



Sintesis grafena dari tandan kosong kelapa sawit untuk modifikasi screen printed-carbon electrode glucose-biosensor

NIDA AN KHOFTIYYA, NIDZOMAH AL KHOIRIAH*, DAN UMI NADIFAH

Madrasah Aliyah Insan Cendekia Ogan Komering Ilir, Jln. Lintas Timur Desa Seriguna, Kec. Teluk Gelam, Kab. Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan 30673

Kata kunci: biosensor, glukosa, sintesis grafena, tandan kosong kelapa sawit	ABSTRAK: Glukosa merupakan monosakarida yang menjadi sumber energi sekaligus pengontrol aktivitas vital dalam tubuh. Pemantauan berkala terhadap kadar glukosa diperlukan untuk mengetahui representasi kondisi tubuh. Salah satu metode yang lumayan umum digunakan untuk pemantauan glukosa adalah biosensor SPCE karena praktis dan ekonomis. Efektivitas kinerja biosensor SPCE ditentukan oleh bahan penyusun, apalagi elektrodanya, maka dilakukanlah penelitian untuk mengetahui proses serta pengaplikasian modifikasi potensi sintesis grafena dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai biosensor glukosa. Grafena dipilih berdasarkan keunggulan karakteristiknya, sementara TKKS dijadikan bahan baku karena kandungan serta ketersediaannya yang melimpah. Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif-eksperimental dengan objek penelitian yaitu TKKS. Sintesis grafena dilakukan dengan metode <i>Liquid Phase Exfoliation</i> (LPE) sedangkan untuk pencetakan elektroda biosensor digunakan metode <i>drop-casting</i> . Hasil karakterisasi sintesis grafena dengan SEM-EDS menunjukkan adanya selapis lembaran grafena dengan struktural heksagonal planar <i>single layer</i> dengan ukuran distribusi rata-rata partikel kecil yaitu $0,023 \pm 0,019 \mu\text{m}$. Sebaran unsur dalam sintesis grafena didominasi oleh karbon yaitu sebanyak 52,1%, mengindikasikan adanya alotrop karbon yaitu grafena. Kinerja biosensor SPCE diuji menggunakan teknik amperometri dengan tiga variasi konsentrasi grafena (P1, P2, dan P3) serta dua variasi konsentrasi larutan glukosa (L1 dan L2). Hasil uji menunjukkan hubungan positif antara peningkatan konsentrasi grafena serta larutan glukosa dengan kuat arus listrik yang dihasilkan, mengindikasikan SPCE biosensor stabil dan baik dalam pembacaan arus listrik.
Keywords: biosensor, empty palm oil bunch, glucose, graphene syn- thesis	ABSTRACT: Glucose is a monosaccharide that serves as a primary energy source and regulates vital bodily functions. Periodic monitoring of glucose levels is essential to reflect the body's condition accurately. One widely used method for glucose monitoring is the Screen-Printed Carbon Electrode (SPCE) biosensor due to its practicality and cost-effectiveness. The performance of the SPCE biosensor is heavily influenced by its constituent materials, particularly the electrodes. This study focuses on the process and application of modifying graphene synthesized from empty palm bunches (TKKS) for use as a glucose biosensor. Graphene was selected for its superior electrical and mechanical properties, while TKKS was chosen as the raw material due to its abundance and availability. This research is quantitative-experimental, using TKKS as the primary material. Graphene synthesis was conducted using the <i>Liquid Phase Exfoliation</i> (LPE) method, while the <i>drop-casting</i> technique was employed to fabricate the biosensor electrodes. Characterization of the synthesized graphene using Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS) revealed graphene sheet layers with a single-layer hexagonal planar structure. The average particle size distribution was $0.023 \pm 0.019 \mu\text{m}$. The elemental composition analysis showed that carbon dominated at 52.1%, confirming the presence of graphene as a carbon allotrope. The SPCE biosensor's performance was evaluated using amperometry with three variations of graphene concentration (P1, P2, P3) and two concentrations of glucose solution (L1, L2). The results demonstrated a positive correlation between increased graphene and glucose concentrations with the electric current output, indicating that the SPCE biosensor is stable and efficient in detecting glucose levels.

