

Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca L*) Sebagai Elektroda Superkapasitor

Khariezmathika Ester Kapantow^{1)*}, Alfrie Musa Rampengan²⁾, Farly Reynol Tumimomor³⁾
Heindrich Taunaumang⁴⁾, Sixtus Iwan Umboh⁵⁾

^{1,2,4,5}Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

³Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

*Corresponding author. E-mail: 20503002@unima.ac.id

Diterima 20 Mei 2025; Disetujui 07 Juli 2025

ABSTRAK

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian terhadap energi terbarukan semakin meningkat terutama pada energi listrik. Salah satu teknologi yang tengah berkembang dalam mendukung penyimpanan energi listrik adalah superkapasitor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi larutan KOH terhadap karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan oleh elektroda superkapasitor berbahan karbon aktif dari limbah kulit pisang kepok (*Musa Paradisiaca L*). Metode yang digunakan adalah metode dehidrasi 80°C, karbonisasi pada suhu 400°C, aktivasi kimia dengan larutan KOH 5M, 6M, dan 7M, serta aktivasi fisika pada suhu 750°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi aktivator KOH dari 5M, 6M, hingga 7M meningkatkan tegangan listrik masing-masing menjadi 0,641 V, 1,078 V, dan 1,448 V serta arus listrik sebesar 10,3 mA, 11,6 mA, dan 28,5 mA. Namun, nilai densitas dan konduktivitas menunjukkan pola yang berbeda, dengan nilai densitas 1,2446 A/m³, 1,8586 A/m³ dan 1,0161 A/m³, serta konduktivitas 0,8034 S/m, 0,5380 S/m dan 0,9841 S/m. Densitas meningkat dari 5M ke 6M karena penambahan ion, tetapi menurun pada 7M akibat kejenuhan ion. Sebaliknya, konduktivitas menurun pada 6M karena mobilitas ion yang berkurang, lalu meningkat kembali pada 7M akibat bertambahnya ion bebas. Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan konsentrasi aktivator yang tepat berperan penting dalam meningkatkan performa elektroda berbasis limbah organik untuk aplikasi superkapasitor.

Kata kunci : Superkapasitor, Karbon Aktif, Konsentrasi Larutan KOH, Tegangan-Arus, Densitas-Konduktivitas

ABSTRACT

In recent years, attention to renewable energy has increased, especially in electrical energy. One of the emerging technologies in supporting electrical energy storage is supercapacitors. This study aims to determine the effect of variations in the concentration of KOH solution on the current and voltage characteristics produced by supercapacitor electrodes made from activated carbon from kepok banana peel waste (*Musa Paradisiaca L*). By using dehydration method 80°C, carbonization at 400°C, chemical activation with 5M, 6M, and 7M KOH solution, and physical activation at 750°C. The results showed that the concentration of KOH activator from 5M, 6M, to 7M increased the electric voltage to 0.641 V, 1.078 V, and 1.448 V and electric current to 10.3 mA, 11.6 mA, and 28.5 mA, respectively. However, the density and conductivity values showed different patterns, with density values of 1.2446 A/m³, 1.8586 A/m³ and 1.0161 A/m³, and conductivity of 0.8034 S/m, 0.5380 S/m and 0.9841 S/m. Density increased from 5M to 6M due to the addition of ions, but decreased at 7M due to ion saturation. In contrast, conductivity decreased at 6M due to reduced ion mobility, then increased again at 7M due to the addition of free ions. These results indicate that selecting an appropriate activator concentration plays an important role in enhancing the performance of organic waste-based electrodes for supercapacitor applications.

Keywords : Supercapacitor, Activated Carbon, KOH Solution Concentration, Voltage-Current, Density-Conductivity

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara berkembang, penyediaan energi khususnya listrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pembangunan (Tumimomor et al., 2017). Energi listrik adalah kebutuhan esensial bagi setiap individu. Hampir semua aktivitas manusia memerlukan

listrik, termasuk dalam sektor teknologi dan transportasi yang bergantung pada perangkat penyimpanan energi contohnya, laptop dan mobil listrik memanfaatkan baterai sebagai media penyimpan energi listrik. Selain itu, salah satu inovasi terbaru dalam penyimpanan energi listrik adalah superkapasitor.

