



Studi Awal Pengaruh Suhu Pemanasan pada Sintesis Material Phosphor BCNO dengan Getah Karet Sebagai Sumber Karbon

Nadiisah Nurul Inayah^{1*}, Mohamad Samsul Anrokhi¹, Eka Nurfani², Deska Lismawenning Puspitarum¹

¹Program Studi Fisika, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Provinsi Lampung

²Program Studi Teknik Material, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Provinsi Lampung

* Corresponding author. E-mail: nadiisah.inayah@fi.itera.ac.id

ABSTRAK

Material fosfor dapat memancarkan cahaya pada panjang gelombang tertentu melalui proses eksitasi elektron, sehingga banyak dimanfaatkan dalam teknologi LED. Umumnya, materi fosfor diperoleh dari unsur tanah jarang (*rare earth*), yang cukup sulit dalam ekstraksi material dan harga yang mahal. BCNO merupakan material fosfor alternatif yang mulai dikembangkan karena harganya yang lebih terjangkau dan metode yang cukup sederhana untuk sintesis-nya. Dalam studi ini, BCNO diproduksi melalui metode pemanasan yang konvensional dengan memanfaatkan karet alami sebagai sumber karbon. Sampel yang dihasilkan selanjutnya dianalisis menggunakan Spektrofluorometer (PL), Difraksi Sinar-X (XRD), dan FTIR untuk menyelidiki pengaruh peningkatan suhu pemanasan terhadap karakteristik struktural dan optik BCNO. Ditemukan ketika suhu pemanasan meningkat, terjadinya pergeseran puncak emisi ke panjang gelombang yang lebih pendek (*blue shift*) dan energi eksitasi yang meningkat. Selain itu, peningkatan suhu pemanasan juga memengaruhi sifat struktural, kimia dan optik dalam BCNO, khususnya pada kandungan karbon, dengan hilangnya ikatan C=C dan C=N seiring suhu meningkat, yang berdampak pada karakteristik emisinya.

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diserahkan

19 April 2026

Revisi pertama

25 Mei 2026

Diterima

1 Juni 2026

Tersedia secara online

19 Juni 2026

Tanggal Publikasi

19 Juni 2026

Kata Kunci:

BCNO; Fosfor; Suhu pemanasan;
Sifat optik; Blue shift

ABSTRACT

Phosphor materials are capable of emitting light at specific wavelengths through electron excitation, making them essential in light-emitting diode (LED) applications. Conventional phosphors are typically based on rare earth elements, which are costly and require complex extraction processes. As an alternative, boron carbon oxynitride (BCNO) has attracted considerable attention due to its low cost and relatively simple synthesis. In this study, BCNO phosphors were synthesized via a conventional heating method using natural rubber as a carbon source. The as-prepared samples were characterized by photoluminescence (PL) spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy to evaluate the effect of heating temperature on their structural and optical properties. The results reveal that increasing the heating temperature induces a shift of the emission peak toward shorter wavelengths (blue shift), accompanied by an increase in emission energy. In addition, the heating temperature significantly influences the structural, chemical, and optical characteristics of BCNO, particularly in relation to carbon content. The progressive disappearance of C=C and C=N bonds with increasing temperature is observed, which consequently affects the emission behavior of the material.

ARTICLE INFO**Article History:****Submitted**

April 19, 2026

First Revised

May 25, 2026

Accepted

June 1, 2026

First Available online

June 19, 2026

Publication Date

June 19, 2026

Keyword:

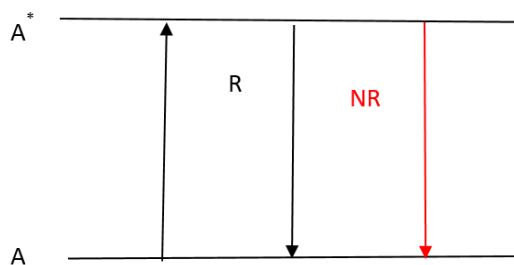
BCNO; Phosphor; Heating temperature; Optical properties; Blue shift

PENDAHULUAN**Material Fosfor**

Material luminesen, yang juga dikenal sebagai material fosfor, merupakan zat padat yang mampu mengubah suatu bentuk energi menjadi radiasi elektromagnetik. Radiasi ini muncul sebagai cahaya ketika elektron dalam material tersebut berpindah ke tingkat energi yang lebih rendah. Umumnya, fosfor akan memancarkan cahaya khas saat terkena paparan radiasi elektromagnetik, seperti sinar ultraviolet (UV)[1].