1 PENDAHULUAN

Glukosa merupakan karbohidrat gula monosakarida yang menjadi sumber energi sekaligus pengontrol aktivitas vital seperti metabolisme tubuh.

Pemantauan terhadap kadar glukosa di dalam tubuh dapat memberikan gambaran kondisi tubuh. Jika kadar glukosa pada tubuh terindikasi tinggi dalam waktu panjang, maka tubuh memiliki resiko terjangkit bermacam penyakit seperti diabetes dan

* Corresponding Author: dinalkhoiriah@gmail.com

gangguan ginjal [1]. Pada tahun 2021, ditilik dari perhitungan *International Diabetes Federation* sebanyak 19.465,1 juta penduduk Indonesia mengidap penyakit diabetes, di mana diperkirakan pada tahun 2045 pengidap diabetes di Indonesia dapat menyentuh angka 28.569,9 juta jiwa [2].

Pemantauan kadar glukosa penting untuk dilakukan secara berkala. Pengukuran kadar glukosa pada tubuh sejauh ini dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa teknik dan alat, salah satunya yaitu biosensor. Biosensor dalam dunia medis telah dijadikan salah satu alternatif pengukuran biomolekul [3]. Biosensor merupakan instrumen pengukur reaksi kimia maupun biologis di mana biosensor akan menghasilkan sinyal yang sesuai dengan konsentrasi analit pada reaksi [4]. Komponen-komponen dalam biosensor sendiri yaitu analit, bioreseptor, transduser, perangkat elektronik, serta layar tampilan.

Penggunaan grafena dalam biosensor sendiri telah dikaji dan lumayan umum dilakukan karena sifat karakteristik material grafena yang sesuai dengan kriteria bahan biosensor itu sendiri, seperti memiliki kekuatan mekanik yang kuat, permukaan yang luas nan tipis, serta konduktivitas listrik yang baik [5]. Grafena menjadi alotrop karbon yang lebih sering dikaji karena kekuatan mekanik tinggi, konduktivitas termal, dan elastisitas yang baik, menghadirkan fasilitas untuk proses transfer elektron secara langsung sehingga meningkatkan kinerjanya sebagai anoda [6]. Banyak dilakukan kajian mengenai sintesis grafena dengan berbagai metode [7] di mana metode sintesis yang kali ini digunakan adalah *Liquid Phase Exfoliation* (LPE). Sintesis grafena dengan metode tersebut (LPE) menghasilkan karakteristik yang mirip sebagaimana grafena sebenarnya [8].

TKKS kemudian dapat dijadikan sebagai basis bahan baku dalam sintesis grafena karena kandungan selulosa, lignin, dan hemiselulosa [9] di mana biomassa ini ditemukan melimpah, khususnya di Sumatera Selatan yang pada tahun 2024 yang menghasilkan 3.361.940,00 ton kelapa sawit [10]. Hasil dari kajian sintesis grafena dipatok agar memiliki katakteristik yang lebih unggul lagi sehingga bisa memenuhi kebutuhan yang ada [11].

Penggunaan *electrode-based* biosensor pada dunia medis tergolong lebih praktis dibandingkan dengan menggunakan metode pemeriksaan yang lain, yang dapat membuat masyarakat umum mampu melakukan *check-up* mandiri [12]. SPCE merupakan salah satu jenis basis biosensor praktis yang berfungsi untuk mendeteksi biomolekul tertentu. Prinsip kerja SPCE menggunakan konfigurasi tiga elektroda,

yaitu elektroda kerja, elektroda referensi, dan elektroda pembanding [13].

