

Studi Literatur: Pengembangan Superkapasitor Berdasarkan Jenis Elektrolit untuk Kinerja yang Lebih Baik

Viona Aulia Rahmi *, Dini Aulia Sari Ermal, Dwi Annisa Fithry, Israyandi, Cici Maarasyid, Vriska Febiandini, Cakra Dictojhoda, Eben Nezer, Nabila Febri Edelina, Eka Lestiana

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Riau
Jl. Tuanku Tambusai, Delima, Kec. Tampan, Kota Pekanbaru, Riau 28290, Indonesia

E-mail: vionaauliarahmi@umri.ac.id*

Abstract

Supercapacitors are increasingly developing energy storage devices because they have advantages over conventional batteries and capacitors, such as high power density and long cycle life. Electrolytes are solutions that contain ions and function as electrically conductive media. In chemistry, electrolytes usually consist of acid, base, or salt solutions. The electrolyte used in supercapacitors plays a crucial role in achieving the desired power and energy density. In general, electrolytes are divided into two types based on their phase form, namely liquid and solid or gel electrolytes. Liquid electrolytes can be acids, bases or salts. While gel electrolytes are electrolytes that are denser in nature so that they can reduce leakage.

Keywords: Energy Storage, Gel Electrolyte, Liquid Electrolyte, Supercapacitor

Abstrak

Superkapasitor merupakan perangkat penyimpanan energi yang semakin berkembang karena memiliki keunggulan dibandingkan baterai dan kapasitor konvensional, seperti kerapatan daya tinggi dan umur siklus yang panjang. Elektrolit adalah larutan yang mengandung ion dan berfungsi sebagai media konduktif listrik. Dalam kimia, elektrolit biasanya terdiri dari larutan asam, basa, atau garam. Elektrolit yang digunakan pada superkapasitor memiliki peran krusial dalam mencapai kepadatan daya dan energi yang diinginkan. Pada umumnya, elektrolit dibagi menjadi dua jenis berdasarkan bentuk fasanya yaitu elektrolit cair dan padat atau gel. Elektrolit cair dapat berupa asam, basa maupun garam. Sedangkan elektrolit gel merupakan elektrolit yang sifatnya lebih padat sehingga dapat mengurangi kebocoran.

Kata kunci: Elektrolit Cair, Elektrolid Gel, Superkapasitor, Penyimpanan Energi

1. Pendahuluan

Energi listrik adalah kebutuhan utama yang digunakan di berbagai aspek kehidupan. Semua perangkat elektronik saat ini, seperti ponsel dan laptop, memerlukan pasokan energi listrik. Aktivitas pengguna yang terus bergerak mendorong kebutuhan akan perangkat portabel yang bisa digunakan di mana saja. Penggunaan energi tersebut membutuhkan media penyimpanan yang efisien dan terjangkau. Perkembangan teknologi penyimpanan energi, seperti baterai, superkapasitor, sel bahan bakar, dan kapasitor, terus berlanjut untuk memenuhi kebutuhan energi. Setiap perangkat penyimpanan energi memiliki kekurangan dan kelebihan terkait penyimpanan daya dan kepadatan energi. Perangkat penyimpanan yang baik merupakan

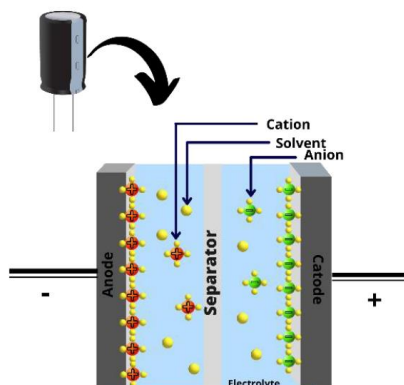
perangkat yang memiliki keseimbangan antara kepadatan energi dan daya, seperti pada baterai dan superkapasitor. Sementara baterai cenderung sulit untuk diisi ulang dan memiliki variasi dalam kapasitas penyimpanannya, superkapasitor lebih unggul karena pengisian ulang daya yang lebih cepat, memiliki kepadatan daya tinggi, kapasitas penyimpanan besar, dan pengisian-pengosongan yang cepat, memungkinkan penggunaan dalam jangka waktu yang lebih lama [1].

