

POTENSI LIMBAH CANGKANG BIJI KARET DAN SEKAM PADI UNTUK BAHAN DASAR GRAFENA OKSIDA TEREDUKSI (rGO) SEBAGAI ADSORBEN PENJERNIH MINYAK

Devi Indah Anwar^{1*}, Lela Lailatul Khumaisah¹, Eri Rizki Haryadi²

¹ Program Studi Kimia, Fak. Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi
Jl. R Syamsudin, SH. NO 50, Cikole, Kota Sukabumi, Jawa Barat 43113

² PT Clariant Adsorbents Indonesia
Lengkong, Sukabumi, 43174, Indonesia.

*Email: deviindahanwar@ummi.ac.id

Abstrak

Cangkang biji karet (CBK) dan sekam padi (SP) merupakan limbah biomassa yang mengandung bahan lignoselulosa seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dengan adanya kandungan senyawa tersebut cangkang biji karet dan sekam padi berpotensi digunakan sebagai bahan baku dalam sintesis grafena oksida tereduksi (rGO). Grafena oksida tereduksi merupakan senyawa yang dihasilkan melalui reduksi atau penghilangan gugus fungsi yang mengandung oksigen dari grafena oksida. Tujuan penelitian ini yaitu mengkaji potensi cangkang biji karet dan sekam padi sebagai bahan dasar grafena oksida tereduksi untuk adsorben penjernih minyak. Grafena oksida tereduksi disintesis menggunakan metode Hummer termodifikasi yaitu mengganti NaNO_3 dengan H_3PO_4 agar tidak dihasilkan gas beracun NO_2 dan N_2O_4 serta menggunakan agen pereduksi berupa Zn. Hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan FTIR, serta dipaliskasikan sebagai adsorben untuk menjernihkan minyak. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, rGO CBK dan SP masing-masing memiliki puncak $2\theta = 23,5^\circ$ dan $21,2^\circ$ dengan kristalinitas 17 dan 13%. Karakterisasi FTIR menunjukkan perubahan struktur dengan berkurangnya atom O dan hilangnya gugus OH. Adsorpsi untuk menjernihkan minyak menunjukkan persen penurunan sebesar 86% untuk rGO CBK dan 74% untuk rGO SP.

Kata kunci: adsorben, Cangkang biji karet, Grafena oksida tereduksi (rGO), Sekam padi, minyak

Abstract

Rubber seed shells (CBK) and rice husks (SP) are biomass waste that contain lignocellulosic materials such as cellulose, hemicellulose and lignin. Due to the presence of these compounds, rubber seed shells and rice husks have the potential to be used as raw materials in the synthesis of reduced graphene oxide (rGO). Reduced graphene oxide is a compound produced through reduction or removal of oxygen-containing functional groups from graphene oxide. The aim of this research is to examine the potential of rubber seed shells and rice husks as basic materials for reduced graphene oxide for oil purifying adsorbents. Reduced graphene oxide was synthesized using a modified Hummer method, namely replacing NaNO_3 with H_3PO_4 to prevent the production of toxic gases NO_2 and N_2O_4 and using a reducing agent in the form of Zn. The synthesis results were characterized using XRD and FTIR, and applied as an adsorbent to clarify oil. Based on the XRD characterization results, rGO CBK and SP each have peaks of $2\theta = 23.5^\circ$ and 21.2° with crystallinities of 17 and 13%. FTIR characterization shows structural changes with the reduction of O atoms and the loss of OH groups. Adsorption to clarify oil showed a percent reduction of 86% for rGO CBK and 74% for rGO SP.