Dalam biosensor glukosa, pengukuran kadar glukosa dilakukan dengan mengamati hasil interaksi glukosa dengan salah satu dari tiga enzim: heksokinase, glukosa oksidase, atau glukosa-1-dehidrogenase. Pada penelitian kali ini digunakan enzim glukosa oksidase dengan alasan selektivitasnya yang relatif tinggi untuk deteksi glukosa, mudah diperoleh, dan ketahanannya akan suhu ekstrem yang lebih baik daripada enzim lainnya [14].

Dengan mempertimbangkan berbagai aspek yang telah dipaparkan di atas, maka pengembangan biosensor harus terus digencarkan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sintesis grafena dengan metode LPE berbasis TKKS dapat dilakukan, yang kemudian akan dikaji pengaplikasiannya sebagai material yang diimplementasikan dalam SPCE biosensor kadar glukosa.

2 METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif-eksperimental, dengan pendekatan eksperimen laboratorium basah, di mana objek penelitian yaitu tandan kosong kelapa sawit yang didapat dari kebun sawit warga sekitar daerah OKI, Sumatera Selatan. Lama waktu penelitian yaitu dalam rentang waktu 36 hari dari 14 Juli s.d 24 Agustus 2024. Penelitian dilakukan di laboratorium kimia anorganik – kimia FMIPA Universitas Brawijaya, laboratorium sains material - fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, dan laboratorium biologi MAN Insan Cendekia Ogan Komering Ilir.

Bahan dan Alat

Alat yang digunakan yaitu neraca digital, oven laboratorium, saringan 100 mesh, blender, *magnetic stirrer*, sonikator GT R9 UC9L, *hitachi centrifuge* CT6E, *Scanning Electron Microscope* (SEM), pipet tetes, gelas beaker, mortar dan alu, *dry oven* Maskot OV 43, serta *basic meter* 90. Kemudian Bahan-bahannya yaitu isopropanol, dimetil sulfoksida (DMSO), metil eter selulosa, aquadest, serbuk AgCl, NaOH, KCl, asam asetat, enzim glukosa oksidasi, dan glukosa powder. Proses pada penelitian ini meliputi :

Tahapan Penelitian

Preparasi Bahan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Sebanyak 1 kg TKKS didapatkan dari kebun sawit warga sekitar di daerah oki kemudian dipotong-potong menjadi bagian yang lebih kecil lalu dibersihkan, dijemur di bawah sinar matahari sela-

ma 5 jam, dilanjutkan dengan pengeringan kembali menggunakan *dry oven* pada suhu 50°C selama 6 jam untuk mengurangi kadar air sebelum dibakar.



Gambar 1. Proses preparasi TKKS, meliputi: (1-2) Pengumpulan TKKS; (3) Pencucian TKKS; (4) Penjemuran TKKS; (5) Pengukuran massa TKKS; (6) Pengeringan TKKS.

Proses Pembakaran

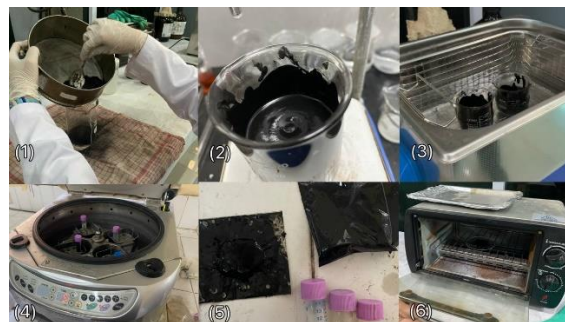
TKKS yang telah kering dibakar menggunakan oven pada suhu pada suhu 270°C selama 90 menit. Arang TKKS yang diperoleh kemudian dihaluskan dengan blender hingga menjadi serbuk karbon.



Gambar 2. Proses pembakaran meliputi: (1) Hasil pembakaran menggunakan oven; (2) Proses penghancuran arang; (3) Serbuk arang TKKS.