Artikel ini bertujuan untuk mengkaji dan membandingkan performa berbagai jenis elektrolit cair dan gel dalam sistem superkapasitor, dengan merujuk pada data-data literatur terkini yang memanfaatkan material konvensional hingga berbasis biomassa terbarukan. Artikel ini secara khusus menyoroti

peran elektrolit sebagai komponen sentral dalam menentukan performa elektrokimia superkapasitor. Tidak seperti sebagian besar studi terdahulu yang lebih menekankan pada rekayasa elektroda, tulisan ini memfokuskan analisis pada jenis, sifat fasa, serta asal-usul elektrolit yang digunakan. Elektrolit tidak hanya berfungsi sebagai medium transfer ion, tetapi juga memengaruhi kestabilan tegangan, konduktivitas ionik, dan efisiensi siklus pengisian-pengosongan perangkat. Tujuan utama dari kajian ini adalah untuk membandingkan kinerja berbagai jenis elektrolit cair dan gel berdasarkan parameter kapasitansi spesifik, rapat energi, serta rapat daya dari berbagai literatur terkini. Kebaruan artikel ini terletak pada penekanan terhadap elektrolit yang berasal dari bahan-bahan terbarukan, seperti larutan berbasis limbah kulit kakao dan sabut kelapa, serta elektrolit gel hasil modifikasi biopolimer. Pendekatan ini tidak hanya menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, tetapi juga memperluas potensi rekayasa material elektrolit untuk sistem penyimpanan energi generasi baru yang lebih aman, efisien, dan berdaya guna tinggi.

Superkapasitor adalah perangkat yang mirip dengan baterai dan berfungsi untuk menyimpan energi. Superkapasitor biasanya menyimpan energi dengan memisahkan muatan listrik secara fisik, tidak seperti baterai, yang menggunakan reaksi kimia untuk menyimpan energi. Teknologi karbon khususnya karbon nanotube adalah dasar superkapasitor, yang menghasilkan area permukaan yang sangat luas dengan jarak pemisah yang sangat kecil. Setiap superkapasitor terdiri dari dua elektroda yang terendam dalam elektrolit (larutan konduktif atau polimer konduktif). Separator berbahan dielektrik memisahkan kedua elektroda dan memiliki sifat listrik yang memengaruhi kinerja superkapasitor [2].

Superkapasitor memiliki banyak keunggulan dibandingkan alat penyimpan energi lainnya, seperti kapasitor. Ini termasuk kepadatan energi yang tinggi, jumlah siklus yang lebih besar, dan kapasitas penyimpanan energi yang besar. Selain itu, prinsip superkapasitor sederhana dan konstruksinya mudah. Karena tidak mengandung bahan korosif dan lebih sedikit bahan beracun, superkapasitor lebih ramah lingkungan. Kapasitor memiliki kekurangan ketika digunakan untuk mobil listrik, karena kapasitor hanya dapat menampung jumlah energi yang terbatas karena kerapatan energi yang rendah dari superkapasitor. Akibatnya, mobil listrik hanya dapat menempuh jarak yang terbatas [3].



Gambar 1. Representasi Skema Superkapasitor [4]

Superkapasitor telah menarik perhatian karena memiliki sejumlah keuntungan dibandingkan kapasitor konvensional lainnya, seperti kapasitas penyimpanan energi yang tinggi dan kepadatan daya yang lebih besar dibandingkan baterai, proses pengisian dan pengosongan yang sangat cepat, biaya perawatan yang rendah, umur pakai yang lebih panjang, serta tingkat keamanan yang tinggi. Hal ini menjadikannya sebagai sistem penyimpanan energi yang sangat potensial untuk digunakan dalam aplikasi elektronik, cadangan daya, dan kendaraan hibrida di masa depan. Superkapasitor terdiri dari komponen utama: elektrolit, elektroda dan separator [5].