Superkapasitor merupakan inovasi terbaru yang berasal dari kapasitor konvensional, dirancang untuk memenuhi kebutuhan penyimpanan energi modern. Perangkat ini menawarkan kapasitas penyimpanan yang jauh lebih besar dibandingkan dengan kapasitor biasa. Superkapasitor memiliki kapasitansi dan densitas energi yang lebih tinggi, memungkinkan penyimpanan energi dalam jumlah signifikan. Selain itu, superkapasitor juga dikenal karena waktu pengisian dan pengosongannya yang sangat cepat, serta masa pakai yang panjang (Nurhasmia, 2021)

Salah satu elemen penting yang mempengaruhi efektivitas superkapasitor adalah jenis bahan elektroda yang digunakan. Bahan elektroda dapat terbuat dari polimer, oksidasi logam dan bahan berpori seperti karbon aktif (Forouzandeh et al., 2020). Karbon aktif merupakan bahan yang paling umum digunakan. Salah satu sumber yang dapat dimanfaatkan untuk memproduksi karbon aktif adalah biomassa seperti tanaman, pohon, rumput, umbi-umbian, serta limbah hasil pertanian (Reza et al., 2022). Salah satu bahan baku yang dapat dikembangkan untuk produksi karbon aktif adalah kulit pisang (Rahmansyah et al., 2017). Limbah kulit pisang adalah limbah organik yang banyak dihasilkan dari pengolahan buah pisang di daerah Sulawesi Utara. Limbah ini dipilih karena kemampuannya dalam menyerap air, bahan organik, dan partikel kimia.

Proses aktivasi karbon dilakukan dalam penelitian ini dengan sumber karbon limbah organik melalui pengolahan limbah kulit pisang kepek. Penggunaan kulit pisang kepek sebagai bahan baku utama untuk karbon aktif menjadi isu penting dalam penelitian dan pengembangan karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor. Fokus penelitian ini adalah pada proses aktivasi karbon yang dihasilkan dari limbah organik kulit pisang kepek, dengan mempertimbangkan pengaruh perubahan konsentrasi larutan KOH terhadap densitas karbon aktif yang digunakan sebagai elektroda superkapasitor.

2. KAJIAN LITERATUR

Superkapasitor

Superkapasitor adalah perangkat penyimpanan energi yang mampu menampung energi dalam jumlah besar dan memiliki beberapa keunggulan, termasuk waktu pengisian yang cepat dan durasi penyimpanan

yang lebih lama dibandingkan dengan baterai. Selain itu, superkapasitor juga memiliki kepadatan daya yang relatif tinggi, memungkinkan untuk menyimpan dan melepaskan energi dengan efisien dalam waktu singkat (Marina, 2021).

Superkapasitor memiliki daya tahan yang baik meskipun diisi ulang berkali-kali, serta kemampuan untuk mengisi ulang dengan cepat, menjadikannya alternatif yang lebih efisien dibandingkan baterai. Proses pengisian ulang superkapasitor berlangsung sangat cepat, sehingga memberikan potensi yang lebih besar dibandingkan baterai. Keunggulan ini disebabkan oleh fakta bahwa baterai menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia, yang memerlukan waktu lebih lama untuk proses pengisian.

Jika dibandingkan dengan perangkat penyimpanan muatan lainnya, superkapasitor memiliki umur pakai yang lebih panjang. Berbeda dengan baterai atau kapasitor elektrolitik, superkapasitor menawarkan kepadatan energi dan kepadatan daya yang lebih tinggi, serta memiliki ukuran dan berat yang lebih kecil. Selain itu, superkapasitor juga memiliki siklus hidup yang jauh lebih lama dibandingkan dengan baterai, mencapai hingga 500.000 siklus (Gautham Prasad et al., 2019).

Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan bahan berpori dengan kandungan karbon 87% sampai 97% dan sisa berupa hidrogen, oksigen, sulfur dan lain-lain. Secara umum proses pembuatan karbon aktif terdiri dari tiga tahap yaitu dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi (Putri et al., 2019).

Dehidrasi merupakan proses yang dilakukan untuk mengurangi kadar air pada bahan baku karbon aktif, dengan tujuan meningkatkan efisiensi karbonisasi. Proses ini dapat dilakukan dengan mengeringkan bahan baku di bawah sinar matahari atau dengan menggunakan *oven* (Monarita et al., 2022).

