Hadron Jurnal Fisika dan Terapan
Vol 8 No 2 Tahun 2026 E-ISSN: 2715-9469

ANALISIS SIFAT LISTRIK KOMPOSIT TiO_2/KARBON AKTIF TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

Dani Sutiawan[1], T. Andi Fadlly [2], Rahmawati[3], Nirmala Sari[4], Ayu Syahputri[5], Afrahun Naziah[6]
Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra
(Received: Oktober 2026 / Revised: Oktober 2026 / Accepted: Oktober 2026)
Email : andifadly@unsam.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis sifat-sifat listrik komposit TiO_2/karbon aktif yang berbahan dasar tandan buah kelapa sawit kosong (TKKS) sebagai bahan fungsional yang berkelanjutan. Proses pembuatan karbon aktif dilakukan dengan metode karbonisasi yang berlangsung selama 1 jam pada suhu mencapai 600 °C dan aktivasi kimia menggunakan $CuCl_2$ 1%. Komposit tersebut disiapkan menggunakan metode *solid-state* dengan kandungan karbon aktif sebesar 10%, 20%, dan 30% berat. Karakterisasi FTIR mengidentifikasi gugus fungsi O-H, C=C, C-O, dan Ti-O, yang menegaskan keberhasilan sintesis komposit tersebut. Pengukuran sifat listrik dilakukan menggunakan metode probe empat titik dan metode dua pelat paralel. Pada komposisi 20% berat , resistivitas menurun dari $6{,}1 \times 10^4$ Ω·m menjadi $5{,}7 \times 10^4$ Ω·m, dan konduktivitas meningkat dari $1{,}64 \times 10^{-5}$ S/m menjadi $1{,}75 \times 10^{-6}$ S/m. Pada komposisi 30% berat, resistivitas kembali meningkat menjadi $5{,}9 \times 10^4$ Ω·m, kemungkinan disebabkan oleh aglomerasi partikel. Nilai konstanta dielektrik untuk semua variasi berada pada kisaran 10^5, yang menunjukkan kemampuan polarisasi dan penyimpanan muatan yang baik. Komposisi optimal tercapai pada 20% berat karbon aktif. Hasil ini menunjukkan potensi komposit TiO_2/karbon aktif berbasis TKKS sebagai bahan semikonduktor untuk aplikasi elektronik dan penyimpanan energi.
Kata Kunci: *TiO_2, karbon aktif, tandan kosong kelapa sawit, sifat listrik.*

1. PENDAHULUAN

Produksi kelapa sawit nasional yang terus meningkat menyebabkan jumlah limbah padat, khususnya tandan kosong kelapa sawit (TKKS), ikut bertambah setiap tahun. Apabila tidak dimanfaatkan secara optimal, limbah tersebut berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan sehingga diperlukan upaya pengolahan menjadi material yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi [1]. Salah satu metode yang memiliki prospek pengembangan adalah transformasi TKKS menjadi karbon aktif melalui proses karbonisasi dan aktivasi terkontrol. Kandungan lignoselulosa tinggi TKKS, termasuk selulosa (41,3%), hemiselulosa (25,3-33,8%), dan lignin (27,6-32,5%), menjadikannya bahan baku yang ideal untuk produksi karbon aktif. Menggunakan proses karbonisasi dan aktivasi yang terkontrol, TKKS dapat menghasilkan karbon aktif dengan rendemen antara 20-40 %, bergantung pada suhu dan metode aktivasi yang digunakan [2]. Karbon aktif berbasis biomassa ini dikenal memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi dan struktur pori yang berkembang. Karakteristik-karakteristik ini mendukung berbagai aplikasi di bidang lingkungan dan energi. Pada karbonisasi pada suhu 500 °C, karbon aktif berbasis TKKS dinyatakan memiliki konduktivitas $1{,}02 \times 10^{-6}$ S/m sampai $3{,}90 \times 10^{-5}$ S/m. Karakteristik konduktivitas ini dipengaruhi oleh kondisi dan hasil proses sintesis yang dijalani material tersebut .