Berdasarkan mekanisme penyimpanannya, superkapasitor dibedakan menjadi electrical double layer capacitor (EDLC), pseudokapasitor, dan hybrid capacitor. EDLC merupakan superkapasitor paling sederhana dan banyak tersedia secara komersil. Superkapasitor jenis ini memiliki kelebihan pada stabilitas siklusnya yang lebih stabil dan usia penggunaannya lebih lama dibanding jenis lainnya. Pseudokapasitor merupakan superkapasitor yang mengandalkan reaksi Faradaik yang terjadi pada antarmuka elektroda-elektrolit. Superkapasitor hibrida dikembangkan sebagai solusi atas kekurangan dari EDLC dan pseudokapasitor. Maka pada beberapa referensi dijelaskan superkapasitor hibrida merupakan gabungan dari *electrochemical double layer capacitor* (EDLC) dan pseudokapasitor dalam satu sel superkapasitor. Prinsip kerja superkapasitor hibrida ini merupakan gabungan dari elektrostatik dan reaksi Faraday sehingga kapasitansi yang dihasilkan lebih besar dan energi yang dihasilkan lebih besar [4].

Elektrolit merupakan salah satu komponen penting dalam superkapasitor yang secara langsung memengaruhi performa penyimpanan energi, khususnya kapasitansi spesifik dan

densitas daya. Jenis dan konsentrasi elektrolit yang digunakan dapat meningkatkan atau menurunkan kinerja elektrokimia superkapasitor secara signifikan. Meskipun superkapasitor memiliki keunggulan seperti kecepatan pengisian yang tinggi dan umur siklus yang panjang, performanya sangat tergantung pada pemilihan elektrolit yang tepat. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana berbagai jenis elektrolit baik cair maupun gel berkontribusi terhadap efisiensi dan stabilitas superkapasitor.

Elektrolit, yang biasanya terdiri dari larutan asam, basa, atau garam dalam kimia, digunakan pada superkapasitor karena sangat penting untuk mencapai kepadatan daya dan energi yang diinginkan. Luas permukaannya yang besar memungkinkan sebanyak mungkin ion mencapai permukaan elektroda tanpa terhalang.

Tabel 1.

State of The Art Elektrolit Superkapasitor

Ref	Elektroda	Elektrolit	Hasil
[1]	Limbah kulit kakao	1 M H ₂ SO ₄	Kapasitansi spesifik: 412,9 F/g Rapat energi: 743,29 Wh/Kg Rapat daya: 2678,53 W/Kg
[6]	Kayu karet	0,5 M CuSO ₄	Kapasitansi: 7,21 x 10 ⁻⁵ F
[7]	Bunga rumput gajah	Modifikasi pati sagu dan LiClO ₄	Kapasitansi spesifik: 33,12 F/g
[8]	Sabut kelapa	1 M H ₂ SO ₄ , 1 M KOH, 1 M Na ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄ Kapasitansi spesifik: 54,47 F/g Rapat energi: 7,56 Wh/Kg Rapat daya: 27,23 W/Kg KOH Kapasitansi spesifik: 38,11 F/g Rapat energi: 5,29 Wh/Kg Rapat daya: 19,05 W/Kg Na ₂ SO ₄ Kapasitansi spesifik: 20,94 F/g Rapat energi: 2,90 Wh/Kg

			Rapat daya: 10,47 W/Kg
[9]	RGO/ITO	1 M KCl	Kapasitansi: 5,33 mF
[10]	limbah botol plastik	PVA-K ₂ CO ₃	Tegangan: 1,227 V
[2]		Modifikasi HydroxyEthyl Cellulose, Na ₂ SO ₄ dan 0,4 g gliserol	Konduktivitas ionik: 3,472 x 10 ⁻⁵ mS/cm Kapasitansi spesifik: 10,79 F/g

2. Jenis-Jenis Elektrolit

Superkapasitor elektrolit adalah perangkat penyimpanan energi yang menggunakan elektrolit sebagai media penghubung antara dua elektroda untuk menyimpan energi dalam bentuk muatan elektrostatik. Elektroda superkapasitor terdiri dari dua elektroda yang diposisikan sejajar, dengan sebuah separator di antara keduanya, dan ion elektrolit yang ditempatkan di antara keduanya. Jenis elektrolit yang diberikan trans juga memengaruhi kinerja elektroda. Elektrolit memberikan ion kepada karbon, yang memiliki efek pada nilai kapasitansi yang dihasilkan. Elektrolit adalah campuran ion positif dan negatif yang terlarut dalam larutan, seperti air.