Karbonisasi merupakan suatu proses yang melibatkan pembakaran bahan organik dalam bahan baku. Proses ini menyebabkan terjadinya penguraian pada bahan organik serta pelepasan zat pengotor. Sebagian besar unsur yang bukan karbon akan hilang selama tahap ini. Pengeluaran unsur-unsur volatil tersebut berkontribusi pada pembentukan struktur pori atau pembukaan pori. Selama proses karbonisasi, struktur pori awal akan mengalami

perubahan. Proses ini dihentikan ketika tidak ada lagi asap yang dihasilkan. Untuk mempercepat reaksi pembentukan pori, diperlukan peningkatan suhu; namun, perlu juga diterapkan batasan suhu. Suhu yang terlalu tinggi, seperti di atas 1000°C , dapat menyebabkan terbentuknya sejumlah besar abu yang dapat menyumbat pori-pori, sehingga mengurangi luas permukaan dan kapasitas adsorpsi (Putri et al., 2019).

Aktivasi

Aktivasi fisika merupakan suatu teknik untuk mengaktifkan karbon aktif yang dilakukan melalui perlakuan panas pada bahan baku berkarbon tanpa menggunakan prekursor kimia. Proses ini melibatkan pemanasan bahan berkarbon pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa oksigen, baik dengan menggunakan gas atau dalam ruang hampa (Nandari et al., 2024). Tujuannya adalah untuk meningkatkan porositas dan luas permukaan karbon aktif tanpa penambahan bahan kimia.

Aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia. Aktivasi kimia biasanya menggunakan bahan aktivator seperti garam kalsium klorida (CaCl_2), magnesium klorida (MgCl_2), seng klorida (ZnCl_2), natrium hidroksida (NaOH), natrium karbonat (Na_2CO_3), dan natrium klorida (NaCl). Selain garam mineral, berbagai asam dan basa organik yang umum digunakan, seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), asam hipoklorit (H_3PO_4), kalium hidroksida (KOH), natrium hidroksida (NaOH) (Safitri et al., 2024).

Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca L*)

Tanaman pisang kepok termasuk dalam kelompok monokotil tahunan yang berbentuk pohon dengan batang semu. Kulit buah pisang kepok sangat tebal, berwarna kuning kehijauan, dan kadang-kadang terdapat bintik coklat, serta memiliki rasa yang manis. Pisang kepok tumbuh dengan suhu optimal sekitar 27°C dan suhu maksimum mencapai 38°C . Bentuk buahnya cenderung pipih dan persegi, dengan ukuran kecil, panjang antara 10-12 cm, dan berat berkisar antara 80-120 gram.

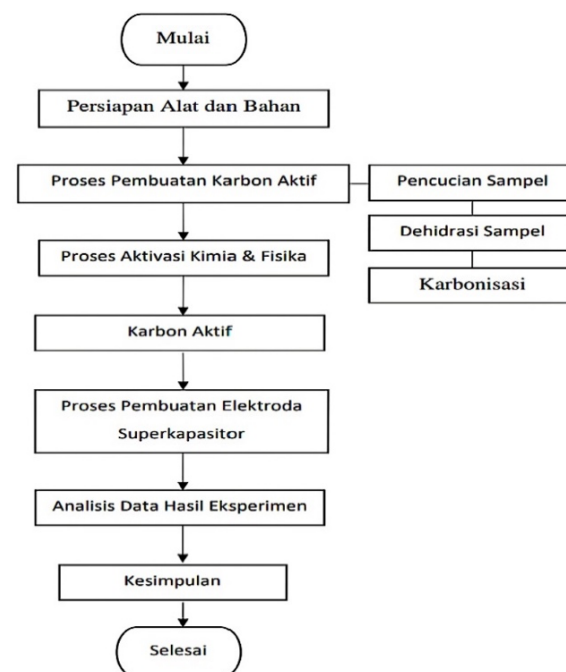
Kulit Pisang Kepok Sebagai Karbon Aktif

Kulit pisang merupakan bahan buangan atau limbah kulit pisang yang cukup banyak jumlahnya. Umumnya kulit pisang, hanya

dibuang sebagai limbah organik saja atau digunakan untuk makanan binatang (Masriatini, 2017). Penggunaan kulit pisang dalam penghematan energi dapat memberikan manfaat yang signifikan. Ini disebabkan oleh kandungan karbon sebesar 43,7% yang terdapat dalam kulit pisang, yang berkontribusi dalam proses pembuatan karbon aktif sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor. Kulit pisang yang dimaksud adalah jenis kulit pisang kapok (Reza et al., 2022).