Fenomena luminensi terjadi akibat eksitasi elektron. Cahaya dapat dipancarkan oleh atom melalui proses emisi spontan, yaitu ketika elektron yang berada pada tingkat energi tinggi kembali ke tingkat energi yang lebih rendah. Dalam proses penurunan energi ini, elektron biasanya melepaskan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik, yang umumnya berada dalam spektrum cahaya tampak. Pada material berbentuk padat, proses ini dikenal sebagai luminesensi. Luminesensi sendiri dapat terjadi melalui berbagai mekanisme, tergantung pada cara eksitasi

elektronnya. Secara umum, luminesensi adalah pemancaran foton yang terjadi saat suatu sistem kembali dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar (*ground state*). Keadaan tereksitasi elektronik merupakan kondisi di mana atom atau molekul memiliki energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan keadaan dasarnya. Salah satu bentuk luminesensi adalah fotoluminesensi, yaitu luminesensi yang dipicu oleh penyinaran dengan radiasi elektromagnetik, biasanya dalam bentuk cahaya seperti sinar *ultraviolet* (UV)[1, 2].



Gambar 1. Diagram proses fotoluminensi, A adalah *ground state*, A* adalah keadaan eksitasi, R adalah keadaan kembali keadaan dasar dengan melepaskan radiasi dan NR tanpa radiasi[1].

Proses eksitasi elektron dalam fotoluminesensi dapat dijelaskan melalui Gambar 1. Dalam fenomena ini, terdapat dua komponen penting yang dikenal, yaitu *host lattice* dan *luminescent center* atau biasa disebut aktivator. Aktivator merujuk pada ion atau elektron yang terlibat dalam proses eksitasi dan emisi melalui

perpindahan tingkat energi. Mekanisme fotoluminesensi diawali ketika aktivator menyerap radiasi, yang menyebabkan perpindahan ke keadaan tereksitasi. Setelah berada dalam kondisi tersebut, aktivator akan kembali ke keadaan dasar dengan melepaskan energi dalam bentuk radiasi. Namun, pada tahap ini, pelepasan energi juga bisa bersaing dengan proses non-radiatif, sebagaimana ditunjukkan pada ilustrasi di atas [1–3].

BCNO

BCNO merupakan material luminisens alternatif yang tidak berasal dari golongan unsur tanah jarang. Material fosfor BCNO umumnya disintesis dari berbagai prekursor yang mengandung unsur boron (B), karbon (C), nitrogen (N), dan oksigen (O). Dibandingkan dengan material dari kelompok tanah jarang, material prekursor untuk BCNO cenderung lebih terjangkau, dan proses sintesisnya pun relatif sederhana serta memerlukan waktu yang singkat. Sejumlah studi telah berhasil memproduksi BCNO menggunakan beragam bahan prekursor unsur pembentuknya. Misalnya, asam borat sering dimanfaatkan sebagai sumber boron; urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) sebagai sumber nitrogen; dan senyawa seperti PEG (*poly-ethylen glycol*); asam sitrat; melamin

($C_3N_6H_6$) maupun metenamin ($((CH_2)_6N_4)$) sebagai sumber karbon[4].

Fosfor BCNO dikenal memiliki spektrum emisi yang luas. Hal ini terbukti pada penelitian yang dilakukan Zhang dkk., yang berhasil mensintesis BCNO dengan pancaran cahaya mencapai panjang gelombang hingga 630 nm di wilayah merah[5]. Rentang emisi yang lebar ini memungkinkan menghasilkan berbagai warna cahaya yang dihasilkan selama proses fosforesensi, seperti warna seperti biru, hijau, kuning, hingga merah. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa warna cahaya yang dipancarkan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Misalnya, BCNO yang disintesis melalui metode pemanasan sederhana dapat memancarkan cahaya biru saat dipaparkan atau disinari dengan cahaya pada panjang gelombang 370 nm. Warna biru yang dihasilkan dipengaruhi oleh peningkatan kadar karbon dan suhu selama proses pemanasan[6].