Key words: adsorbent, rubber seed shell, reduced graphene oxide (rGO), rice husk, oil

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara tropis dengan penyebaran tanaman karet dan padi yang sangat melimpah, memicu munculnya limbah cangkang buah karet dan sekam padi. Diperlukan pengelolaan limbah cangkang buah karet dan sekam padi tersebut agar memiliki nilai ekonomi dan bermanfaat. Luas areal

tanaman perkebunan karet di Jawa Barat pada tahun 2022 mencapai 39,3 ribu ha dengan produksi perkebunan karet sebesar 25,7 ribu ton (BPS, 2023), sedangkan di Kabupaten Sukabumi produksi tanaman karet pada tahun 2021 sebesar 5051 ton, tertinggi kedua setelah kabupaten garut (Jabarprov, 2021).

Perkebunan karet yang luas di Kabupaten Sukabumi, selain menghasilkan karet alam juga menghasilkan bahan organik yang tidak terpakai, seperti kayu, buah, dan cangkang biji. Salah satu limbah perkebunan karet yang berjumlah besar dan potensial digunakan adalah cangkang biji karet. Cangkang biji karet mengandung hemiselulosa 66,4% dan selulosa 25,8%. Pemanfaatan cangkang biji karet selama ini terbatas sebagai bahan baku pembuatan asap cair, arang aktif dan bahan baku kerajinan tangan (Jaya dkk., 2019).

Data luas panen dan produksi padi di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 10,41 juta hektar dengan total produksi 54,42 juta ton GKG (Gabah Kering Giling), sedangkan luas panen padi di Jawa Barat mencapai 1.604,11 ribu hektar (BPS, 2021). Pada proses penggilingan padi dihasilkan sekam padi sekitar 20-25%. Sekam padi sebagai limbah pertanian mengandung karbon sebesar 29,64% (Haryono dkk., 2023).

Cangkang biji karet dan sekam padi mengandung bahan lignoselulosa (Nurandini dkk., 2022) yang diproduksi dari limbah pertanian, bersifat terbarukan, melimpah, tersedia, dan tidak mahal, sehingga berpotensi sebagai bahan baku pembuatan rGO ramah lingkungan.

Grafena oksida tereduksi (rGO) merupakan senyawa yang dihasilkan melalui reduksi atau penghilangan gugus fungsi yang mengandung oksigen dari grafena oksida (GO). GO bersifat hidrofilik, dan struktur kimia pada bagian basal dan tepinya mengandung gugus-gugus fungsional oksigen, yaitu gugus hidroksil, karboksil, alkoksil, dan epoksil. Sifat-sifat fisis GO bergantung pada metode sintesis yang digunakan (Dwandaru dkk., 2019).

rGO memiliki luas permukaan yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk adsorben, diantaranya untuk adsorpsi minyak. Adsorpsi minyak pada bahan adsorben terjadi melalui proses fisikokimia (Songsaeng dkk., 2019). Penelitian sebelumnya menunjukkan rGO memiliki luas permukaan spesifik sebesar 255, 93 m²/g (Chasanah, 2023) dan 137 m²/g (Fatmawati, 2023).

Bahan baku utama untuk pembuatan minyak goreng adalah minyak kelapa sawit mentah (*Crude Palm Oil*/ CPO). Indonesia merupakan salah satu negara penghasil CPO terbesar di dunia. Produksi Minyak Mentah per bulan di Indonesia mencapai 2.593 ribu metrik ton pada tahun 2022 (BPS, 2023). Proses pendistribusian

minyak sawit mentah di Indonesia dikelola dengan persyaratan mutu yang diatur melalui Standar Nasional Indonesia (SNI).

Standar CPO yang digunakan adalah SNI 01-2901-2006 mengenai Minyak Kelapa Sawit Mentah (CPO) yang disusun oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN, 2006). Proses pembuatan minyak goreng melibatkan adsorben untuk mengikat pengotor, memucatkan warna dan menurunkan kadar *Free Fatty Acid* (FFA) minyak. Adsorben yang digunakan dalam proses pemurnian CPO umumnya adalah *bleaching earth* (Hasyim dkk., 2019).