Dalam perkembangan ilmu material, rekayasa komposit menjadi salah satu strategi untuk meningkatkan performa sifat fungsional suatu material. Sistem komposit yang menggabungkan titanium dioksida (TiO_2) dan karbon aktif banyak dikembangkan karena berpotensi menghasilkan peningkatan kinerja dibandingkan material tunggalnya [2]. Integrasi kedua material tersebut memungkinkan terjadinya interaksi struktural dan elektronik yang dapat memodifikasi sifat intrinsik masing-masing komponen. TiO_2 merupakan material semikonduktor *tipe-n* yang memiliki stabilitas kimia tinggi dan celah pita (*band gap*) sekitar 3,0–3,2 eV. Meskipun demikian, secara intrinsik TiO_2 menunjukkan konduktivitas listrik yang relatif rendah. Nilai konduktivitas listrik TiO_2 dilaporkan berada pada orde 10^{-7} hingga 10^{-12} S/m pada suhu ruang, yang bergantung pada fase kristal dan komposisi materialnya [3]. Rendahnya nilai konduktivitas tersebut menunjukkan keterbatasan TiO_2 murni dalam mekanisme transport pembawa muatan, sehingga diperlukan modifikasi struktural atau penggabungan dengan material lain untuk meningkatkan performa kelistrikannya.

Sifat listrik material komposit sangat dipengaruhi oleh mekanisme interaksi antarfase penyusunnya. Pada sistem komposit TiO_2 karbon aktif, interaksi antara fase semikonduktor dan matriks karbon dapat memicu perubahan struktur elektronik yang berdampak pada peningkatan atau modifikasi nilai konduktivitas listrik material [4]. Selain itu, kompleksitas morfologi pori karbon aktif berbasis biomassa menuntut pengaturan rasio komposisi yang tepat guna memperoleh jalur konduksi yang efektif [5]. Teknik sintesis yang digunakan dalam pembentukan komposit turut menentukan distribusi fase TiO_2, ukuran partikel, serta tingkat kristalinitas yang terbentuk dalam matriks karbon. Metode seperti *sol-gel*, hidrotermal, dan impregnasi dapat menghasilkan karakteristik mikrostruktur yang berbeda, sehingga berpengaruh langsung terhadap mekanisme transport muatan dan nilai konduktivitas akhir material [6]. Oleh karena itu, parameter sintesis dan perlakuan termal menjadi aspek krusial dalam optimasi sifat listrik komposit.

Perbedaan orde konduktivitas antara karbon aktif TKKS yang berada pada kisaran 10^{-5} S/m dan TiO_2 yang berada pada kisaran 10^{-7} hingga 10^{-12} S/m menunjukkan adanya peluang terbentuknya mekanisme perkolasi muatan ketika kedua material dikombinasikan. Matriks karbon aktif berpotensi menyediakan jalur konduktif yang lebih kontinu, sehingga

dapat meningkatkan mobilitas pembawa muatan dalam sistem komposit. Meskipun komposit TiO_2/karbon aktif telah banyak diteliti untuk aplikasi fotokatalisis dan adsorpsi, kajian mengenai pengaruh karbon aktif berbasis tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap sifat listrik komposit masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada sintesis komposit TiO_2/karbon aktif berbasis TKKS menggunakan metode *solid-state* dengan variasi komposisi untuk menganalisis pengaruhnya terhadap konduktivitas listrik material. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan material fungsional sekaligus meningkatkan nilai tambah limbah TKKS.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pembuatan Karbon Aktif dari TKKS

Proses pembuatan karbon aktif dari TKKS dimulai dengan pencucian sempel menggunakan air mengalir dan dijemur di bawah sinar matahari langsung, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 150 °C selama 1 jam. Setelah itu, bahan di *furnace* kembali pada suhu yang lebih tinggi yaitu 600 °C selama 1 jam untuk menggubah karbon [7]. Selanjutnya, karbon yang sudah terbentuk akan diaktivasi kimia. Aktivasi kima tersebut dilakukan dengan perendaman karbon menggunakan $CuCl_2$ 1% selama 24 jam dan ditambahkan air sebanyak 30 ml [8]. Setelah proses perendaman selesai, bahan disaring dan dicuci menggunakan aquades hingga mencapai pH 7 (netral). Karbon yang sudah bersih kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan diayak menggunakan saringan berukuran 100 *mesh* untuk mendapatkan ukuran yang seragam.