Dalam penelitian ini, karet alam (lateks) dimanfaatkan sebagai alternatif sumber karbon dalam sintesis material fosfor BCNO karena memiliki biaya yang lebih rendah dan ketersediaan yang melimpah di Indonesia. Karet alam merupakan polimer isoprena (C_5H_8) bermassa molekul tinggi yang berpotensi

menjadi sumber karbon yang efektif untuk sintesis BCNO.[7].

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji efek variasi suhu pemanasan terhadap proses sintesis material BCNO. Metode pemanasan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode pemanasan bertahap yang sederhana. Proses menggunakan proses pemanasan (*heat treatment*) dengan *furnace* pada suhu rendah dalam rentang $600^{\circ}C$ hingga $700^{\circ}C$, serta proses penguapan sampel yang dilakukan menggunakan *microwave*. Proses pemanasan semacam ini juga telah digunakan dalam studi sebelumnya. Sebagai contoh, Nuryadin dkk menggunakan metode serupa untuk meneliti pengaruh penambahan unsur mangan (*doping*) dalam sintesis fosfor BCNO[8].

METODE PENELITIAN

Proses sintesis BCNO dalam penelitian ini menggunakan metode konvensional yang relatif sederhana. Bahan-bahan yang digunakan meliputi asam borat (H_3BO_3) sebagai sumber boron (B), urea ($((NH_2)_2CO)$) sebagai sumber nitrogen (N), dan getah karet alam *Hevea Brasiliensis* sebagai sumber karbon (C), yang sekaligus menjadi inovasi dalam penelitian ini. Rasio massa prekursor B : C :

N ditetapkan sebesar 1,2 : 0,6 : 6 (w/w dalam gram). Ketiga prekursor dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*) di atas *hot plate* pada suhu 30°C dan kecepatan 1000 rpm hingga larutan menjadi homogen. Campuran homogen tersebut kemudian dipindahkan ke dalam cawan krus 50 mL, lalu diproses dalam *microwave* dengan daya 900 watt selama 3 menit untuk menguapkan air, hingga diperoleh sampel padat berupa serbuk putih. Selanjutnya, sampel dikalsinasi menggunakan *furnace* pada tiga variasi suhu, yaitu 600°C, 650°C, dan 700°C selama satu jam. Setelah itu, dilakukan karakterisasi untuk menganalisis sifat optik dan struktur dari material fosfor BCNO menggunakan metode PL (*Photoluminescence*), XRD (*X-ray Diffraction*), dan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*).

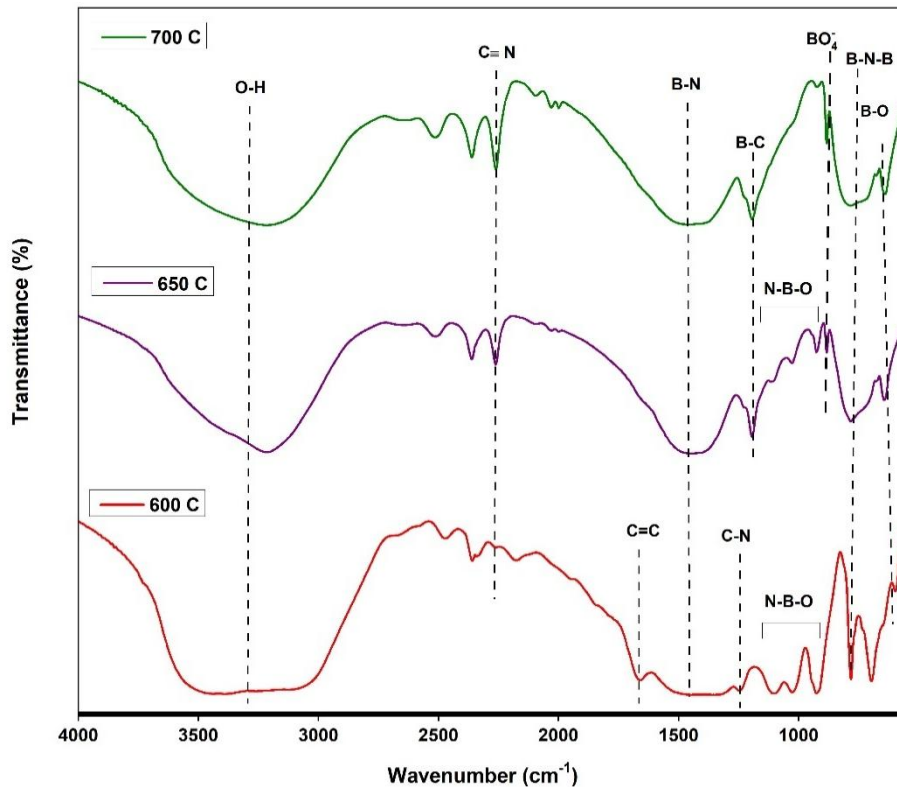
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi FTIR

Karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dilakukan di Laboratorium GLabs Indonesia, Bandung, Jawa Barat. Karakterisasi FTIR yang dilakukan di daerah serapan bilangan gelombang 500 cm^{-1} hingga 4000 cm^{-1} .

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, sampel A (suhu pemanasan 600°C), B (suhu pemanasan 650°C), dan C (suhu pemanasan 700°C), ketiganya menunjukkan rentang transmitansi bilangan gelombang pada daerah $\sim 543 \text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan keberadaan gugus B–O, terkait dengan struktur BO_3 dalam kristal B_2O_3 . Pita serapan lain muncul pada $\sim 783 \text{ cm}^{-1}$ (B–N–B), $\sim 1400 \text{ cm}^{-1}$ (B–N), $\sim 2260 \text{ cm}^{-1}$ ($\text{C}\equiv\text{N}$), dan $\sim 3200 \text{ cm}^{-1}$ (O–H akibat dekomposisi urea[9]. Pita B–N yang melebar menunjukkan frekuensi serapan rendah dan panjang ikatan besar, yang mengindikasikan rendahnya kristalinitas[4].

Sedangkan Gugus N–B–O pada rentang 900–1100 cm^{-1} terdeteksi pada sampel A dan B sebagai *multiple peak*, tetapi tidak muncul pada sampel C[10]. Sebaliknya, gugus B–C ($\sim 1190 \text{ cm}^{-1}$) dan BO_4^- ($\sim 883 \text{ cm}^{-1}$) hanya terdeteksi pada sampel B dan C. Gugus C–N ($\sim 1250 \text{ cm}^{-1}$) dan C=C ($\sim 1660 \text{ cm}^{-1}$) hanya ditemukan pada sampel A. Hilangnya pita C=C pada sampel B dan C diduga akibat reaksi boron dengan karbon yang menghasilkan fase intermediat, sehingga membentuk gugus B–C[5][11][12].



Gambar 2. Spektrum FTIR fosfor BCNO dengan variasi suhu pemanasan

Perubahan spektrum IR, seperti hilangnya C–N dan C=C serta munculnya B–N seiring peningkatan suhu pemanasan, menunjukkan terjadinya reaksi antara boron, karbon, nitrogen, dan oksigen. Pada suhu pemanasan rendah, ikatan kimia masih lemah dan pembentukan struktur BCNO belum sempurna. Meningkatnya suhu menyebabkan pita B–O menjadi lebih tajam dan kemunculan gugus BO_4^- pada sampel B dan C, yang keduanya berkaitan dengan senyawa B_2O_3 . Hal ini juga diperkuat dengan hasil XRD menunjukkan bahwa sampel A memiliki kristalinitas terendah, ditunjukkan oleh intensitas yang lebih kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa

peningkatan suhu pemanasan memperkuat ikatan kimia dan meningkatkan kristalinitas. Selain itu, peningkatan suhu juga menurunkan kandungan karbon sebagai impuritas dan memperlebar pita energi, yang menyebabkan pergeseran biru (*blue shift*) pada spektrum emisi[13].

Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi X-ray Diffraction (XRD) dilakukan di Laboratorium GLabs Indonesia, Bandung, Jawa Barat, dengan rentang sudut pengukuran 0° – 90° . Pola XRD fosfor BCNO yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 3. Puncak yang ditandai dengan segitiga ($\blacktriangle$) dan lingkaran

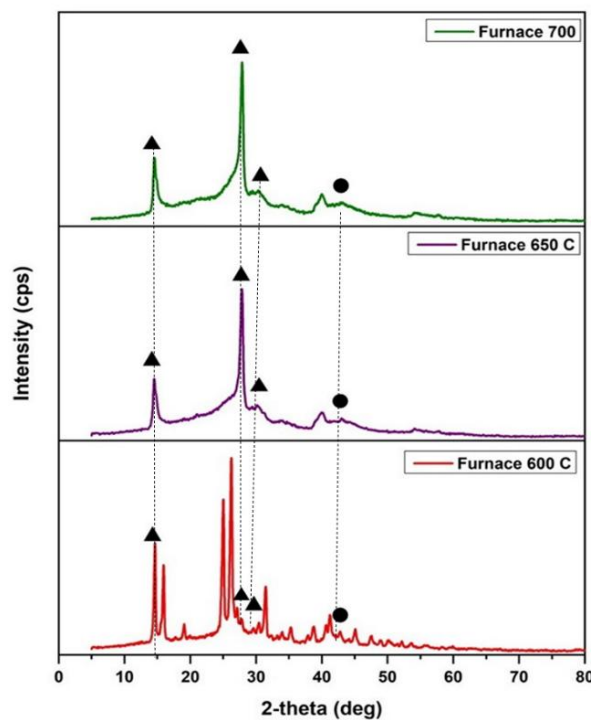
(●) masing-masing merepresentasikan B_2O_3 dan BN sebagai komponen utama BCNO. Selain itu, seluruh sampel menunjukkan puncak dominan pada sudut sekitar $\sim 14^\circ$, yang diidentifikasi sebagai B_2O_3 dengan fase kubik[5].

Pada sampel B dan C, terdapat puncak dominan pada sudut sekitar 27° , yang menunjukkan keberadaan B_2O_3 fase kubik. Sementara itu, pada sampel A juga ditemukan puncak di sekitar 27° , namun dengan intensitas yang jauh lebih rendah dibandingkan sampel B dan C[5, 9, 10]. Fase kubik B_2O_3 juga teridentifikasi pada sudut sekitar 30° pada ketiga sampel[13]. Selain itu, semua sampel menunjukkan puncak

yang melebar di sekitar 43° , yang dikaitkan dengan BN. Pelebaran puncak ini mengindikasikan bahwa material berada dalam fase amorf.

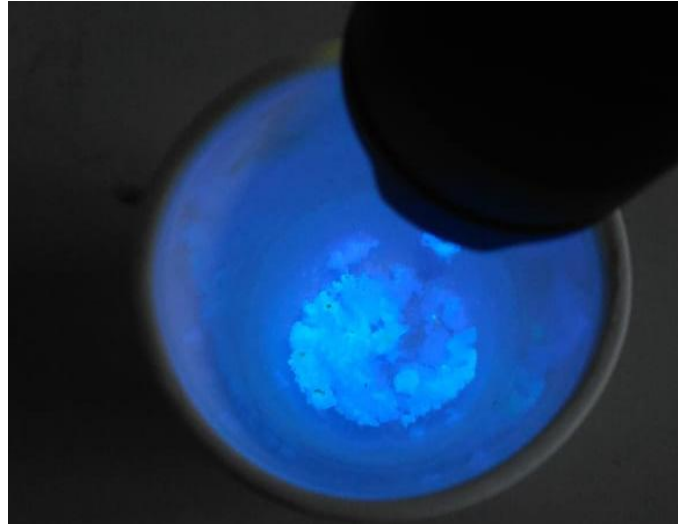
Karakterisasi *Photoluminence* (PL)

Karakterisasi PL dilakukan di Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi Institut Teknologi Bandung (PPNN ITB), menggunakan instrumen spektrofлуorometer dengan panjang gelombang eksitasi yang digunakan 325 nm. Sebelum dilakukan karakterisasi PL, dilakukan uji sampel dengan senter sinar UV, untuk melihat apakah sampel yang dihasilkan menunjukkan pendaran (luminensi) seperti Gambar 4.