Bleaching Earth (BE) adalah salah satu komponen dalam proses pemucatan minyak kelapa sawit (CPO). Minyak kelapa sawit (CPO) mengandung komponen karoten, yaitu betakaroten sekitar 500 – 700 ppm dengan rincian 36% α betakaroten dan 54% β betakaroten, yang merupakan komponen nontrigliserida. Senyawa nontrigliserida merupakan komponen yang tidak diharapkan pada minyak karena menimbulkan warna serta rasa dan bau yang tidak diinginkan. Senyawa karoten inilah yang memberikan warna merah pada minyak kelapa sawit. Dengan menambahkan *Bleaching Earth* (BE) maka pigmen merah akan berkurang dan memucatkan betakaroten yang terkandung dalam minyak yang mana warna awal CPO adalah sebesar 20 R.

Proses pemurnian minyak sawit adalah proses yang merubah CPO menjadi minyak goreng secara efisien dengan membuang kotoran yang tidak diinginkan sampai pada tingkat yang dipersyaratkan. Warna CPO yang memenuhi standar mutu yang ditetapkan pabrik adalah maksimal 17R, sedangkan untuk parameter warna, SNI tidak menetapkan standar khusus, tetapi menetapkan standar warna untuk minyak goreng yaitu 5R (BSN, 2012). Pada proses pemucatan digunakan bahan pemucat yaitu *bleaching earth* sebagai adsorben yang menyerap warna kemerahan pada minyak tersebut. Pemakaian *bleaching earth* yang digunakan yaitu berkisar antara 0.6 – 1.4%. (Hasballah dan Leonardo, 2020).

Pada penelitian ini jumlah adsorben yang digunakan adalah sebesar 1%. Adsorben sebagai *bleaching earth* pada penelitian ini diperoleh dari hasil sintesis rGO berbahan dasar cangkang biji karet dan sekam padi. Tujuan penelitian ini adalah mensistesis rGO berbahan dasar limbah cangkang biji karet dan sekam padi dengan metode Hummer termodifikasi,

serta diaplikasikan sebagai adsorben untuk menjernihkan minyak.

Pada penelitian ini digunakan metode Hummer termodifikasi, dimana penggunaan larutan NaNO_3 diganti dengan menggunakan H_3PO_4 sehingga gas beracun NO_2 dan N_2O_4 tidak akan terbentuk. Metode Hummers memiliki waktu reaksi yang singkat, efisiensi tinggi, dan keamanan tinggi, yang menjanjikan untuk persiapan industri GO (Chen, 2022).

Sintesis grafena oksida tereduksi dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu melalui proses sintesis grafit, grafit oksida (GO), dan material grafena oksida tereduksi (rGO) (Lee dkk., 2019).

2. METODOLOGI

2.1. Objek dan Bahan

Objek pada penelitian ini adalah grafit yang diperoleh dari limbah sekam padi dan limbah cangkang biji karet. Limbah tersebut diperoleh dari wilayah kp. Cipeteuy, Lengkong, Kabupaten Sukabumi.

Bahan yang diperlukan diantaranya KMnO_4 , H_2SO_4 , es batu, kertas saring, aqua DM (Demineralisasi), HF, aquades, H_2O_2 , H_3PO_4 , HCl dan serbuk Zn.

2.2. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian antara lain, stirrer, peralatan gelas, erlenmeyer, timbangan, saringan mesh (200), ultrasonikator, spatula, mortar, pH universal, oven, tanur, X-ray diffraction (XRD), FTIR dan Tintometer.

2.3. Prosedur Kerja

2.3.1 Sintesis Grafit (Supriyanto dkk., 2018)

Cangkang biji karet dan sekam padi dibersihkan dan dicuci, kemudian dipanaskan menggunakan tanur pada suhu 550°C selama 3 jam. 20 g arang yang dihasilkan, dilarutkan menggunakan 30 ml HF kemudian dipanaskan dan diaduk selama 3 jam. Dinginkan pada suhu ruangan dan dihaluskan dengan mortar kemudian disaring menggunakan saringan (mesh 200).