Proses Sintesis Grafena

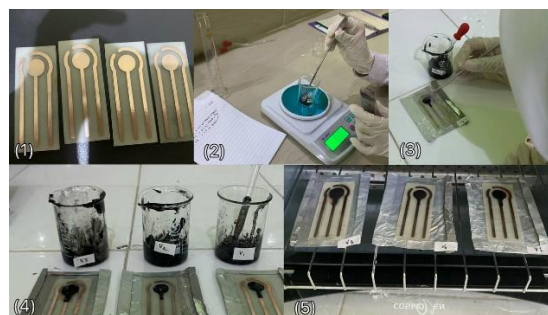
Metode sintesis grafena yang digunakan yaitu LPE (*Liquid Phase Exfoliation*), dengan melarutkan serbuk karbon TKKS ke cairan pelarut (isopropanol dan aquades dalam perbandingan 80:20), diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 5 menit, lalu disonikasi selama 4 jam dengan frekuensi 40kHz, dan didiamkan semalaman. Langkah selanjutnya yaitu pemisahan larutan dari endapan dengan sentrifugasi selama 5 menit untuk pelarut tersebut guna memisahkan grafena dari pelarutnya. Suspensi hasil sentrifugasi dikeringkan menggunakan oven agar didapati grafena dalam bentuk serbuk. Hasil sintesis grafena dikarakterisasi dengan SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) untuk melihat morfologi dan komposisinya.



Gambar 3. Proses sintesis meliputi: (1) Pengayakan; (2) Pelarutan dan pengadukan; (3) Sonikasi; (4) Sentrifugasi; (5) Endapan hasil sentrifugasi; (6) Pengeringan larutan grafena hingga menjadi serbuk.

Penecetakan SPCE

Proses ini dilakukan pada tiga tahapan. Pertama yaitu pencetakan elektroda kerja menggunakan pasta grafena yang divariasikan konsentrasinya dengan rincian 0,25 gr (P1), 0,5 gr (P2), dan 0,15 gr (P3) yang diencerkan dalam 1,2 ml pelarut dimetil sulfoxida (DMSO) ditambah 0,75 ml agen pengental. Pasta grafena kemudian ditetaskan menggunakan pipet atau dengan metode *drop-casting* di atas cetakan PCB mengikuti pola di atasnya, lalu dioven dalam suhu 90°C selama 15 menit untuk mempercepat pengeringan. Tahapan kedua adalah pencetakan elektroda referensi menggunakan pasta AgCl. Dilakukan kembali metode *drop-casting* mengikuti pola untuk elektroda referensi dan dimasukkan ke dalam *dry oven* suhu 40°C selama 30 menit. Terakhir, pelapisan enzim spesifik sebanyak 0,2 gr ke elektroda kerja, dimulai dengan mengencerkan 0,2 gr enzim glukosa oksidasi (GOD) menggunakan 1 ml larutan buffer NaOH dan CH₃COOH dengan pH 5,5 di setiap elektroda kerja SPCE yang dilanjutkan dengan peng-inkubasi-an selama 7 jam di dalam cawan petri pada suhu ruang.



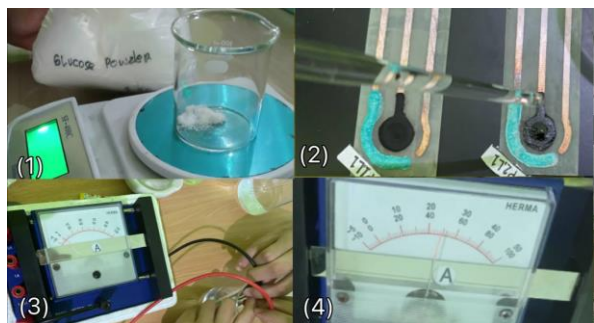
Gambar 4. Pencetakan SPCE: (1) Desain pola PCB; (2) Perhitungan variasi massa grafena; (3) Drop-casting grafena; (4) Variasi konsentrasi grafena; (5) Elektroda kerja SPCE.