Kulit pisang kepok dapat diproses menjadi arang aktif, yaitu senyawa karbon yang diperoleh dari bahan yang kaya akan karbon. Proses ini dilakukan dengan metode tertentu yang bertujuan untuk menghilangkan hidrogen, air, atau senyawa lainnya dari karbon, sehingga dihasilkan luas permukaan yang lebih besar (Imelda et al., 2019). Menurut (Aulia et al., 2018) limbah kulit pisang kepok (basis kering) mengandung abu 0,001%, selulosa sekitar 7,5%, lignin sebesar 7,9%, dan hemiselulosa sekitar 74,9%.

Komponen ini berkontribusi pada potensi penggunaan kulit pisang kepok sebagai arang aktif dengan kualitas yang tinggi, sehingga karbon aktif yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai superkapasitor. Tingkat karbonisasi kulit pisang mencapai sekitar 96,56% (Reza et al., 2022). Kerangka pemikiran yang digunakan dalam penelitian untuk menganalisis setiap proses yang bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

3. METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material, Fakultas Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, dan Kebumihan, Universitas Negeri Manado. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan September sampai Desember 2024.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah krusibel 50 ml, mortar, ayakan 100 mesh, spatula, batang pengaduk, pipet 5 ml, multimeter digital, gelas baker 50-500 ml, labutakar 500 ml, *furnace*, *vortex mixer*, oven pengering *memmert*, pH meter digital, timbangan kimia analitik, tang krusibel, *magnetic stirrer with heater*, pompa vakum, plastik sampel, gunting, pisau.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit pisang kepok, KOH *Pro-Analysis*, NaOH *Pro-Analysis*, aquades, alkohol 70%, bubuk PTFE, aluminium foil, kertas saring, kaca *acrylic*.

Pembuatan Karbon Aktif

Pada tahap pra-karbonisasi, peneliti menyiapkan sampel kulit pisang kepok (*Musa Paradisiaca* L.) berwarna kuning yang sudah dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian dilakukan pengeringan pemurnian di dalam oven pengering *memmert* dengan suhu 80°C selama 24 jam untuk menghilangkan kelembaban (Maia et al., 2021). Kulit pisang yang sudah kering dipotong-potong agar dapat memperluas area permukaan dan mempercepat proses karbonisasi.

Setelah sampel sudah di potong dilanjutkan dengan proses karbonisasi pada suhu 400°C selama 1,5 jam menggunakan *furnace* (Sa'diyah et al., 2022). Proses karbonisasi ini dilakukan untuk mengubah kulit pisang kepok menjadi karbon. Setelah melewati proses karbonisasi sampel di haluskan menggunakan mortar kemudian di saring menggunakan ayakan 100 mesh agar mendapatkan ukuran yang sama.

Kemudian sampel yang sudah di saring di lakukan proses aktivasi yang di bagi menjadi dua tahap yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Proses aktivasi kimia di lakukan dengan cara sampel karbon kulit pisang kepok sebanyak 10 gram di rendam dalam 500 ml larutan KOH 5M, 6 M, 7M. Dan disimpan dalam oven selama 4 jam pada suhu 60°C. Setelah 4 jam sampel di keluarkan dari dalam

oven kemudian di saeing menggunakan pompa vakum kemudian masukkan sampel yang sudah di saring kedalam *furnace* selama 2 jam pada suhu 750°C dengan kecepatan suhu 10°C/menit untuk aktivasi fisika. Selanjutnya sampel dicuci dan disaring sampai mendapatkan pH netral menggunakan aquades (Atminingtyas et al., 2016). Kemudian karbon di keringkan di dalam oven selama 12 jam pada suhu 110°C.