2.3.2 Sintesis Grafit Oksida (Pratama dkk., 2021)

Disiapkan campuran antara H_2SO_4 dan H_3PO_4 (9:1) sebanyak 40 ml di dalam 2 erlenmeyer, ditambahkan masing-masing 2 g grafit sekam padi dan cangkang biji karet, Kemudian ditambahkan 9 g KMnO_4 secara perlahan pada suhu di bawah 10°C selama penambahan campuran diaduk selama 40 menit pada suhu 50°C , lalu diencerkan dengan aqua demineral (DM). Kemudian ditambahkan 30%

H_2O_2 untuk menghentikan proses oksidasi. Penambahan H_2O_2 ke dalam larutan akan merubah warna larutan menjadi kekuningan dan terbentuk gelembung pada larutan. Setelah itu larutan disaring dan dicuci sampai pH mendekati 7, setelah itu dipanaskan dalam oven pada suhu 60°C selama 12 jam.

2.3.3 Sintesis Reduksi Grafena Oksida (rGO)

Sebanyak 40 mg GO sekam padi dan cangkang biji karet, masing-masing ditambahkan 40 ml aquades dan diaduk selama 1 jam, kemudian diultrasonikasi dengan gelombang 50/60 Hz selama 90 menit. Lalu ditambahkan serbuk Zn sebanyak 0,8 g dan 10 ml HCl 35% sambil diaduk selama 30 menit, kemudian dicuci dengan menggunakan aquades dan HCl 5% sampai pH campuran menjadi netral. Hasil endapan pada proses campuran di saring dan dipanaskan dalam oven pada suhu 60°C selama 12 jam.

2.3.4 Karakterisasi Grafit, GO, dan rGO

rGO yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction dan spektroskopi FTIR untuk mengetahui gugus fungsi.

2.3.5 Prosedur kerja analisa warna

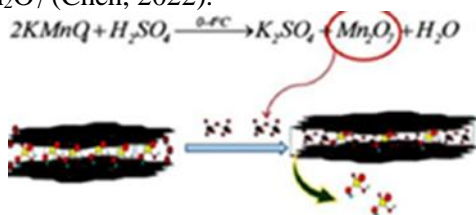
Sampel pemakaian *Bleaching Earth* (rGO) 1% diisi ke dalam *lovibond cell* dan dimasukkan pada tempat sampel di tintometer. Warna di sebelah kiri (Sampel) disamakan dengan warna di sebelah kanan (standar) dengan menarik *standart cell color red*. Skala pada *standart Cell* Tintometer dibaca dan dicatat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis rGO meliputi 3 tahapan, yaitu sintesis grafit, grafit oksida dan rGO (Grafena Oksida tereduksi) (Lee dkk., 2019). Grafit sebagai *raw material* pada penelitian ini diperoleh dari limbah biomassa, dilakukan dengan melalui proses pembakaran (karbonisasi) pada suhu di atas $400\text{--}500^\circ\text{C}$. Penguraian bahan-bahan organik memiliki beberapa tahap pada prosesnya. Pada suhu $100\text{--}105^\circ\text{C}$ terjadi proses penguapan air, pada suhu $200\text{--}500^\circ\text{C}$ akan menghasilkan asap CO_2 dan asam asetat (Chen dkk., 2022). Sementara itu pada suhu $350\text{--}600^\circ\text{C}$ akan terjadi pembentukan karbon. Selulosa yang terkandung akan terdekomposisi pada suhu $275^\circ\text{C}\text{--}350^\circ\text{C}$, hemiselulosa pada suhu $150\text{--}350^\circ\text{C}$, serta lignin terdekomposisi pada temperature $200\text{--}500^\circ\text{C}$ (Gobel dan Arief 2021).