Gambar 5. Preparasi enzim: (1) Penghalusan partikel AgCl; (2) Pembuatan pasta AgC; (3) Drop-casting elektroda referensi; (4) Buffer pelarut enzim pH 5,5; (5) enzim glukosa oksidase; (6) Inkubasi enzim.

Preparasi Sampel

Sampel disiapkan untuk proses pengujian sensitivitas grafen sebagai elektroda kerja pada SPCE. Preparasi sampel dilakukan dengan cara mengencerkan glukosa dengan air dalam 2 variasi konsentrasi, yaitu 2000 mg/dL (L1) dan 4000 mg/dL (L2) Kemudian, variasi larutan glukosa ditetaskan sebanyak 0,05ml di atas elektroda kerja yang sebelumnya sudah diberi enzim glukosa oksidase sebagai bioreseptor dalam SPCE.



Gambar 6. Preparasi Sampel: (1) Preparasi larutan glukosa; (2) Pemberian perlakuan; (3) Pengukuran arus; (4) Zoom detail pengukuran arus; (5) Basic meter 90.

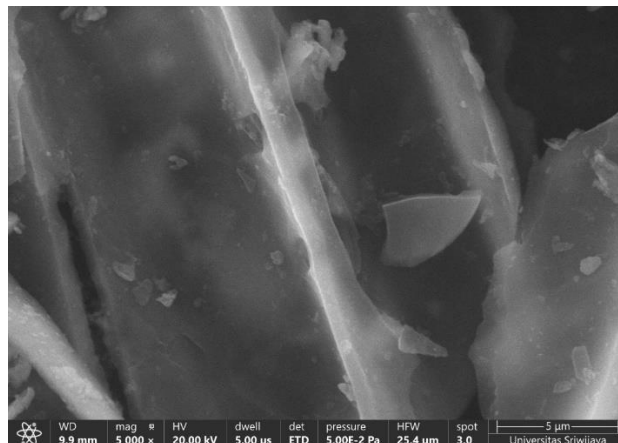
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil Karakterisasi Grafena dengan SEM-EDS

Uji karakterisasi material hasil sintesis grafena dengan metode SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan yang kali ini dihitung dalam skala mikrometer (μA) [15] supaya dapat divalidasi bahwa material tersebut merupakan grafena. Sampel dibuat dalam bentuk serbuk untuk memudahkan proses karakterisasi. Dari

uji yang telah dilakukan, didapatkan data-data sebagai berikut:



Gambar 7. Hasil SEM dengan perbesaran 5000 kali

Tabel 1. Data count map

Element	Wt. %
C	52.1
O	35.0
N	8.3
Ca	1.2
Si	1.1
Mg	0.8
Al	0.6
K	0.4
P	0.3
S	0.2

Hasil Uji Kinerja Biosensor

Pengujian dilakukan dengan teknik analisis amperometri. Biosensor yang telah disiapkan dimasukkan kedalam larutan KCl 2 M 40 ml lalu dihubungkan dengan amperemeter menggunakan kabel penghubung dan pergerakan arus diamati. Setelahnya, dilakukan pengulangan menggunakan tiga SPCE dengan konsentrasi grafena yang berbeda serta dua konsentrasi larutan glukosa yang berbeda pula yaitu 2000 mg/dL (L1) dan 4000 mg/dL (L2) . Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil uji biosensor dengan amperemeter

Perlakuan	Kuat arus listrik (μA)		Selisih L2-L1 (μA)
	L1	L2	
P1	4	38	34
P2	9	42	33
P3	16	49	33

Keterangan:

P1: Perlakuan 1 (konsentrasi grafena 0,25 g dalam 1,3 ml pelarut)

P2: Perlakuan 2 (konsentrasi grafena 0,5 g dalam 1,3 ml pelarut)

P3: Perlakuan 3 (konsentrasi grafena 0,75 g dalam 1,3 ml pelarut)

L1: Larutan 1 (sampel larutan glukosa 2000 mg/dL)

L2: Larutan 2 (sampel larutan glukosa 4000 mg/dL)