Fabrikasi Elektroda Superkapasitor dan Pengukuran Tegangan-Arus

Pada proses ini karbon di timbang sebanyak 0,7 gram di campur dengan 0,2 gram bubuk PTFE dan lem besi sebanyak 0,1 gram menggunakan timbangan analitik dan di campur dengan alkohol 70% sebanyak 50 ml. Kemudian di *stirrer* selama 1 jam setelah di *stirrer* selama 1 jam, nyalakan *heater* sampai berubah menjadi pasta yang homogen.

Sampel yang sudah berbentuk pasta dioleskan di atas kolektor arus yang terbuat dari aluminium foil berukuran 5 × 5 cm sampai permukaan menjadi rata lalu di berikan larutan elektrolit sebanyak 3 tetes menggunakan alat pipet tetes dan disusun dengan separator yang terbuat dari tissue makan berukuran 5,5 × 5,5 cm dan berikan larutan elektrolit sebanyak 1 tetes pada separator lalu disusun lagi menggunakan elektroda. Untuk cover body menggunakan kaca akrilik yang berukuran 5 × 5 cm (Tamara et al., 2024). Larutan Elektrolit yang digunakan adalah NaOH 3M

Pada penelitian ini, data yang di ambil dari pengujian sampel elektroda superkapasitor adalah data hasil pengukuran tegangan listrik dan arus listrik pada superkapasitor. Sebelum melakukan pengukuran, superkapasitor diisi selama 3 menit dengan menggunakan power supply DC yang memiliki tegangan 3 V dan arus 0,6 A.

Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data pada penelitian pemanfaatan karbon aktif dari kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* L) dengan aktivasi larutan KOH sebagai elektroda superkapasitor dilakukan dengan mengumpulkan data pengukuran secara terorganisir, memvisualisasikan hasil karakteristik dan sifat elektrokimia dalam bentuk grafik untuk mengidentifikasi pola atau tren, serta menginterpretasikan data tersebut guna menilai kinerja elektrokimia material elektroda. Hasil analisis ini kemudian

digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai efektivitas material yang di uji serta memberikan arahan untuk penelitian selanjutnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

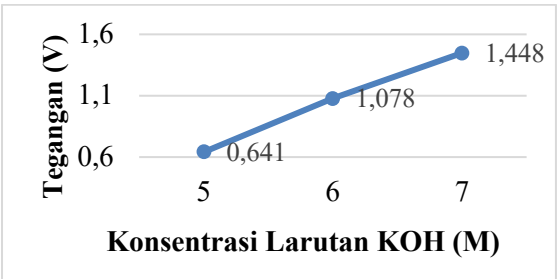
Tegangan Listrik

Hasil uji tegangan listrik pada superkapasitor yang dihasilkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Tegangan Pada Kapasitor”

No.	Konsentrasi Aktivator KOH	Tegangan (V)
1.	5M	0,641
2.	6M	1,078
3.	7M	1,448

Tabel 1 menunjukkan bahwa pengukuran tegangan listrik pada superkapasitor dilakukan dengan menggunakan Multimeter Digital, dan hasil yang diperoleh dinyatakan dalam satuan volt (V). Grafik hubungan nilai tegangan dengan konsentrasi larutan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Nilai Tegangan Pada Superkapasitor

Berdasarkan data Tabel 1 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa konsentrasi larutan KOH yang berbeda memberikan pengaruh nilai terhadap nilai tegangan listrik yang dihasilkan oleh elektroda superkapasitor.

Sampel dengan perlakuan konsentrasi aktivator larutan KOH 5M, 6M, dan 7M mengalami peningkatan tegangan listrik pada superkapasitor. Menurut (Farma et al., 2018) Pengaruh penambahan konsentrasi larutan KOH pada elektroda berpengaruh terhadap pori-pori yang terbentuk. Larutan KOH merupakan basa kuat sehingga mampu mengangkat zat pengotor yang dapat menyebabkan terjadinya pembentukan pori pada permukaan karbon.

Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi konsentrasi KOH maka akan semakin memperbesar luas permukaan pada elektroda karbon aktif maka akan semakin banyak anion dan kation yang terserap oleh elektroda karbon dan dapat menyebabkan meningkatnya kapasitansi pada elektroda (Mahyuda et al., 2024).