Elektrolit adalah komponen terpenting sebagai pembawa muatan. Elektrolit yang umumnya digunakan pada superkapasitor komersial adalah elektrolit padat (gel) dan cair.

a. Elektrolit Cair

Dikarenakan jendela potensialnya yang kecil (hanya sekitar 1V), elektrolit cair jarang digunakan dalam pembuatan superkapasitor komersial. Ini mengakibatkan rapat daya superkapasitor yang rendah. Meskipun demikian, elektrolit cair yang bersifat asam, basa, dan netral seperti H₂SO₄, LiOH, dan Na₂SO₄ masih digunakan dalam investigasi laboratorium karena mudah untuk dibuat. Penggunaan elektrolit 3 M H₂SO₄ memperoleh kapasitansi spesifik sebesar 110 F.g⁻¹ [11]. Elektrolit LiOH 4 M menunjukkan nilai kapasitansi maksimum 505 C/g pada kerapatan arus 5 A/g, yang menunjukkan bahwa konsentrasi elektrolit berpengaruh pada kinerja elektrokimia elektroda [12]. Efek berbagai elektrolit pada elektroda MnO₂ /CNT diselidiki, kapasitansi 43,2 F/g dalam 0,5 M Na₂SO₄ diperoleh [13].

Di dukung berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh Asti & Putra, 2024 dengan menggunakan karbon aktif dari sabut kelapa menghasilkan uji elektrolit dengan 3 variasi yaitu 1M H₂SO₄, 1M KOH, dan 1M Na₂SO₄ , dengan

hasil $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{KOH} > \text{Na}_2\text{SO}_4$ [8]. Temuan ini menunjukkan bahwa H_2SO_4 menduduki peringkat tertinggi dalam percobaan yang dilakukan. Studi menunjukkan bahwa elektrolit asam menghasilkan nilai yang lebih tinggi daripada basa atau garam, dikaitkan dengan konduktivitas ionik yang tinggi dan berkurangnya resistensi [8].

b. Elektrolit padat (gel)

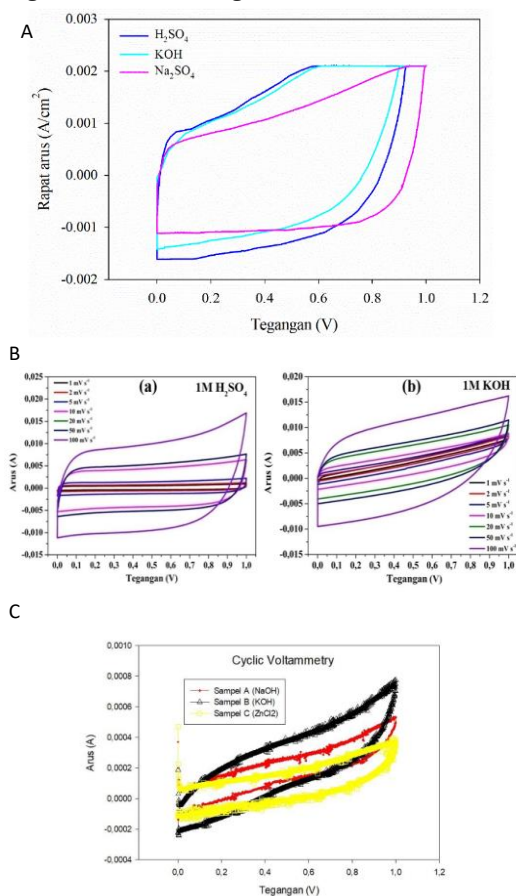
Elektrolit gel mengatasi beberapa masalah dengan elektrolit cair dalam superkapasitor. Elektrolit cair sering menghadapi masalah seperti kebocoran dan volatilitas pelarut, yang dapat menyebabkan penurunan konduktivitas ionik. Penurunan konduktivitas ini dapat berdampak pada bagaimana elektrolit bekerja dalam perangkat elektrokimia, termasuk superkapasitor. Untuk menghindari keterbatasan yang terkait dengan elektrolit cair, pemisah dalam elektrolit gel terdiri dari gel yang terdiri dari polimer dan garam elektrolit yang dicampur bersama untuk menciptakan struktur gel yang kohesif dan kompak. [4]. 1-butyl-3-metilimidazol tetrafluoroborat/polivinil alkohol/asam sulfat (IL/PVA/ H_2SO_4) digunakan sebagai elektrolit gel polimer dengan elektroda poli (3,4-etilendioksi tiofen) /kertas karbon (PEDOT/CP) untuk menghasilkan kapasitansi 86,81 F/g dan peningkatan densitas energi 176,90 Wh. Dibandingkan dengan elektrolit konvensional dan tradisional, elektrolit gel polimer ILs (cairan ionik) memiliki keunggulan stabilitas termal, konduktivitas ionik yang tinggi, volatilitas yang rendah, dan jendela potensial yang lebar. Selain itu, elektrolit gel polimer ILs memiliki kemampuan pemulihan elastisitas dan penyembuhan diri yang baik [14]. Integrasi poli (vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) (PVDF-HFP) berbasis gel polimer, 1-Alil-3-metilimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide [AMIm] [TFSI] dan elektroda $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{Ni}$, yang menghasilkan energi spesifik sebesar 811 W.kg⁻¹ [15].