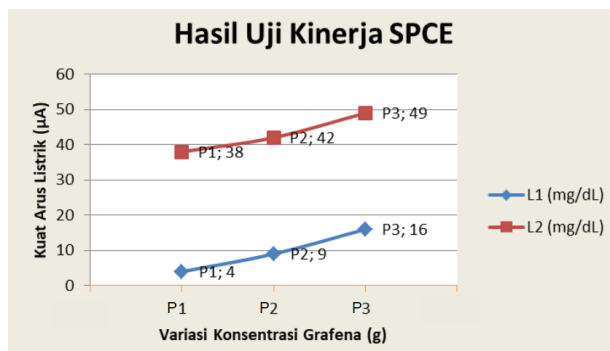
Pembahasan

Hasil SEM-EDS

Analisa dilakukan kepada hasil sampel di Gambar 7. di mana terlihat lembaran-lembaran partikel grafena tersebut terdiri dari satu lapis struktural heksagonal planar yang membuatnya terlihat transparan [16]. Hasil SEM diolah dengan bantuan *software* ImageJ yang menunjukkan standar deviasi sebesar $\pm 0,019$ dengan *mean* 0,023, sehingga ukuran distribusi rata-rata partikel kecil adalah $0,023 \pm 0,019 \mu\text{m}$.

Pada Tabel 1 dari *count map* hasil EDS menunjukkan kadar Wt.% C, O, dan N secara berurutan yaitu 52,1%, 35,0%, 8,3%, serta unsur-unsur lain seperti Al dan Si yang jumlahnya sangat rendah. Terlihat bahwa unsur karbon menduduki peringkat tertinggi, menunjukkan adanya alotrop dari karbon, yaitu grafena. Sementara adanya unsur oksigen (O) akan membuat grafena dapat lebih mudah terdispersi serta unsur nitrogen (N) yang dapat meningkatkan sifat-sifat konduktivitas grafena sebagai elektroda.

Hasil Uji Kinerja SPCE



Grafik 1. Hasil uji kinerja SPCE

Hasil pengujian kinerja SPCE menunjukkan beberapa hal, pertama yaitu pembuktian bahwa konsentrasi grafena dapat mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan oleh SPCE dalam mendeteksi glukosa dalam suatu larutan. Hal ini dapat dilihat dari arus yang dihasilkan pada masing masing perlakuan secara berurutan yaitu P1-L1 (konsentrasi grafena 0,25 g - larutan glukosa 2000 mg/dL) sebesar $4 \mu\text{A}$, P2-L1 (konsentrasi grafena 0,5 g - larutan glukosa 2000 mg/dL) sebesar $9 \mu\text{A}$, dan P3-L1 (konsentrasi grafena 0,75 g - larutan glukosa 2000 mg/dL) yaitu

$16 \mu\text{A}$. Data yang disajikan dalam tabel 2 serta digambarkan dalam grafik 1 tersebut menunjukkan adanya peningkatan arus listrik seiring dengan peningkatan konsentrasi grafena. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa semakin tinggi konsentrasi grafena, maka semakin besar arus listrik yang terbaca. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah permukaan aktif yang terlibat dalam reaksi elektrokimia sehingga ada lebih banyak molekul yang dirubah menjadi elektron selama proses deteksi glukosa berlangsung [17].