Arus Listrik

Hasil uji arus listrik pada superkapasitor yang dihasilkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Arus Pada Superkapasitor

No.	Konsentrasi Aktivator KOH	Arus (mA)
1.	5M	10,3
2.	6M	11,6
3.	7M	28,5

Tabel 2 menunjukkan bahwa pengukuran arus listrik pada superkapasitor dilakukan menggunakan alat Multimeter Digital, dengan satuan nilai yang diperoleh adalah Miliamper (mA). Grafik hubungan nilai arus dengan konsentrasi larutan ditunjukkan pada Gambar 3.



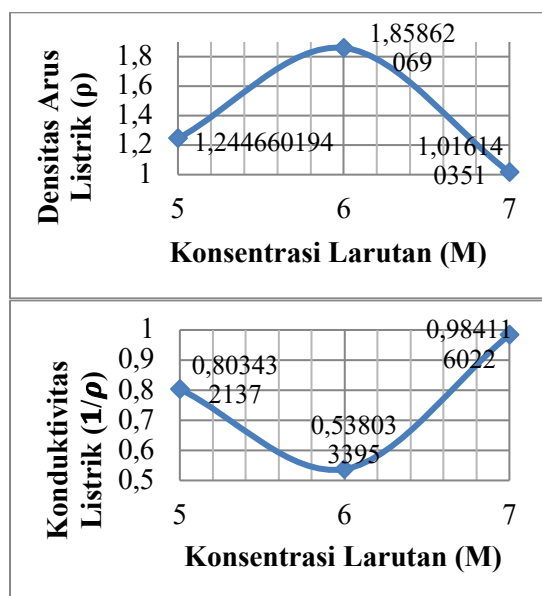
Gambar 3. Grafik Nilai Arus Pada Superkapasitor

Berdasarkan data Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa konsentrasi aktivator larutan KOH yang berbeda memberikan pengaruh terhadap nilai arus listrik yang dihasilkan oleh elektroda superkapasitor. Arus listrik pada superkapasitor berkaitan langsung dengan jumlah muatan yang dilepaskan atau dihasilkan oleh superkapasitor dengan variasi konsentrasi aktivator KOH (Kimbal et al., 2025). Data menunjukkan bahwa perlakuan larutan KOH dengan konsentrasi 5M, 6M, dan 7M meningkatkan arus listrik pada superkapasitor.

Pengukuran arus menunjukkan bahwa larutan KOH dengan konsentrasi 7M menghasilkan nilai arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan larutan KOH pada konsentrasi 5M dan 6M, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Peningkatan nilai arus ini terjadi karena konsentrasi ion yang lebih tinggi dalam larutan KOH, yang mempercepat proses transportasi dan pemisahan ion di permukaan elektroda. Dengan demikian, nilai arus meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi larutan KOH (Huda et al., 2022).

Perbandingan Densitas dan Konduktivitas

Grafik perbandingan densitas dan konduktivitas pada superkapasitor ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Densitas dan Konduktivitas Pada Superkapasitor

Berdasarkan data Gambar 4 menunjukkan bahwa konsentrasi larutan KOH yang berbeda memberikan pengaruh terhadap nilai densitas dan konduktivitas yang di hasilkan oleh elektroda superkapasitor.

Pada grafik densitas memperlihatkan peningkatan densitas dari konsentrasi 5M ke 6M terjadi karena jumlah ion dalam larutan bertambah, sehingga massa jenis larutan juga meningkat. Namun, pada konsentrasi 7M densitas justru menurun. Hal ini disebabkan oleh terjadinya kejenuhan ion dalam larutan, yang mengakibatkan berkurangnya interaksi antara ion dan molekul pelarut (Nuradi, 2022). Sementara pada grafik konduktivitas

menunjukkan penurunan konduktivitas dari konsentrasi 5M hingga 6M, karena tingginya jumlah ion dalam larutan justru mengurangi mobilitas ion, sehingga arus listrik yang dapat mengalir menjadi lebih kecil. Sebaliknya, pada konsentrasi 6M hingga 7M, konduktivitas meningkat. Hal ini mungkin terjadi karena adanya redistribusi ion dan bertambahnya jumlah ion bebas, akibat semakin sedikitnya molekul pelarut yang mengikat ion-ion tersebut (Avni et al., 2022). Kedua parameter ini meskipun sama-sama dipengaruhi oleh konsentrasi larutan namun menunjukkan pola perubahan yang berbeda. Densitas larutan meningkat hingga mencapai titik tertentu, lalu mengalami penurunan. Sebaliknya, konduktivitas justru menurun pada awalnya dan kemudian naik kembali pada konsentrasi yang lebih tinggi. Pola ini memperlihatkan bahwa peningkatan densitas tidak selalu sejalan dengan kenaikan konduktivitas, karena terdapat faktor lain yang memengaruhi, seperti interaksi antar ion dan kejenuhan pelarut (Plechko et al., 2023).

