transition Metal Ions, *Rev. Adv. Matter. Sci.* (2005), pp. 367-374.
- [14] A. Amarnath Reddy, S. Surendra Babu, K. Pradeesh. C. J. Otton, and G. Vijaya Prakash, Optical Properties of Highly Er³⁺ - Doped Sodium – Aluminium – Phosphate Glasses for Broadband 1,5 μ m Emission, *Journal of Alloy and Compounds*. 509 (2011), pp. 4047-4052.
- [15] Budi Astuti, Md. Rahim Sahar, and Md. Supar Rohani, Pembentukan dan Uji Massa Jenis Kaca Berasaskan P₂O₅ – Sm₂O₃ – MnO₂, *Seminar Nasional MIPA*. (2007), pp. 99-105.
- [16] P. Meejitpaisan, J. Kaekkhao, P. Limsuwan, and C. Kedkaew, Physical and Optical Properties of The SLS Glass Doped With Low Cr₂O₃ Concentrations, *Procedia Engineering*. (2012), pp. 787-792.
- [17] M. Reza Dousti, S. K. Ghoshal, Raja J. Amjad, M. R. Sahar, Fakhra Nawaz, and R. Arifin, Structural and Optical Study of Samarium Doped Lead Zinc Phosphate Glasses, *Optics Communications*. 300 (2013), pp. 204-209.
- [18] S. F. Ismail, M. R. Sahar, and S. K. Ghoshal, Physical and Absorption Properties of Titanium Nanoparticles Incorporated Into Zinc Magnesium Phosphate Glass, *Material Characterization*. 111 (2016), pp. 177-182.
- [19] Puzi Anigrahawati, M. R. Sahar, and S. K. Ghoshal, Influence of Fe₃O₄ Nanoparticles on Structural, Optical, and Magnetic Properties of Erbium Doped Zinc Phosphate Glass, *Material Chemistry and Physics*. 155 (2015), pp. 155-161.
- [20] M. Hafid, T. Jermoumi, N. Toreis, and T. Ghailassi, IStructure of (45 – x) Na₂O – x BaO – 5 ZnO – 50 P₂O₅ Glasses Studied by DSC and Infrared Spectroscopy , *Materials Letter*. 56 (2002), pp. 486-490.
- [21] N. M. Yusof and M. R. Sahar, Effect of Silver Nanoparticles Incorporated With Samarium – Doped Magnesium Tellurite Glass, *Physica B*. 456 (2015), pp. 191-196.
- [22] Ahmed H. Hammad and A. M. Abdelghany, Optical and Structural Investigations of Zinc Phosphate Glasses Containing Vanadium Ions, *Journal of Non – Crystalline Solids*. 433 (2016), pp. 14-19.
- [23] Asha Rajiv, M. Sudhakara Reddy, Jayagopal Uchil, and Narayana Reddy, Photoluminescence Studies of NaPO₃ – ZnO – MnO₂ Glass System, *International Journal of Luminescence and Applications*. 049 (2015), pp. 41-44.
- [24] Manpreet Kaur, Anupinder Singh, Vanita Thakur, and Lakhwant Singh, Effect of TiO₂ Substitution on Optical and Structural Aspects of Phosphate Glasses, *Journal of Molecular Structure*. 1089 (2015), pp. 95-101.
- [25] S. F. Khor, Z. A. Thalib, and W. M. Mat Yunus, Optical Properties of Ternary Zinc Magnesium Phosphate Glasses, *Ceramics International*. 38 (2012), pp. 935-940.
- [26] S. F. Khor, Z. A. Thalib, F. Malek, and E. M. Cheng, Optical Properties of Ultraphosphate Glasses Containing Mixed Divalent Zinc and Magnesium Ions, *Optical Materials*. 35 (2013), pp. 629-633.