Kemudian, peningkatan kuat arus listrik yang signifikan juga terjadi pada variasi konsentrasi larutan glukosa (L1 dan L2). Tren data menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi sampel terlarut dalam air juga meningkatkan arus listrik yang dihasilkan. Pada P1-L1 (konsentrasi grafena 0,25 g-larutan glukosa 2000 mg/dL), dihasilkan arus listrik sebesar $4 \mu\text{A}$, sedangkan P1-L2 (konsentrasi grafena 0,25 g - larutan glukosa 4000 mg/dL) menunjukkan arus sebesar $38 \mu\text{A}$. P2-L1 (konsentrasi grafena 0,5 g - larutan glukosa 2000 mg/dL) menghasilkan arus sebesar $9 \mu\text{A}$ kemudian P2-L2 (konsentrasi grafena 0,5 g - larutan glukosa 4000 mg/dL) sebesar $42 \mu\text{A}$, lalu P3-L1 (konsentrasi grafena 0,75 g - larutan glukosa 2000 mg/dL) $16 \mu\text{A}$ dan P3-L2 (konsentrasi grafena 0,75 g - larutan glukosa 4000 mg/dL) sebesar $49 \mu\text{A}$. Peningkatan arus yang berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi larutan glukosa mengindikasikan bahwa biosensor grafena peka terhadap perubahan konsentrasi glukosa. Hal demikian terjadi karena semakin besar angka glukosa yang terlarut, maka semakin banyak pula molekul yang dapat diidentifikasi dan berikatan dengan enzim glukosa oksidase sebagai agen *biorecognition* atau *bioreceptor* sesuai dengan prinsip kerja biosensor glukosa [14]. Selain itu, pada data tersebut juga ditampilkan selisih kenaikan angka arus dari L1-L2 (larutan glukosa 2000 mg/dL – larutan glukosa 4000 mg/dL) pada setiap variasi konsentrasi grafena dan menunjukkan angka yang hampir seragam yaitu berkisar antara $33-34 \mu\text{A}$. Hal ini mengindikasikan bahwa grafena pada ketiga konsentrasi memiliki kestabilan yang baik dalam pembacaan arus listrik.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian sintesis grafena dari tandan kosong kelapa sawit serta pengujian kinerjanya sebagai biosensor glukosa, maka dapat disimpulkan bahwa sintesis grafena dari tandan kosong kelapa sawit menggunakan metode LPE terbukti menghasilkan lembaran-lembaran grafena yang teridentifikasi oleh SEM. Dengan analisis EDS, unsur-unsur utama yang terdapat dalam grafena

telah teridentifikasi, yaitu karbon sebagai unsur dominan, diikuti oleh oksigen serta nitrogen. Hal ini membuka potensi baru yaitu opsi pemanfaatan limbah biomassa TKKS yang pengolahan lebih lanjutnya masih minim dilakukan sehingga akan sangat berdampak baik bagi lingkungan. Semakin tinggi konsentrasi grafena yang dicetak menjadi elektroda kerja dalam screen printed carbon electrode biosensor glukosa maka semakin tinggi pula nilai kuat arus listrik yang dihasilkan, serta hasil juga menunjukkan bahwa biosensor SPCE peka terhadap kenaikan konsentrasi glukosa terlarut dan stabil dalam pembacaan arus listrik. Hal-hal tersebut menunjukkan bahwa aplikasi material sintesis grafena dari TKKS telah optimal pada saat diimplementasikan menjadi elektroda kerja biosensor glukosa. Penelitian ini menunjukkan peluang sintesis grafena dari TKKS diimplementasikan dalam bidang lain seperti pada material perangkat elektronik atau sensor kimia.