5. KESIMPULAN

Sampel kulit pisang kepok berhasil dimodifikasi menjadi karbon aktif yang digunakan sebagai elektroda superkapasitor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi aktivator KOH dari 5M, 6M, hingga 7M meningkatkan tegangan listrik masing-masing menjadi 0,641 V, 1,078 V, dan 1,448 V serta arus listrik sebesar 10,3 mA, 11,6 mA, dan 28,5 mA, yang menandakan perubahan signifikan pada sifat listrik superkapasitor. Kenaikan konsentrasi aktivator KOH berpengaruh positif terhadap peningkatan tegangan dan arus listrik superkapasitor. Namun, nilai densitas dan konduktivitas menunjukkan pola yang berbeda, dengan densitas berturut-turut 1,2446 A/m^3 , 1,8586 A/m^3 dan 1,0161 A/m^3 , serta konduktivitas 0,8034 S/m, 0,5380 S/m dan 0,9841 S/m. pada konsentrasi 5M, 6M, dan 7M. Densitas meningkat dari 5M ke 6M karena penambahan ion, tetapi menurun pada 7M akibat kejenuhan ion. Sebaliknya, konduktivitas menurun pada 6M karena mobilitas ion yang berkurang, lalu meningkat kembali pada 7M akibat bertambahnya ion bebas. Dengan demikian, densitas dan konduktivitas dipengaruhi secara berbeda oleh konsentrasi aktivator melalui interaksi ion dan kejenuhan pelarut

6. REFERENSI

- Atminingtyas, S., Oktiaawan, W., & Wardana, W. (2016). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Naoh dan Tinggi Kolom pada Arang Aktif dari Kulit Pisang terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) Limbah Cair Industri. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(1), 1–11. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan>
- Aulia, R., Juliasih, N. L. G. R., & Rinawati, R. (2018). Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif Dari kulit pisang kepok (musa paradisiaca l.) Sebagai adsorben Senyawa polisiklik aromatik hidrokarbon fenantrena. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 3(02), 126–138. <https://doi.org/10.23960/aec.v3.i2.2018.p126-138>
- Avni, Y., Adar, R. M., Andelman, D., & Orland, H. (2022). Conductivity of Concentrated Electrolytes. *Physical Review Letters*, 128(9). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.098002>
- Farma, R. ... Yanuar, H. (2018). Cyclic Voltammetry Sel Superkapasitor Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida. *Jurnal Fisika Indonesia*, 21(2), 20. <https://doi.org/10.22146/jfi.42203>
- Forouzandeh, P., Kumaravel, V., & Pillai, S. C. (2020). Electrode materials for supercapacitors: A review of recent advances. *Catalysts*, 10(9), 1–73. <https://doi.org/10.3390/catal10090969>
- Gautham Prasad, G. ... Bommegowda, K. B. (2019). Supercapacitor technology and its applications: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 561(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/561/1/012105>
- Huda, A. N., Lestari, I., & Hidayat, S. (2022). Pemanfaatan Karbon Aktif dari Sekam Padi Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 6(2), 102–113. <https://doi.org/10.24198/jiif.v6i2.39639>
- Imelda, D., Khanza, A., & Wulandari, D. (2019). Pengaruh Ukuran Partikel Dan Suhu Terhadap Penyerapan Logam Tembaga (Cu) Dengan Arang Aktif Dari Kulit Pisang Kepok (Musa Paradisiaca Formatypica). *Jurnal Teknologi*, 6(2), 107–118.
- Kimbal, A. J. ... Pawarangan, I. (2025). *KELAPA DENGAN VARIASI KONSENTRASI KOH SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA SUPERKAPASITOR CHARACTERISTICS OF ACTIVATED CARBON BASED ON COCONUT FROND WASTE WITH VARIATIONS OF KOH CONCENTRATION AS SUPERCAPACITOR ELECTRODE MATERIAL*. 8(1), 4–10.
- Mahyuda, M., Sirait, R., & Lubis, R. Y. (2024). Pengaruh Konsentrasi KOH Terhadap Karakteristik Dan Kapasitansi Elektroda Karbon Aktif Super Kapasitor. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 7(2), 207–213. <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMM-ECC-BY-SALisence%0Ahttps://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
- Maia, L. S., Duizit, L. D., Pinhatio, F. R., & Mulinari, D. R. (2021). Valuation of banana peel waste for producing activated carbon via NaOH and pyrolysis for methylene blue removal. *Carbon Letters*, 31(4), 749–762. <https://doi.org/10.1007/s42823-021-00226-5>
- Masriatini, R. (2017). Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Pisang. *Gastronomia Ecuatoriana y Turismo Local*, 1(69), 5–24.
- Monarita, A. ... Dewi, R. (2022). OPTIMASI PROSES PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI KULIT SINGKONG MENGGUNAKAN AKTIVATOR ZnCl₂. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 11(1), 66. <https://doi.org/10.29103/jtku.v11i1.7250>
- Nandari, W. W., Zabrina, N., & Sitta, M. P. (2024). Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Aktivator Pada Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Jurnal Kimia Dan Rekayasa*, 4(2), 71–77.
- Nuradi, R. F. (2022). *PEMBUATAN SUPERKAPASITOR DARI KARBON AKTIF KULIT BUAH KAKAO SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI*.
- Nurhasmia, N. (2021). studi penggunaan superkapasitor sebagai media penyimpanan energi. *Progressive Physics Journal*, 2(2), 79–88.