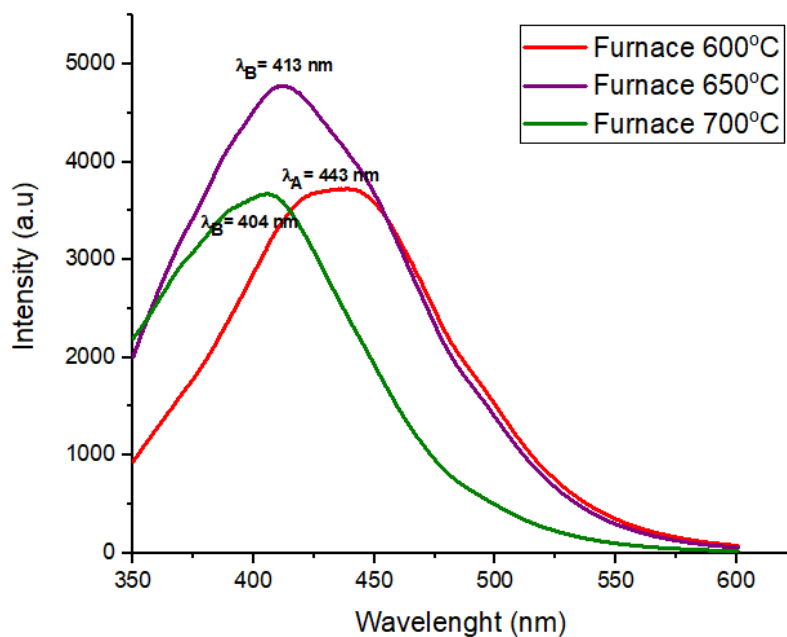


Gambar 3. Spektrum XRD fosfor BCNO dengan variasi suhu pemanasan

Ket ▲: B_2O_3 ●:BN



Gambar 4. Contoh salah satu sampel yang disinari UV 365 nm



Gambar 5. Kurva spektrum emisi dengan intensitas ternormalisasi

Sedangkan pada gambar 5 menunjukkan hasil karakterisasi PL untuk masing masing sampel. Sampel dengan suhu pemanasan 600°C (sampel A) menghasilkan puncak emisi 443 nm, sampel dengan suhu pemanasan 650°C (sampel B) pada 413 nm, dan untuk

sampel dengan suhu pemanasan 700°C (sampel C) pada 404 nm. Dari kurva PL yang dihasilkan nampak bahwa saat temperatur pemanasan meningkat dari 600°C ke 700°C puncak emisi yang dihasilkan bergeser ke arah panjang gelombang cahaya biru (*blue shift*) hal ini

sesuai dengan penelitian oleh Zhang dkk yang menemukan bahwa pergeseran puncak emisi yang dihasilkan akan mengalami pergeseran ke arah spektrum cahaya biru (*blue shift*) akibat penambahan suhu pemanasan yang mengakibatkan kandungan karbon menurun dan dihasilkan lebih banyak ikatan B-N yang terbentuk [6, 14], [15]. Hal ini dapat terlihat pada kurva FTIR pada Gambar 2 yang menunjukkan adanya atom karbon yang membentuk gugus fungsi C=C dan C-N pada sampel A yang tidak ditemukan pada sampel B dan C, serta bentuk lembah yang semakin tajam pada daerah serapan gugus fungsi B-N yang menunjukkan semakin kuatnya ikatan yang terbentuk antara boron dan nitrogen[16][17].

Sedangkan, untuk intensitas PL, sampel A memiliki intensitas yang lebih kecil dibanding sampel B, hal ini dikarenakan impuritas kandungan dari karbon menyerap sinar eksitasi UV dan cahaya emisi dari fosfor BCNO, sehingga mengurangi intensitas pendaran, dan juga dapat dipengaruhi oleh kristalinitas yang meningkat seiring meningkatnya temperatur pemanasan, sehingga intensitas emisi menjadi lebih tinggi saat suhu pemanasan meningkat[5, 8]. Meskipun demikian, intensitas pada

sampel C tidak lebih tinggi dibanding sampel B, walaupun tingkat kristalinitas harusnya meningkat seiring dengan naiknya temperatur dan jauh lebih baik dari sampel A, namun hal seperti ini juga pernah dilaporkan pada penelitian sebelumnya oleh Ogi dkk. dimana kandungan karbon yang menguap pada suhu yang lebih tinggi secara signifikan akan mengubah komposisi sampel[5].