REFERENSI

- [1] Umar, U., Syahrir, & Alyah, R., "Pendekatan Non-invasif Untuk Memantau Kadar Glukosa Darah Dengan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) menggunakan Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) Pada Citra Digital," *Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, 8(1), 61–67, 2022.
- [2] IDF, International Diabetes Federation. "Indonesia diabetes report 2000 – 2024", 2021. <https://diabetesatlas.org/data/en/country/94/id.html>
- [3] Azis, T., "Analisis Residu Pestisida Diazinon Dalam Tanaman Kubis (Brassica Olarecea) Menggunakan Biosensor Elektrokimia Secara Voltametri Siklik," *Jurnal Progres Kimia Sains*, 1(1), 32–40, 2011.
- [4] Bhalla, N., Jolly, P., Formisano, N., & Estrela, P., "Introduction to biosensors," *Essays in Biochemistry*, 60(1), 1–8, 2016; <https://doi.org/10.1042/EBC20150001>
- [5] Najati, B., "Characteristics of Graphene Like Material Synthesized from Coconut Shell Charcoal Powder using Solid State Method". *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 7(1), 30–40, 2023.
- [6] Pareek, A., Shanthi Sravan, J., & Venkata Mohan, S., "Exploring chemically reduced graphene oxide electrode for power generation in microbial fuel cell," *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 600–606, 2019; <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.06.006>
- [7] Mbayachi, V. B., Ndayiragije, E., Sammani, T., Taj, S., Mbuta, E. R., & Khan, A. ullah., "Graphene synthesis, characterization and its applications: A review," *Results in Chemistry*, 3, 100163, 2021; <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2021.100163>
- [8] Aziz, Z. I., & Tjahjono, "Sintesis Graphene Oxide (GO) berbasis arang dengan metode liquid phase exfoliation (LPE)," *Jurnal Teras Fisika*, 5(2), 1. 2022; <https://doi.org/10.20884/1.jtf.2022.5.2.5488>
- [9] Hardi, A. D., Joni, R., Syukri, S., & Aziz, H., "Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Elektroda Superkapasitor," *Jurnal Fisika Unand*, 9(4), 479–486, 2021.
- [10] BPS, "Produksi Tanaman Perkebunan (Ton), 2021–2023," Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Selatan, 2024; <https://sumsel.bps.go.id/indicator/54/416/1/produksi-tanaman-perkebunan.html>
- [11] Gadipelli, S., & Guo, Z. X., "Graphene-based materials: Synthesis and gas sorption, storage and separation," *Progress in Materials Science*, 69, 1–60, 2015, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2014.10.004>
- [12] Suwandi, D., Sugiarto, C., Prof, J., Suria, D., No, S., Suwandi, D., & Sugiarto, C., "Perbandingan Hasil Pemeriksaan Kadar Kolesterol Total Metode Electrode-Based Biosensor Dengan Metode Spektrofotometri," *Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Maranatha The Comparison of Total Cholesterol Level Between Electrode- Based Biosensor Method and. Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Maranatha, Bandung*, 3–9, 2013.
- [13] Deviyana, T., Abrar, & Suhendi, A., "Prototipe Screen-Printed Carbon Electrode Dengan Modifikasi Material Nanokomposit ZnO/PVA untuk Mendeteksi Cadmium Pada Sampel Cairan - WRAP Entrepreneurship (Capstone)," 11(2), 1507–1512, 2023; <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/home/catalog/id/202029/slug/prototipe-screen-printed-carbon-electrode-dengan-modifikasi-material-nanokomposit-zno-pva-untuk-mendeteksi-cadmium-pada-sampel-cairan-wrap-entrepreneurship-capstone-.html%0A/home/catal>
- [14] Yoo, E. H., & Lee, S. Y., "Glucose biosensors: An overview of use in clinical practice," *Sensors*, 10(5), 4558–4576, 2010, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s100504558>
- [15] Falcone, F., Cinosi, A., Siviero, G., & Rosatelli, G., "Innovative methodological approach integrating SEM-EDS and TXRF microanalysis for characterization in materials science: A perspective from cultural heritage studies," *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, 218(June), 106980, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.sab.2024.106980>
- [16] Sari, R., Dina Mastura, C., Rihayat, T., Dewi, R., Hakim, L., Teknik Kimia, J., & Negeri Lhokseumawe, P., "Pembuatan Grafena dengan Metode Reduksi Graphene Oxide Menggunakan Bahan Baku Grafit dan Reduktor Natrium Hipopospit," *Serambi Engineering*, VII(2), 3213–3220, 2022
- [17] Insani, K. V., & Herdyastuti, N., "Pengaruh Konsentrasi Enzim Optimum Pada Pembentukan N-Asetilglukosamin Effect of Optimum Enzyme Concentration in the Establishment of N-Acetylglucosamine", *UNESA Journal of Chemistry*, 60–63, 2013.