2.2 Pembuatan Komposit TiO_2/Karbon Aktif

Komposit TiO_2/Karbon aktif dibuat menggunakan metode *Solid State* [9]. Variasi komposit karbon aktif yang digunakan adalah 10%, 20%, dan 30%, seperti pada tabel 3.2. Metode tersebut dilakukan dengan mengaduk TiO_2 dan karbon aktif hingga merata selama 30 menit, selanjutnya digerus. Setelah terbentuknya komposit TiO_2/Karbon aktif kemudian dilakukan pengujian FTIR.

Tabel 1. Variasi Komposit TiO_2/Karbon Aktif dari TKKS.

No	Sampel	TiO_2	Karbon Aktif
1.	TiO_2/ C-10% wt	1,8 gr	0.2 gr
2.	TiO_2/ C-20% wt	1,6 gr	0,4 gr
3.	TiO_2/ C-30% wt	1,4 gr	0,6 gr

2.3 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia dan Lingkungan Universitas Syiah Kuala untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada material komposit TiO_2 karbon aktif, sehingga dapat memberikan informasi mengenai ikatan kimia serta interaksi antar komponen penyusun material.

2.4 Analisis Sifat Listrik Karbon Aktif

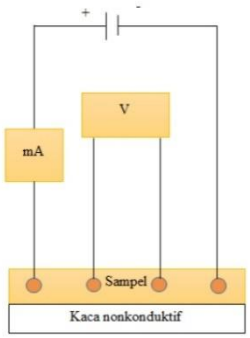
2.4.1 Resistivitas dan Konduktivitas Karbon Aktif

a. Pembuatan Sampel Pengukuran

Pembuatan sampel diawali dengan menyiapkan suspensi polivinil alkohol (PVA) sebagai matriks pengikat. Sebanyak 15 mL air dicampurkan dengan 1 g PVA, kemudian dipanaskan sambil diaduk hingga PVA terlarut sempurna dan membentuk suspensi homogen. Suspensi PVA selanjutnya dicampurkan dengan komposit TiO_2/Karbon aktif diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 40 °C hingga terbentuk pasta yang homogen. Pasta yang dihasilkan kemudian dilapiskan pada substrat kaca komersial berukuran 1 × 1 cm dengan ketebalan lapisan sekitar 1 mm dan dibiarkan mengering untuk digunakan sebagai sampel uji sifat listrik [10].

b. Pengukuran Resistivitas dan Konduktivitas

Pengujian sifat listrik sampel dilakukan dengan mengukur nilai resistivitas dan konduktivitas menggunakan metode *four point probe*. Sampel yang telah dilapiskan pada substrat kaca ditempatkan pada dudukan alat uji, kemudian empat probe disentuhkan secara sejajar pada permukaan sampel untuk mengalirkan arus dan mengukur beda potensial. Metode *four point probe* digunakan karena mampu meminimalkan pengaruh resistansi kontak antara probe dan permukaan sampel, sehingga nilai resistivitas dan konduktivitas yang diperoleh merepresentasikan sifat intrinsik material [11]. Rancangan pengukuran nilai resistivitas dan konduktivitas ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan Pengukuran *Four Point Probe*.

Resistivitas dan konduktivitas dihitung menggunakan persamaan 1 dan 2 [12]

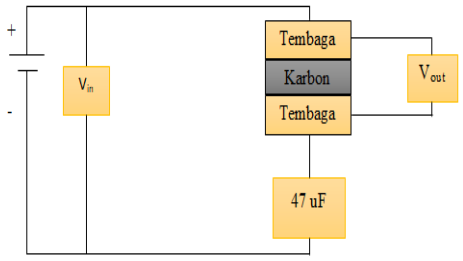
$$\rho = R\frac{A}{l} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Dimana, ρ adalah resistivitas (Ωm), R adalah resistansi (Ω), A adalah luas permukaan (m^2), l adalah jarak antar probe (m), dan σ adalah konduktivitas (S/m).