Celah pita energi atau *band gap* dari t-BN yang menurun dengan kandungan impuritas karbon yang meningkat. Besarnya pita energi atau *band gap* $E(\text{eV})$ dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini,

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Dimana h adalah konstanta Planck ($4,135667662 \times 10^{-15} \text{ eV s}$), c adalah kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) dan λ adalah puncak panjang gelombang emisi.

Nilai pita energi (*band gap*) yang diperoleh untuk sampel A, B, dan C masing-masing adalah 2,80 eV, 3,003 eV, dan 3,07 eV. Rentang nilai *band gap* tersebut menunjukkan bahwa material fosfor BCNO memiliki karakteristik semikonduktor. Hasil ini membuktikan bahwa penggunaan getah karet alam sebagai sumber karbon mampu

menghasilkan material fosfor BCNO dengan sifat semikonduktor yang baik. Selain itu, pemanfaatan karet alam memberikan alternatif sumber karbon yang lebih ekonomis sekaligus memanfaatkan sumber daya alam yang melimpah di Indonesia[18][19][20, 21].

Nilai dari masing masing energi emisi ini berkaitan dengan tingkat kandungan impuritas dari masing masing sampel, dimana hal ini menunjukan peranan penting dari kandungan impuritas karbon yang mempengaruhi jenis emisi yang dihasilkan[9][22][23–26].

SIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi dan analisis yang telah dilakukan, peningkatan suhu pemanasan terbukti memengaruhi sifat optik, struktur, dan kimia fosfor BCNO. Seiring meningkatnya suhu pemanasan, terjadi beberapa perubahan karakteristik pada BCNO, seperti pergeseran emisi ke arah panjang gelombang yang lebih pendek (*blue shift*), peningkatan energi eksitasi yang berkaitan dengan kandungan impuritas karbon, perubahan intensitas puncak pada spektrum XRD, serta perubahan ikatan kimia pada gugus fungsi. Perubahan tersebut ditunjukkan dengan munculnya ikatan B–O dan BO_4^- serta

berkurangnya ikatan yang berkaitan dengan unsur karbon, yang turut memengaruhi karakteristik emisi material. Penelitian ini menunjukkan keberhasilan sintesis material BCNO dengan karakteristik yang baik sebagai material fosfor, yang ditunjukkan secara visual melalui pendaran saat disinari sinar UV. Selain itu, penggunaan karet alam sebagai sumber karbon memberikan alternatif yang lebih ekonomis sekaligus memanfaatkan sumber daya alam yang melimpah di Indonesia.

Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengujian aplikasi material BCNO pada perangkat LED untuk mengevaluasi performa optoelektroniknya. Selain itu, pengujian karakteristik arus–tegangan (I–V) juga dapat dilakukan untuk mempelajari sifat elektronik material serta responsnya terhadap eksitasi cahaya UV apabila material ini dikembangkan lebih lanjut sebagai material optoelektronik berbasis fosfor.

REFERENSI

- [1] Blasse G, Grabmaier BC. *Luminescent Materials*. 1994.
- [2] Fox M. (Oxford Master Series in Physics) Mark Fox - Optical Properties of Solid-Oxford University Press, USA (2002) (1).pdf.