Pada tahapan sintesis grafit oksida, grafit dioksidasi menggunakan metode hummer termodifikasi. Grafit dioksidasi menggunakan H_2SO_4 dan H_3PO_4 (9:1) serta $KMnO_4$. H_2SO_4 dan H_3PO_4 disisipkan diantara lapisan grafit dalam bentuk gerakan termal molekul untuk menghasilkan H_3PO_4 - H_2SO_4 -GIC (*graphite intercalation compounds*) (Chen, 2022). Asam bekerja sebagai *molecular wedge* yang akan memisahkan lembaran grafena dari induk grafit.

Penggunaan $KMnO_4$ sebagai pengoksidasi kuat di dalam larutan pada suasana asam memiliki peranan penting dalam pengelupasan grafit. Penambahan $KMnO_4$ pada larutan asam dilakukan pada temperatur suhu $10^\circ C$. Penambahan $KMnO_4$ ke dalam larutan asam kuat akan merubah warna larutan berwarna hitam kehijauan yang menghasilkan senyawa Mn_2O_7 (Chen, 2022).



Gambar 1. Ilustrasi penyisipan Mn_2O_7 diantara lapisan grafit

Mn_2O_7 memiliki kemampuan oksidasi yang lebih kuat daripada senyawa mangan lainnya dalam reaksi oksidasi dengan senyawa organik. Mn_2O_7 disisipkan diantara lapisan grafit dalam difusi-konveksi molekuler menjadi Mn_2O_7 - H_2SO_4 -GIC (Gambar 1). Mn_2O_7 didekomposisi oleh panas. Atom oksigen dihasilkan untuk mengoksidasi cacat pada lapisan grafit menjadi PGO (*pristine graphite oxide*). PGO dimurnikan dengan air deionisasi, hidrogen peroksida, dan asam klorida menjadi GO

Tujuan oksidasi grafit ialah untuk memasukan gugus gugus seperti hidroksil ke dalam struktur grafit serta terciptanya jarak lapisannya dan mempermudah proses reduksi GO menjadi rGO (Domínguez dkk., 2019). Proses oksidasi dihentikan dengan penambahan H_2O_2 . Proses oksidasi telah selesai ditandai munculnya buih kecil serta larutan berwarna kuning kecoklatan (Habte and Ayele, 2019). Reaksi ditunjukan pada persamaan berikut (Pratama dkk., 2021).

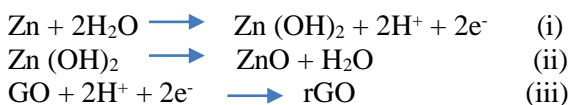


GO yang terbentuk dicuci sampai pH netral, pH akan mempengaruhi sifat hidrofilik pada grafit oksida. GO disaring dan dikeringkan di dalam oven untuk mengurangi kadar air yang tersisa serta mendapatkan lembaran GO.

Oksida grafena tereduksi (rGO) diperoleh melalui proses sonikasi. Tujuan sonikasi untuk mendispersikan GO di dalam air agar terkelupas menjadi grafena oksida (Hidayat dkk., 2018). Proses pengelupasan diawali dengan adanya gaya geser yang terdapat pada grafit oksida akibat dengan adanya interaksi dengan gelombang ultrasonik dan proses kavitasi yang diawali oleh medium berupa air (Marcano dkk., 2010),

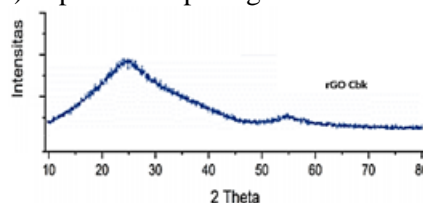
Gelombang ultrasonik kekuatan tinggi mampu merusak permukaan padatan. Pada reaktor, gelombang ultrasonik digunakan untuk memunculkan efek kavitasi akustik, yaitu pembentukan, pertumbuhan, dan pecahnya gelembung dalam medium cairan. Ketika gelembung kavitasi pecah pada permukaan padatan maka permukaan padat akan memberikan resistensi terhadap aliran cairan. Proses kavitasi bisa terjadi karena adanya perbedaan tekanan sehingga menyebabkan inisiasi proses pengelupasan grafit menjadi Grafena oksida.