2.4.2 Konstanta Dielektrik

Pengukuran konstanta dielektrik material dilakukan menggunakan metode dua pelat sejajar yang bekerja berdasarkan prinsip kapasitor pelat sejajar, di mana sampel ditempatkan sebagai medium dielektrik di antara dua elektroda konduktor yang disusun sejajar dan dipisahkan oleh jarak tertentu. Pada tahap persiapan, sistem kapasitor dibuat menggunakan papan sirkuit cetak (PCB) berukuran 2 cm × 2 cm dengan jarak antar pelat sebesar 0,5 cm untuk menjamin keseragaman geometri pengukuran. Ketika tegangan diberikan pada kedua pelat, medan listrik yang terbentuk menyebabkan terjadinya polarisasi muatan di dalam material, sehingga nilai kapasitansi yang terukur bergantung pada luas pelat, jarak pemisah, serta sifat dielektrik material uji. Oleh karena itu, perubahan kapasitansi yang dihasilkan dapat digunakan secara langsung untuk menentukan konstanta dielektrik, karena besaran tersebut mencerminkan kemampuan material dalam menyimpan muatan listrik di bawah pengaruh medan listrik eksternal [10].



Gambar 2. Rangkaian metode 2 plat sejajar

Nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik diperoleh melalui persamaan 3 dan 4 [13]

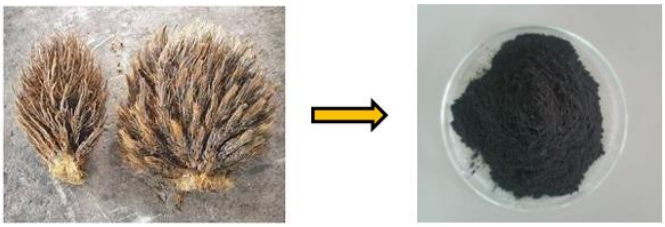
$$C_1 = \frac{C_2}{\frac{V_{in}}{V_{out}} - 1} \quad (3)$$

$$k = \frac{C\,d}{\varepsilon_0\,A} \quad (4)$$

C_1 adalah kapasitansi kapasitor pelat sejajar (F), C_2 adalah kapasitansi kapasitor pembanding (F), d adalah jarak antar pelat kapasitor (m), k adalah konstanta dielektrik, A adalah luas pelat (m^2), Vin adalah tegangan masukan (V), dan Vout adalah tegangan keluaran (V).

3. HASIL dan PEMBAHASAN

3.1 Hasil Sintesis Komposit TiO_2/Karbon Aktif

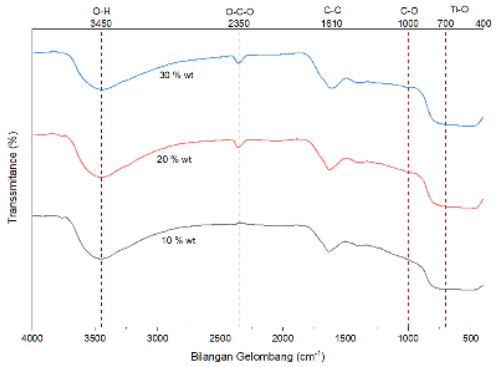


Gambar 3. Sintesis TKKS Menjadi Karbon Aktif.

Karbon aktif berhasil disintesis dari TKKS melalui proses karbonisasi pada suhu 600 °C selama 1 jam dan aktivasi kimia menggunakan larutan $CuCl_2$ 1%. Secara visual, karbon aktif yang dihasilkan berwarna hitam pekat dan memiliki tekstur yang lebih rapuh dibandingkan bahan awal. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa proses karbonisasi telah berlangsung dengan baik sehingga sebagian besar komponen organik telah terdekomposisi dan membentuk struktur karbon yang lebih stabil [14]

Komposit TiO_2/karbon aktif kemudian berhasil disintesis menggunakan metode *solid state* dengan variasi karbon aktif sebesar 10%, 20%, dan 30% wt. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin tinggi komposisi karbon aktif yang digunakan, warna komposit menjadi semakin gelap. Hal ini mengindikasikan peningkatan fraksi karbon dalam material komposi [15]. Selain itu, tidak terlihat adanya pemisahan fase secara visual yang menunjukkan bahwa proses pencampuran menghasilkan distribusi partikel yang cukup homogen [16].

3.2 Karakterisasi FTIR



Gambar 4. Spektrum FTIR Karbon Aktif Dengan Variasi Bahan Aktivasi Kimia.