- [3] Off PN, Relaxation V, Conversion I, et al. Jablonski diagram. 2011; 1–7.
- [4] Zhang X, Jia X, Liu H, et al. Spectral properties and luminescence mechanism of red emitting BCNO phosphors. *RSC Adv* 2015; 5: 40864–40871.
- [5] Kaihatsu Y, Wang W, Iskandar F, et al. Effect of the Carbon Source on the Luminescence Properties of Boron Carbon Oxynitride Phosphor Particles. 2010; 20–24.
- [6] Zhang X, Lu Z, Liu H, et al. Blue emitting BCNO phosphors with high quantum yields. *J Mater Chem C Mater* 2015; 3: 3311–3317.
- [7] Alam PN. Sintesa dan Karakteristik Sifat Mekanik Karet Nanokomposit. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan* 2007; 6: 1–6.
- [8] Nuryadin BW, Septia EC, Iskandar F, et al. Microwave-assisted solid state synthesis of red-emitting BCNO phosphor and its characteristics. *Adv Mat Res* 2014; 896: 464–467.
- [9] Iskandar F, Fauziah A, Permatasari FA, et al. Physicochemical study of multicolor BCNO phosphors using a urea combustion method Physicochemical study of multicolor BCNO phosphors using a urea combustion method.
- [10] Zhang X, Lu Z, Lin J, et al. Spectra Properties of BCNO Phosphor Prepared by a Two-Step Method at Low Sintering Temperature. 2013; 2: 1–5.
- [11] Wang D, Guo S, Wang S, et al. Design of BCNO @ PPy composites for efficient microwave absorption and thermal management. 313.
- [12] Liu X, Li Z, Wang Z, et al. BCNO quantum dots-based ratiometric fluorescence platform integrated with portable device : Hypoxanthine sensing for on-site assessment of meat freshness with deep learning. 480.
- [13] Ren C, Zhang X, Zhou L, et al. Preparation optimization and spectral properties of BCNO phosphors with high quantum efficiency. *J Lumin* 2014; 153: 338–342.
- [14] Ogi T, Kaihatsu Y, Iskandar F, et al. Facile synthesis of new full-color-emitting BCNO phosphors with high quantum efficiency. *Advanced Materials* 2008; 20: 3235–3238.
- [15] Wu Z, Zhou Y, Huang H, et al. Sensors and Actuators : B . Chemical BCNO QDs and ROS synergistic oxidation effect on fluorescence enhancement sensing of tetracycline. 332.
- [16] Kumar S, Rajawat S, Ojha P, et al. Optik Study of the effect of urea concentration on optical properties of Boron Carbon Oxynitride (BCNO) nanophosphor. 232.
- [17] Wang D, Song Z, Yang S, et al. Porous BCNO fibers for efficient methylene blue adsorption from aqueous solution. 146.
- [18] Haranath D. Unveiling the potential of a self-activated BCNO extremely low-light environments †. 2025; 24367–24380.
- [19] Zhang Y, Ran H, Liu X, et al. One-step solvent-free approach to

- p>constructing microporous BCNO to enhance adsorptive desulfurization. 477.
- [20] Wana Putri Anastasya H. GASIFIKASI PELET KAYU KARET (Hevea brasiliensis) SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN MENGGUNAKAN DOWNDRAFT GASIFIER.
- [21] Harmiansyah H, Rismayanti MI, Widiya W, et al. Potensi biomassa biji karet (hevea brasiliensis) sebagai bahan baku pembuatan biodisel di Indonesia. *Sultra Journal of Mechanical Engineering* 2025; 4: 1–9.
- [22] Zhang X, Yuan K, Li L, et al. Effects of silver nanoparticles on enhancement of luminescence properties for BCNO phosphors with red emission. 2018; 762: 579–585.
- [23] Saputra RM, Sumarjo J, Gusniar IN. Pemanfaatan Limbah Pasca Panen Getah Karet dan Kayu Pohon Karet Sebagai Briket Arang Untuk Kemandirian Energi. *Media Bina Ilmiah* 2022; 16: 7719–7726.
- [24] Efiyanti L. Pembuatan dan analisis karbon aktif dari cangkang buah karet dengan proses kimia dan fisika. *Jurnal Ilmu Kehutanan*.
- [25] Munawaroh S, Sirait R, Jumiati E. Karakteristik Sifat Fisika dan Kimia Terhadap Pembuatan Briket Arang Kulit Salak dengan Penambahan Perekat Getah Karet. *Jurnal Fisika Unand* 2024; 13: 358–364.
- [26] Pratama RA. PENGARUH STRUKTUR AGGREGATE KARBON HITAM TERHADAP KEKUATAN TARIK
- KOMPOSIT KARET ALAM/KARBON HITAM.