GO direduksi menggunakan reduktor serbuk Zn yang bertujuan untuk mengurangi gugus-gugus oksigen yang terdapat pada GO (Chan dkk., 2021). Reaksi yang terbentuk setelah proses reduksi dituliskan pada persamaan (i-iii)



3.1 Karakterisasi XRD

Difraktogram rGO cangkang biji karet (CBK) dapat dilihat pada gambar 2 berikut.

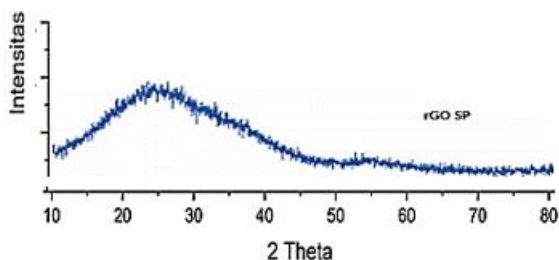


Gambar 2. Difraktogram rGO CBK

Difraktogram rGO Cangkang Biji Karet menunjukkan nilai $2\theta=23,5^\circ$ dengan derajat kristalinitas sebesar 17%, sedangkan difraktogram rGO sekam padi (SP) memiliki $2\theta=21,2^\circ$ dengan kristalinitas sebesar 13%.

(Gambar 2). Kristalinitas yang rendah menunjukkan rGO telah terbentuk.

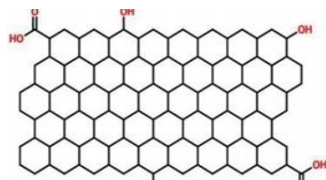
Difraktogram rGO sekam padi (SP) dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Difraktogram rGO SP

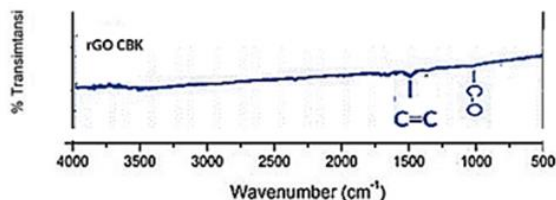
3.2 Karakterisasi FTIR

Tujuan dari analisis FTIR adalah untuk menyelidiki keberadaan gugus fungsi dari spektrum vibrasi (Hidayah dkk., 2017). Struktur kimia Grafena oksida tereduksi (rGO) ditunjukkan Gambar 4.



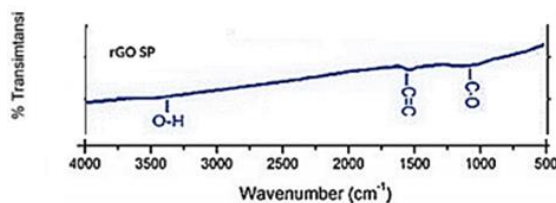
Gambar 4. Struktur kimia rGO

Pada sampel rGO cangkang biji karet (CBK) (Gambar 5) terdapat puncak pada bilangan gelombang 1520 cm^{-1} yang menunjukkan adanya puncak C=C, serta puncak lainnya pada 1115 cm^{-1} yang merupakan ikatan C-O.



Gambar 5. Spektrum FTIR rGO CBK

Spektrum rGO sekam padi (SP) (Gambar 6) menunjukkan gelombang vibrasi yang terbentuk pada gelombang 1134 cm^{-1} , dan 1533 cm^{-1} yang menunjukkan adanya puncak serapan gugus C-O dan C=C.



Gambar 6. Spektrum FTIR rGO SP

3.3 Analisa Warna (Adsorpsi Minyak)

Dari hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh bahwa dalam proses pemucatan, terjadi penurunan warna. Warna awal CPO adalah sebesar 20R. Dari hasil analisis diperoleh warna minyak pada dosis *bleaching earth* rGO CBK 1% sebesar 2,8 Red dan *bleaching earth* rGO SP 1% sebesar 5,1 Red. Sehingga Adsorpsi untuk menjernihkan minyak menunjukkan persen penurunan sebesar 86% untuk RGO CBK dan 74% untuk rGO SP.