Hasil karakterisasi FTIR pada Gambar 4 menunjukkan pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 3450, 2350, 1610, Uji Fourier Transform Infrared (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada komposit TiO_2/karbon aktif berdasarkan karakteristik pita serapan pada bilangan gelombang tertentu. Berdasarkan Gambar 4, pita serapan sekitar 3450 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur gugus hidroksil (O–H), yang dapat berasal dari gugus hidroksil pada permukaan material atau molekul air yang teradsorpsi [17]. Pita serapan pada 1617 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan vibrasi C=C pada struktur karbon aromatik, meskipun pada material berbasis TiO_2 pita di sekitar bilangan gelombang tersebut juga dapat berkaitan dengan vibrasi tekukan molekul air atau gugus Ti–OH. Selanjutnya, pita pada rentang 1000–1100 cm^{-1} mengindikasikan kemungkinan adanya vibrasi C–O dari gugus beroksigen pada permukaan karbon aktif [18]. Sementara itu, pita serapan pada rentang 400–700 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi ikatan Ti–O yang merupakan karakteristik TiO_2 [19]. Keberadaan pita-pita tersebut mengindikasikan kontribusi gugus fungsi dari komponen karbon aktif dan TiO_2 dalam

spektrum komposit. Namun, untuk memastikan keberhasilan pembentukan komposit dan kemungkinan interaksi antarmuka antara kedua material, diperlukan perbandingan spektrum bahan awal dengan spektrum komposit, terutama berdasarkan perubahan posisi dan intensitas pita serapan. Dengan demikian, hasil FTIR memberikan indikasi awal keberadaan kedua komponen, tetapi belum cukup untuk membuktikan terbentuknya ikatan kimia baru.

3.2 Analisis Sifat Listrik

Tabel 2. Nilai Rata-Rata Pengukuran Resistivitas dan Konduktivitas.

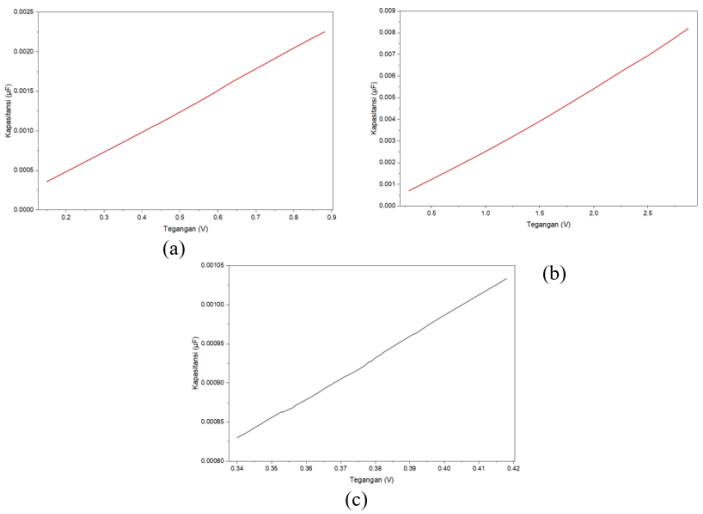
Sampel	Arus (A)	Tegangan (V)	Resistivitas (Ωm)	Konduktivitas (S/m)
TiO_2/ C-10% wt	3×10^{-6}	0,366	$6{,}1 \times 10^{4}$	$1{,}64 \times 10^{-5}$
TiO_2/ C-20% wt	$3{,}07 \times 10^{-6}$	0,350	$5{,}7 \times 10^{4}$	$1{,}75 \times 10^{-5}$
TiO_2/ C-30% wt	$4{,}6 \times 10^{-6}$	0,366	$5{,}9 \times 10^{4}$	$1{,}7 \times 10^{-5}$

Hasil pengukuran sifat listrik menunjukkan bahwa variasi komposisi karbon aktif memengaruhi nilai resistivitas dan konduktivitas yang dapat dilihat pada tabel 1. Pada komposisi 10% wt diperoleh nilai resistivitas sebesar $6{,}1 \times 10^{4}$ Ωm dan konduktivitas sebesar $1{,}64 \times 10^{-5}$ S/m. Ketika komposisi karbon aktif ditingkatkan menjadi 20% wt, resistivitas menurun menjadi $5{,}7 \times 10^{4}$ Ωm dan konduktivitas meningkat menjadi $1{,}75 \times 10^{-5}$ S/m. Peningkatan konduktivitas ini menunjukkan bahwa karbon aktif berperan dalam membentuk jalur konduksi yang lebih efektif sehingga transport muatan menjadi lebih baik [20]. Namun, pada komposisi 30% wt terjadi peningkatan kembali nilai resistivitas menjadi $5{,}9 \times 10^{4}$ Ωm dan penurunan konduktivitas menjadi $1{,}70 \times 10^{-5}$ S/m. Fenomena ini diduga disebabkan oleh terjadinya aglomerasi partikel karbon aktif yang menyebabkan distribusi material menjadi kurang homogen dan menghambat pergerakan pembawa muatan [21]. Berdasarkan hasil tersebut, komposisi 20% wt merupakan komposisi optimum dalam meningkatkan konduktivitas listrik komposit.