Selain kedua jenis elektrolit tersebut, elektrolit juga dapat dimodifikasi. Modifikasi elektrolit menggunakan quinone-hydroquinone dan H_2SO_4 pada superkapasitor berbasis karbon diperoleh nilai kapasitansi spesifik sebesar 220 F/g dan rapat energi sebesar 10,1 Wh/Kg [16]. Elektrolit dengan fasa padat dimodifikasi dari pati kentang dan poli vinil alkohol yang ditingkatkan menggunakan garam natrium perklorat. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai konduktivitas sebesar $1,35 \times 10^{-5}$ S/cm, nilai kapasitansi spesifik sebesar 92 F/g, kepadatan

daya dan energi diperoleh sebesar 833 W/kg dan 26,7 Wh/Kg [17].

Mekanisme pengisian dan pengosongan superkapasitor sangat mirip dengan mekanisme kapasitor konvensional. Ketika tegangan diberikan, maka akan menghasilkan medan listrik yang mengarah pada pemisahan muatan, khususnya ion-ion dalam elektrolit. Ion positif cenderung berkumpul pada elektroda yang bermuatan negatif, sedangkan ion negatif akan berkumpul pada elektroda yang bermuatan positif. Setelah menghilangkan tegangan dari superkapasitor, ion-ion di dalam elektrolit akan menguras elektroda [2].

Kinerja superkapasitor sangat dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi elektrolit yang digunakan. Salah satu elektrolit yang sering dipakai dalam superkapasitor adalah natrium sulfat (Na_2SO_4), yang dipilih karena kestabilannya serta harganya yang relatif terjangkau. Selain itu pada penelitian lain juga menggunakan beberapa variasi dari elektrolit untuk menemukan mana elektrolit yang lebih efisien untuk digunakan superkapasitor. Elektrolit yang digunakan yaitu diantaranya H_2SO_4 , KOH, CuSO_4 , campuran LiClO dan pati sagu untuk elektrolit gel, KCl, PVA- K_2CO_3 [10].



Gambar 2. Kurva CV dari berbagai jenis elektrolit [1], [18], [19]

Terlihat pada Gambar 2, semakin besar luas kurva CV, maka semakin besar nilai kapasitansi spesifik. Kapasitansi spesifik yang besar menyatakan bahwa seberapa besar energi yang mampu disimpan oleh suatu perangkat penyimpanan energi per satuan massa. Pada Gambar 2.A, terlihat bahwa H_2SO_4 terbukti lebih unggul dengan luas kurva yang paling besar dibandingkan dua elektrolit lain. Gambar 2.B terlihat H_2SO_4 juga terbukti lebih baik kapasitansinya dibandingkan KOH dan Gambar 2.C terlihat NaOH memiliki luas kurva yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa elektrolit asam lebih efektif digunakan sebagai elektrolit, ion H^+ cenderung lebih mudah bergerak dan memiliki mobilitas yang tinggi dikarenakan ukuran atomnya yang sangat kecil dan ringan sehingga reaksi elektrokimia cenderung menjadi lebih cepat dan efisien. Dengan ukurannya yang sangat kecil, atom H^+ mampu menyusup kedalam pori elektroda dengan lebih mudah dan menyebabkan kurva CV menjadi lebih luas dan besar dibandingkan jenis elektrolit lain.