4. KESIMPULAN

Grafena oksida tereduksi (rGO) dapat disintesis menggunakan metode hummer termodifikasi dari limbah biomassa cangkang biji karet dan sekam padi, yang didukung dengan proses reduksi oleh Zn. Karakterisasi rGO berdasarkan instrumen XRD memiliki sifat yang khas yaitu bersifat amorf serta puncak yang muncul pada masing-masing sampel pada sudut 2θ $23,5^\circ$, dan $21,2^\circ$ dengan masing-masing kristalinitas sebesar 17% dan 13%. Selain itu hasil FTIR menunjukkan jumlah gugus fungsi oksigen yang terkandung pada rGO CBK dapat berkurang setelah direduksi. Adapun pada proses adsorpsi untuk menjernihkan minyak menunjukkan persen penurunan sebesar 86% untuk RGO CBK dan 74% untuk rGO SP.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS, (2021), Luas Panen Dan Produksi Padi Di Indonesia 2021 (Hasil Kegiatan Pendataan Statistik Pertanian Tanaman Pangan Terintegrasi dengan Metode Kerangka Sampel Area), Jakarta, Badan Pusat Statistik.
- BPS, (2023), STATISTIK INDONESIA 2023 *Statistical Yearbook of Indonesia*, Jakarta, Badan Pusat Statistik.
- BSN, (2006) SNI 01-2901-2006 mengenai Minyak Kelapa Sawit Mentah (CPO).
- BSN, (2012) SNI 7709:2012 mengenai Minyak Goreng Sawit
- Chan, K. Y., Baktash, A., Demir, B., Mayes, E. L. H., Yang, D., Pham, D. Q., Lin, K. te, Mouritz, A. P., Ang, A. S. M., Fox, B.,