Tabel 3. Nilai Rata-Rata Hasil Pengukuran Kapasitansi Dan Konstanta Dielektrik.

Sampel	Vin (V)	Vout (V)	Kapasitansi (F/g)	Konstanta Dielektrik
TiO_2/ C-10% wt	19,47	0,45	$1{,}1 \times 10^{-6}$	$1{,}5 \times 10^{5}$
TiO_2/ C-20% wt	19,57	1,13	$1{,}02 \times 10^{-6}$	$1{,}44 \times 10^{5}$
TiO_2/ C-30% wt	19,56	0,37	$9{,}09 \times 10^{-7}$	$1{,}3 \times 10^{5}$

Pada tabel 2 menujukan nilai pengukuran kapasitansi dan konstanta dielektrik yang menyatakan bahwa seluruh sampel memiliki nilai pada orde 10^5. Sampel dengan komposisi 10% wt memiliki konstanta dielektrik sebesar $1{,}5 \times 10^{5}$, sedangkan pada komposisi 20% wt dan 30% wt masing-masing sebesar $1{,}44 \times 10^{5}$ dan $1{,}3 \times 10^{5}$. Nilai konstanta dielektrik yang tinggi menunjukkan bahwa komposit memiliki kemampuan polarisasi dan penyimpanan muatan listrik yang baik [13]. Penurunan nilai konstanta dielektrik seiring bertambahnya karbon aktif mengindikasikan berkurangnya efektivitas polarisasi akibat meningkatnya dominasi fase konduktif dalam material [22]. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit TiO_2/karbon aktif berbasis TKKS berhasil disintesis dan memiliki sifat listrik yang dipengaruhi oleh komposisi karbon aktif. Komposisi optimum diperoleh pada variasi 20% wt yang menghasilkan nilai konduktivitas tertinggi dan resistivitas terendah. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit TiO_2/karbon aktif berbasis TKKS berpotensi dikembangkan sebagai material semikonduktor untuk aplikasi elektronika dan penyimpanan energi [10].



Gambar 5. Grafik Kapasitansi Terhadap Tegangan Listrik, Variasi (a) 10 %, (b) 20 %, dan (c) 30 % wt.

Gambar 5. menunjukkan hubungan antara kapasitansi dan tegangan pada variasi komposisi karbon aktif 10%, 20%, dan 30% wt. Ketiga grafik memperlihatkan pola yang serupa, di mana nilai kapasitansi cenderung meningkat seiring bertambahnya tegangan, yang sesuai dengan prinsip dasar kapasitor bahwa peningkatan tegangan mendorong akumulasi muatan pada permukaan elektroda sehingga kapasitansi yang terukur ikut meningkat [23]. Pada variasi 10% wt, kapasitansi meningkat dari 3×10^{-10} F/g hingga $2{,}3 \times 10^{-10}$ F/g pada rentang tegangan 0,2-0,9 V. Variasi 20% wt menunjukkan peningkatan lebih signifikan dari 8×10^{-10} F/g hingga 8×10^{-10} F/g pada rentang 0,4-2,8 V, sedangkan variasi 30% wt memperlihatkan peningkatan pada rentang tegangan yang lebih sempit, yaitu 0,34-0,42 V, namun tetap konsisten [24]. Perbedaan respons pada masing-masing variasi menunjukkan bahwa komposisi karbon aktif turut memengaruhi karakteristik kapasitansi material [25].