- Plechikova, N. V., Salma, U., Shcherbakov, V. V., & Artemkina, Y. M. (2023). Electrical Conductivities and Dielectric Properties of Ionic Liquids and Their Solutions. In *Properties and Applications of Ionic Liquids* (pp. 35–104). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85167861415&partnerID=40&md5=5cec9be1c5bbfc7e1ad9db5ea6c8005d>
- Pongajow, S., Taunamang, H., Tumimomor, F. R., & Alfrie, M. (2024). Pengaruh Suhu Proses Karbonasi Terhadap Konduktivitas Listrik Arang Bambu Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengelatan Alam*, 2(1).
- Putri, R. W., Haryati, S., & Rahmatullah. (2019). Pengaruh suhu karbonisasi terhadap kualitas karbon aktif dari limbah ampas tebu. *Jurnal Teknik Kimia*, 25(1), 1–4. <https://doi.org/10.36706/jtk.v25i1.13>
- Rahmansyah, A., Ismuyanto, B., & Dwi Saptati NH, dan A. (2017). Pembuatan Karbon Aktif Berbasis Kulit Pisang Dengan Variasi Suhu Karbonisasi. *Brawijaya Physics Student Journal*, 4(1), 1–7.
- Reza, M. ... Timur, K. (2022). Karakterisasi Karbon Aktif Dari Kulit Pisang Kepok Sebagai Superkapasitor Characterization of Activated Carbon From Banana Peel Kepok As a Supercapacitor. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(2), 53.
- Sa'diyah, K., & Lusiani, C. E. (2022). Kualitas Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok Menggunakan Aktivator Kimia dengan Variasi Konsentrasi dan Waktu Aktivasi. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 6(1), 9–19. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v6i1.259>
- Safitri, D. I., Hendrawati, N., & Ramadhana, R. (2024). PEMANFAATAN TONGKOL JAGUNG DALAM PEMBUATAN KARBON AKTIF DENGAN AKTIVATOR NaOH DAN Na₂CO₃. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(1), 113–121. <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i1.4939>
- Tamara, G. J. ... Mongan, S. W. (2024). KARBON AKTIF KULIT KACANG BATIK KAWANGKOAN I-V CHARACTERISTICS OF SUPERCAPACITOR ELECTRODES BASED ON BATIK KAWANGKOAN PEANUT SHELL ACTIVATED CARBON. 7(2).
- Tumimomor, F., Maddu, A., & Pari, G. (2017). UTILIZATION OF BAMBOO BASED ACTIVATED CARBON AS SUPERCAPACITOR ELECTRODE. *JURNAL ILMIAH SAINS*, 17(1), 73.