3. Pandangan Masa Depan

Dengan kapasitasnya yang signifikan, durasi pengisian daya yang lebih singkat, dan masa pakai yang lebih lama dibandingkan dengan baterai, superkapasitor berfungsi sebagai solusi penyimpanan energi listrik yang efektif, dan memposisikannya untuk aplikasi di masa depan.

Superkapasitor elektrolit memiliki prospek masa depan yang cerah, terutama dalam peningkatan kapasitas penyimpanan dan pengembangan material yang lebih efisien. Penelitian terus dilakukan untuk mengembangkan elektrolit yang lebih stabil dan ramah lingkungan, serta bahan elektroda seperti karbon atau graphene yang dapat meningkatkan kapasitas tanpa mengurangi kecepatan pengisian dan pelepasan energi. Inovasi ini memungkinkan superkapasitor untuk lebih efektif digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti kendaraan listrik, sistem penyimpanan energi terbarukan, dan perangkat wearable. Keunggulannya dalam pengisian cepat dan daya tahan tinggi menjadikannya pilihan yang menarik dalam kombinasi dengan baterai untuk meningkatkan efisiensi kendaraan listrik dan sistem energi terbarukan.

Selain itu, superkapasitor diharapkan dapat beroperasi lebih baik dalam lingkungan ekstrem dan lebih mudah didaur ulang, menjadikannya solusi yang lebih ramah lingkungan. Dengan berkembangnya teknologi, superkapasitor dapat digunakan dalam lebih banyak aplikasi industri, termasuk di luar angkasa dan perangkat IoT.

Fokus penelitian juga mengarah pada penggunaan elektrolit berbasis air atau padat yang lebih aman, serta peningkatan daya tahan dan kinerja dalam kondisi suhu tinggi dan rendah. Secara keseluruhan, superkapasitor elektrolit memiliki potensi besar untuk mendukung transisi menuju teknologi penyimpanan energi yang lebih cepat, efisien, dan berkelanjutan di masa depan.

4. Simpulan

Superkapasitor merupakan alternatif penyimpanan energi yang memiliki sejumlah keunggulan, seperti kapasitas pengisian dan pengosongan yang cepat, usia pakai yang panjang, serta tingkat keamanan yang tinggi dibandingkan baterai. Namun, terdapat beberapa kekurangan utama, yaitu kerapatan energi yang rendah, sehingga kurang optimal untuk aplikasi jarak jauh seperti kendaraan listrik. Dalam aplikasinya, superkapasitor lebih cocok untuk kebutuhan energi yang membutuhkan daya tinggi dalam waktu singkat, seperti bus listrik pada rute pendek.

Penggunaan elektrolit memegang peranan penting dalam menentukan kinerja superkapasitor. Berdasarkan berbagai penelitian, elektrolit asam, seperti H_2SO_4 , menunjukkan performa terbaik dengan nilai kapasitansi spesifik yang tinggi dibandingkan elektrolit basa (KOH) atau garam (Na_2SO_4). Pengembangan elektrolit gel juga menjadi alternatif untuk meningkatkan stabilitas dan mengatasi masalah kebocoran elektrolit cair. Elektrolit padat juga bisa menjadi alternatif yang lebih baik demi keamanan dan mencegah kebocoran serta mampu memperoleh performa yang baik hanya saja dikarenakan fasanya yang padat menjadikan ion sedikit lebih sulit bergerak.

Secara keseluruhan, meskipun masih memiliki tantangan dalam hal kerapatan energi, superkapasitor memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam sistem penyimpanan energi berdaya tinggi, terutama dengan inovasi teknologi pada elektrolit.

Daftar Pustaka

- [1] E. P. Rajagukguk et al., "Analisis Pengaruh Variasi Elektrolit H_2SO_4 , KOH, dan Na_2SO_4 Terhadap Kinerja Elektrokimia Superkapasitor berbasis Biomassa Kulit Kakao," *Jurnal Energi Terbarukan*, vol. 13, no. 5, pp. 610–616, 2024.
- [2] D. H. Siburian et al., "Pengaruh Variasi Massa Gliserol Pada Gel Elektrolit Untuk Aplikasi Superkapasitor," *Jurnal Teknologi Energi*, vol. 10, no. 1, pp. 106–113, 2023.