- Zhu, B., Lin, H., Jia, B., & Lau, K. T. (2021). Tailoring mechanical and electrical properties of graphene oxide film for structural dielectric capacitors. *Journal of Power Sources*, 482. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.29020>
- Chasanah, U., (2023), Sintesis Dan Karakterisasi Pd-Ni Terimpregnasi Pada Grafena Oksida Tereduksi Sebagai Katalis Untuk Reaksi Reduksi Oksigen, Disertasi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Chen, X., Qu, Z., Liu, Z., & Ren, G. (2022). Mechanism of Oxidization of Graphite to Graphene Oxide by the Hummers Method. *ACS Omega*, 7(27), 23503–23510. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01963>
- Dwandaru, WSB., Lia, DP., dan Rhyko, IWW., (2019), *Nanomaterial Graphene Oxide Sintesis Dan Karakterisasinya*, Yogyakarta, UNYPress.
- Domínguez-Bajo, A., González-Mayorga, A., Guerrero, C. R., Palomares, F. J., García, R., López-Dolado, E., & Serrano, M. C. (2019). Myelinated axons and functional blood vessels populate mechanically compliant rGO foams in chronic cervical hemisectioned rats. *Biomaterials*, 192, 461–474. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2018.11.024>
- Fatmawati, DA., (2023), Sintesis Dan Karakterisasi Material Paladium-Kobalt Terdeposisi Pada Grafena Oksida Tereduksi Sebagai Katalis Untuk Reaksi Reduksi Oksigen. Disertasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Gobel, AP., dan Arief, A., (2021), Pengaruh Karbonisasi Terhadap Karakteristik Tempurung Kelapa Berdasarkan Uji Proksimat dan Nilai Kalor, *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*. Vol 5, Pp 48-54.
- Habte, A. T., Ayele, D. W., & Hu, M. (2019). Synthesis and Characterization of Reduced Graphene Oxide (rGO) Started from Graphene Oxide (GO) Using the Tour Method with Different Parameters. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5058163>
- Haryono, Atiek, RN., dan Engela EE., (2023), Sintesis, Karakterisasi, dan Uji Adsorpsi Komposit Silika/Karbon dari Limbah Sekam Padi sebagai Adsorben Tembaga (II). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 24, No.1, hal. 058-066.
- Hasballah, T., dan Leonardo, HS., (2020), Analisa Pemakaian Jumlah BE (*Bleaching Earth*) Terhadap Kualitas Warna DBPO (*Degummed Bleached Palm Oil*) Pada Tangki Bleacher (D202) Dengan Kapasitas 2000 Ton/Hari Di Unit Refinery Pt. Smart Tbk Belawan. *Jurnal Teknologi Mesin Uda*. Vol 1, No 1. 9-16.
- Hasyim, UH., Ika, K., Husnul, M., dan Mutiah, H., (2019), Pengaruh Waktu Adsorpsi Asam Lemak Bebas Dalam Minyak Kelapa Sawit Mentah Pada Pembuatan Bioadsorben Limbah Batang Pisang, *Jurnal Konversi*. Vol 8, No.1.
- Hidayah, N. M. S., Liu, W. W., Lai, C. W., Noriman, N. Z., Khe, C. S., Hashim, U., & Lee, H. C. (2017). Comparison on graphite, graphene oxide and reduced graphene oxide: Synthesis and characterization. *AIP Conference Proceedings*, 1892. <https://doi.org/10.1063/1.5005764>
- Hidayat A, Setiadi S, Hardisantoso EP. (2018). Sintesis Grafena Tereduksi (rGO) dari Arang Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*). *Al-kimiya*. Vol 5. Pp 68-73.
- Jabarprov, (2021), Produksi Tanaman Karet Berdasarkan Kabupaten/Kota di Jawa Barat (jabarprov.go.id).
- Jaya, JD., Dwi, S., dan Agusten, S., (2019), Pembuatan Asap Cair Dari Cangkang Biji Karet Dan Aplikasinya Sebagai Koagulan Lateks, *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, Vol. 6, No. 2.
- Lee, X. J., Hiew, B. Y. Z., Lai, K. C., Lee, L. Y., Gan, S., Thangalazhy-Gopakumar, S., & Rigby, S. (2019). Review on graphene and its derivatives: Synthesis methods and potential industrial implementation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 98, 163–180. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2018.10.028>
- Marcano, D. C., Kosynkin, D. v., Berlin, J. M., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Alemany, L. B., Lu, W., & Tour, J. M. (2010). Improved synthesis of graphene oxide. *ACS Nano*, 4(8), 4806–4814. <https://doi.org/10.1021/nn1006368>

- Nurandini, D., Lestari, R. A., Prayitno, M. Z., & Syauqiah, I. (2022). CHARACTERISTICS ANALYSIS OF ADSORBENT FROM RUBBER TREE TRUNK AND RUBBER SEED SHELLS. *Konversi*, 11(2). <https://doi.org/10.20527/k.v11i2.14600>
- Pratama, A., Destiarti, L., & Adhitiyawarman, A. (2021). Sintesis Titanium Oksida/Reduced Graphene Oxide (TiO₂/rGO) untuk Fotokatalisis Bahan Pewarna Metilen Biru. *POSITRON*, 11(1), 31. <https://doi.org/10.26418/positron.v11i1.45355>
- Songsaeng, S., Patchanita, T., and Sirilux, P., (2019), Natural rubber/reduced-graphene oxide composite materials: Morphological and oil adsorption properties for treatment of oil spills, *Journal of Advanced Research*, 20 79–89.
- Supriyanto, G., Rukman, N. K., Khoiron Nisa, A., Jannatin, M., Piere, B., Zakki Fahmi, M., & Septya Kusuma, H. (2018). Biomass graphene oxide. In *BioResources* (Vol. 13, Issue 3).