4. KESIMPULAN

Melalui metode solid state, komposit TiO2/karbon aktif berbasis tandan kosong kelapa sawit (TKKS) telah berhasil dibuat dengan memanfaatkan TiO_2 dan karbon aktif yang diperoleh dari proses karbonisasi dan aktivasi kimia. Hasil karakterisasi FTIR memperlihatkan adanya beberapa pita serapan khas, yaitu pada bilangan gelombang 3450 cm^{-1} yang mengindikasikan gugus O-H, 1617 cm^{-1} untuk ikatan C=C aromatik, 1008 cm^{-1} untuk gugus C-O, serta 438 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan ikatan Ti-O. Kemunculan pita-pita serapan tersebut menjadi bukti kuat bahwa telah terbentuk komposit dua fase antara TiO_2 dan karbon aktif secara nyata. Adapun komposisi terbaik dari komposit ini diperoleh ketika karbon aktif ditambahkan sebanyak 20% wt, di mana pada kondisi tersebut material menunjukkan nilai resistivitas sebesar $5{,}7 \times 10^4$ Ωm, konduktivitas $1{,}75 \times 10^{-5}$ S/m, dan konstanta dielektrik $1{,}44 \times 10^5$. Dengan karakteristik tersebut, komposit ini terbukti memiliki sifat semikonduktor yang cukup baik dan membuka peluang besar untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material fungsional, khususnya dalam bidang elektronik dan teknologi penyimpanan energi

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Bps. (2023). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia* (Bps (Ed.); 2022 Ed.). Badan Pusat Statistik.

[2] Rahmawati, Wahyuningsih, P., & Yulius, N. (2017). Apikasi Fotodegradasi Nanokomposit Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit/Tio2 Terhadap Limbah Cair Kelapa Sawit. *Journal Of Islamic Science And Technology*, *3*(2), 161–172. Www.Jurnal.Ar-Raniry.Com/Index.Php/Elkawnie

[3] Amakoromo, T. E. (2022). Synthesis And Characterization (Electrical And Optical) Of Tio2 Doped With Mno2. *Chemical Science International Journal*, *31*(4), 21–26. Https://Doi.Org/10.9734/Csji/2022/V31i4816

[4] Sheilatina, S., Lubis, S., Fathurrahmi, F., & Oktari, A. (2020). Characterization And Investigation On Photocatalytic Activities Of Tio2/Coconut Shell-Based Activated Carbon. *Indonesian Journal Of Fundamental And Applied Chemistry*, *6*(2), 33–39. Https://Doi.Org/10.24845/Ijfac.V6.I2.33

[5] Wang, W., Zou, W., & Fan, Q. (2022). Study Of The Electrochemical And Electrical Properties Cofe 2 O 4 @ Go / Pedot Magnetic Nanocomposite For Microsupercapacitor Applications. *International Journal Of Electrochemcal Science*, *17*(6), 22062. Https://Doi.Org/10.20964/2022.06.16

[6] Cazier, E. A., Pham, T., Cossus, L., Abla, M., Ilc, T., & Lawrence, P. (2024). Exploring Industrial Lignocellulosic Waste: Sources, Types, And Potential As High-Value Molecules. *Waste Management*, *188*(March), 11–38.

Https://Doi.Org/10.1016/J.Wasman.2024.07.029

[7] I. D. Mumpuni, M. Maslahat, Dan D. Susanty, "Activation Of Oil Palm Empty Bunches With Hydrochloride Acid & Phosphoric Acid And Characterization Based Sni No . 06-3730-1995," *J. Sains Nat.*, Vol. 11, No. 06, Hal. 16–23, 2021.

[8] S. Yao, Z. Li, Z. Liu, X. Geng, L. Dai, Dan Y. Wang, "Cucl 2 -Activated Sustainable Microporous Carbons With Tailorable Multiscale Pores For Effective Co 2 Capture," *Acs Omega*, Vol. 8, No. 44, Hal. 41641–41648, Nov 2023, Doi: 10.1021/Acsomega.3c05842.

[9] T. Susneha, K. S. S. Rao, Dan N. V Prasad, "Magnetic And Electric Properties Of Pbtio 3 - Y 3 Fe 5 O 12 Ceramic Composites," *Int. J. Environ. Sci.*, Vol. 11, No. 22, Hal. 2233–2241, 2025, [Daring]. Tersedia Pada: Https://Theaspd.Com/Index.Php

[10] R. Rosmalinda, R. Rahmawati, Dan T. A. Fadlly, "Pengaruh Variasi Karbon Aktif Dari Tkks Pada Tio2 Terhadap Efisiensi Sel Surya Dssc Menggunakan Dye Kulit Jengkol (Pitchellobium Lobatum Benth)," *Wahana Fis.*, Vol. 6, No. 2, Hal. 142–150, Des 2021, Doi: 10.17509/Wafi.V6i2.39222.