- [3] V. Lystianingrum, "Superkapasitor Sebagai Alternatif Penyimpan Energi untuk Bus Listrik di Indonesia: Potensi dan Tantangan," *Jurnal Energi Indonesia*, no. April, 2020.
- [4] V. A. Rahmi dan M. Zunita, "Ionic Liquid-based Electrolyte in Supercapacitors," *AIP Conference Proceedings*, vol. 060001, 2024.
- [5] N. Watulingas et al., "Pemanfaatan Karbon Aktif Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Sebagai Material Elektroda Superkapasitor dengan Variasi Konsentrasi Elektrolit," *Jurnal Kimia Terapan*, vol. 7, no. 2, 2024.
- [6] D. H. Wijaya dan D. Dahlan, "Karakterisasi Fasa dan Kapasitansi Elektroda Kayu Karet yang Dielektrodeposisi Menggunakan CuSO_4 untuk Aplikasi Elektroda Superkapasitor," *Jurnal Material Listrik*, vol. 5, no. 1, pp. 78–84, 2016.
- [7] R. Rahman dan E. Taer, "Potensi Sel Superkapasitor dari Elektroda Bunga Rumput Gajah dengan Modifikasi Elektrolit Pati Sagu & Garam Lithium," *Jurnal Sains Terapan*, pp. 978–979, 2016.
- [8] R. D. Asti dan A. Putra, "Pengaruh Jenis Larutan Elektrolit Terhadap Sifat Elektrokimia Superkapasitor dari Karbon Aktif Sabut Kelapa," *Jurnal Kimia Material*, vol. 8, pp. 19496–19504, 2024.
- [9] D. U. Dzujah et al., "Charge-Discharge Model Superkapasitor RGO dalam Sistem Elektrolit KCl," *Jurnal Teknologi Energi*, vol. 02, no. 01, pp. 65–69, 2018.
- [10] F. T. Juliantie et al., "Aplikasi Porous Activated Carbon dari Limbah Botol Plastik sebagai Material Elektroda pada Electric Double Layer Capacitors dengan Gel Polymer Electrolyte," *Jurnal Rekayasa Energi*, vol. 6, no. 1, pp. 85–94, 2022.
- [11] J. Kang et al., "Characterization of thermal behaviors of electrochemical double layer capacitors with aqueous and organic electrolytes," *Electrochimica Acta*, vol. 144, pp. 200–210, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.07.158>
- [12] Mahieddine et al., "Effect of electrolyte concentration on electrochemical performance of $\text{Li}_2\text{Cu}(\text{WO}_4)_2$ for hybrid supercapacitors," *Journal of Energy Storage*, vol. 56, p. 106011, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106011>
- [13] S. Sopcic et al., "Influence of supporting electrolyte on the pseudocapacitive properties of MnO_2 /carbon nanotubes," *Journal of Solid State Electrochemistry*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10008-018-4122-9>
- [14] H. Du et al., "Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) based solid-state polymer supercapacitor with ionic liquid gel polymer electrolyte," *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 2, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12020297>
- [15] M. Marzouki et al., "Aprotic ionic liquids as polymer gel electrolytes for cobalt oxide symmetric supercapacitors," *Journal of Energy Storage*, vol. 40, p. 102761, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102761>
- [16] S. Roldán et al., "Mechanisms of energy storage in carbon-based supercapacitors modified with a quinoid redox-active electrolyte," *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 115, no. 35, pp. 17606–17611, 2011. <https://doi.org/10.1021/jp205100v>
- [17] Rao et al., "Improving supercapacitor performance with novel potato starch-PVA solid polymer electrolyte blend modified by sodium perchlorate-glycerol additives," *Journal of Energy Storage*, vol. 102, p. 113965, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.113965>
- [18] Awitdrus et al., "Perbandingan larutan elektrolit H_2SO_4 dan KOH pada kinerja elektrokimia bahan elektroda berbasis karbon aktif sabut kelapa muda," *Jurnal Litbang Industri*, vol. 12, pp. 15–20, 2022.
- [19] W. Budi Kurniawan et al., "Study of The Variation of Activating Agents on Specific Capacitance Values on The Synthesis of Supercapacitor Electrodes Based on Pepper Peel Waste," *Jurnal Geliga Sains*, vol. 9, no. 1, p. 19, 2021. <https://doi.org/10.31258/jgs.9.1.19-25>