[11] K. A. Andreanto Dan Z. A. I. Supardi, "Pengukuran Resistivitas Pada Printed Circuitboard Dengan Menggunakan Metode Four Point Probe.," *J. Inov. Fis. Indones.*, Vol. 07, No. 02, Hal. 48–53, 2018.

[12] Hajagos, S. (2025). *An Experimental And Theoretical Study On The Electrical Conductivity Of Polymer Composites*.*39*(August), 6300–6309. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jmrt.2025.10.217

[13] Parnasari, M. Nurhanisa, Dan B. S. Nugroho, "Studi Kapasitansi Dan Konstanta Dielektrik Pada Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit," *Prism. Fis.*, Vol. 10, No. 1, Hal. 98–104, 2022.

[14] Osman, N. B., Shamsuddin, N., & Uemura, Y. (2016). Activated Carbon Of Oil Palm Empty Fruit Bunch (Efb); Core And Shaggy. *Procedia Engineering*, *148*, 758–764. Https://Doi.Org/10.1016/J.Proeng.2016.06.610

[15] Chobchun, M., Jutakridsada, P., Thiamsinsangwon, P., Kamwilaisak, K., & Chindaprasirt, P. (2020). Characterization Of Tio 2 - Activated Carbon Onto Adsorption And Photocatalytic Properties And Its Application. *Journal Of Metals, Materials And Minerals*, *30*(4), 30–38. Https://Doi.Org/10.14456/Jmmm.2020.48

[16] Frastica Deswardani, Damris Muhammad, P. D. M. (2022). Karakterisasi Tio2/Karbon Aktif Dari Ampas Kopi Dan Uji Adsorpsi-Nya Terhadap Limbah Tetrasiklin (C22h24n2o8). *Jop*, *8*(1), 16–21.

[17] Bouachiba, Y., Hanini, F., Bouabellou, A., Kermiche, F., Taabouche, A., Bouafia, M., Amara, S., Sahli, S., & Boukheddaden, K. (2013). *Tio 2 Thin Films Studied By Ftir , Afm And Spectroscopic Ellipsometry*. *6*(100).

[18] Deswardani, F., Fahyuan, H. D., Afrianto, M. F., & Peslinof, M. (2020). *Analisis Gugus Fungsi Pada Tio 2 / Biochar Dengan Spektroskopi*. *5*(2), 54–58. Https://Doi.Org/Https://Online-Journal.Unja.Ac.Id/Jop/Oai

[19] Aflahannisa Dan Astuti. (2016). Sintesis Nanokomposit Karbon-Tio 2 Sebagai Anoda Baterai Lithium. *Jurnal Fisika Unand*, *5*(4), 357–363.

[20] Rani, S. R. A. (2022). Studi Konduktifitas Listrik Caco3 Dan Karbon Arang Dengan Metode Four Point Probe. *Jurnal Sains Fisika*, *2*(1), 40–54.

[21] Waremra, R. S., & Betaubun, P. (2018). Analysis Of Electrical Properties Using The Four Point Probe Method. *E3s Web Of Conferences*, *73*(73), 13019. Https://Doi.Org/10.1051/E3sconf/20187313019

[22] Ahmed Althumairi, N., Hjiri, M., Aldukhayel, A. M., Jbeli, A., & Nassar, K. I. (2025). Recent Advances In Dielectric And Ferroelectric Behavior Of Ceramic Nanocomposites: Structure Property Relationships And Processing Strategies. *Nanomaterials*, *15*(17), 1329. Https://Doi.Org/10.3390/Nano15171329

[23] Sucahyo, S. Dan I. (2017). Pengukuran Kapasitansi Kapasitor Dengan Memanfaatkan Elektrometer Hasil Rancangan Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (Ifi)*, *06*(01), 16–20.

[24] Wijayono, A., Galih, V., & Putra, V. (2020). *Pengukuran Permitivitas Dielektrik Bahan Kain Non Woven Menggunakan Kapasitansi Meter Arduino Uno Dan Prinsip Kerja Kapasitor Plat Sejajar*. 109–117. Https://Doi.Org/10.22146/Jfi.V24i3.55797

[25] Fauza, N. (2025). *The Influence Of Dielectric Space On Materials Capacitance Of Capacitor*. *3*, 33–38.