

Efek Suhu Aktivasi terhadap Struktur Mikro Material Karbon Aktif Pelepah Enceng Gondok untuk Aplikasi Elektroda Superkapasitor

Heindrich Taunaumang^{1*}, Ishak Pawarangan², Farly Tumimomor³

¹⁻³ Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Indonesia

*Penulis Korespondensi: heindrichtaunaumng@unima.ac.id

Abstract. Supercapacitor electrode material based on Pelepah Enceng Gondok Activated Carbon (KAPEG) have been developed for increasing the performance of the supercapacitor application. The activated carbon surface structure and its properties strongly depend on the pyrolysis temperature and the type of activation methods. The bamboo carbon has been fabricated using pyrolysis method. The KAPEG was produced using chemical activation with H_3PO_4 as activation agent with variation of temperature activation 750°C have been carried out. Characterization of the surface structure (functional groups vibration) of bamboo carbon (CB) pyrolysis and the Pelepah enceng Gondok activated carbon (KAPEG) were carried out using FTIR. The aim of this research is to identify the functional groups vibration. The FTIR results shows absorption peaks of functional groups of -OH, C=O, C-O, C-H and C-C vibration. The increasing of wavenumber of absorption peaks of functional groups -OH stretching, C=O stretching and C-H indicate that the functional groups bond for KAPEG samples becomes more stronger than for KPEG sample. The conclusion of this research are: the increasing of wavenumber of absorption peaks for functional groups indicates of more stronger of functional groups bond.

Keywords: Activated Carbon; FTIR; Functional Groups; Supercapacitor Electrode; Water Hyacinth

Abstrak. Bahan elektroda superkapasitor berbasis Karbon Aktif Pelepah Enceng Gondok (KAPEG) telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja aplikasi superkapasitor. Struktur permukaan karbon aktif dan sifat-sifatnya sangat bergantung pada suhu pirolisis dan jenis metode aktivasi. Karbon bambu telah dibuat menggunakan metode pirolisis. KAPEG diproduksi menggunakan aktivasi kimia dengan H_3PO_4 sebagai agen aktivasi dengan variasi suhu aktivasi 750°C telah dilakukan. Karakterisasi struktur permukaan (getaran gugus fungsi) pirolisis karbon bambu (CB) dan karbon aktif Pelepah Enceng Gondok (KAPEG) dilakukan menggunakan FTIR. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi getaran gugus fungsi. Hasil FTIR menunjukkan puncak serapan gugus fungsi -OH, C=O, C-O, C-H dan getaran C-C. Meningkatnya bilangan gelombang puncak serapan gugus fungsi peregangan -OH, peregangan C=O dan C-H menunjukkan bahwa ikatan gugus fungsi untuk sampel KAPEG menjadi lebih kuat daripada untuk Sampel KPEG. Kesimpulan penelitian ini adalah: peningkatan bilangan gelombang puncak serapan gugus fungsi menunjukkan ikatan gugus fungsi yang semakin kuat.

Kata kunci: Elektroda Superkapasitor; Enceng Gondok; FTIR; Gugus Fungsi; Karbon Aktif

1. LATAR BELAKANG

Superkapasitor sebagai divais penyimpanan energi listrik/surya memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan kapasitor konvensional antara lain adalah superkapasitor ialah memiliki kapasitansi spesifik yang tinggi (melebihi 100 F/g) dan umur pakai (lifetime) mencapai 20 tahun. Waktu pengisian dan pengosongan (*charge discharge*) superkapasitor terjadi sangat cepat yaitu dalam orde detik dan memiliki daya spesifik (5-20 kW/kg). Material penyusun superkapasitor terdiri dari dua material penting yaitu, elektroda dan elektrolit. Material elektroda yang dikembangkan adalah dengan menggunakan material karbon aktif seperti sabut kelapa dan dari bambu. Fokus proposal penelitian ini adalah menyidik efek suhu aktivasi (secara kimia) terhadap struktur mikro material karbon aktif Pelepah Enceng Gondok (PEG) sebagai biomassa yang menjadi salah satu sumber permasalahan di Danau Tondano yang seharusnya dikelola agar bernilai ekonomi. Untuk itu pelepah enceng gondok

dikelola menjadi salah satu sumber arang aktif yang diaplikasikan sebagai bahan elektroda superkapasitor. Permasalahan penelitian ini adalah bagaimana efek suhu aktivasi terhadap struktur mikro material karbon aktif Pelepah Enceng Gondok? Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki/menganalisis efek suhu aktivasi secara kimia struktur mikro material karbon aktif Pelepah Enceng Gondok. Karbon Pelepah Enceng Gondok (KPEG) telah berhasil dilakukan dengan metode pirolisis. Dan Karbon Aktif Pelepah Enceng Gondok (KAPEG) telah berhasil dilakukan dengan menggunakan H_3PO_4 sebagai agen aktivator. Pengukuran FTIR menunjukkan bahwa terdapat efek suhu aktivasi terhadap perubahan struktur mikro yaitu kimia/struktur molekul dan kemungkinan juga struktur fisis Karbon Aktif Pelepah Enceng Gondok (KAPEG) dibandingkan dengan struktur mikro Karbon Pelepah Enceng Gondok (KPEG). Material Karbon Aktif Pelepah Enceng Gondok (KAPEG) memenuhi kriteria sebagai material elektroda superkapasitor.

2. KAJIAN TEORITIS

Superkapasitor adalah teknologi yang sangat menarik perhatian dan menjanjikan di dunia karena memiliki banyak keunggulan dan manfaat dalam teknologi penyimpanan energi listrik. Keunggulan superkapasitor adalah memiliki *power density* yang besar jika dibandingkan dengan penyimpanan electrochemical lainnya. Superkapasitor memiliki nilai kapasitansi yang sangat tinggi, sampai dengan ribuan Farad. Selain itu, superkapasitor memiliki lifetime yang lebih lama sehingga superkapasitor memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan menjadi piranti penyimpanan energi.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas superkapasitor adalah sifat bahan elektroda. Bahan elektroda yang umum digunakan pada superkapasitor adalah grafit, graphane, carbon nanotube (CNT) karbon aerogel, nanokomposit, nanotube, logam oksida, dan polimer konduktif. Namun kelangkaan dan mahalnya bahan tersebut menjadi faktor kendala dalam pembuatannya.

Oleh karena itu, diperlukan pengembangan bahan elektroda dengan teknik sederhana, biaya yang murah dan ramah lingkungan. Arang aktif adalah salah satu jenis bahan untuk elektroda yang memiliki permukaan spesifik yang tinggi, ketahanan kimia, konduktivitas listrik yang baik dan harga yang terjangkau. Selain itu, arang aktif bisa dibuat dari bahan biomassa yang ketersediaannya melimpah di alam. Berbagai jenis biomassa telah dibuat sebagai bahan elektroda superkapasitor seperti tempurung kelapa, kemiri dan eceng gondok.

Secara umum, bahan baku dengan kadar karbon tinggi (kadar selulosa dan lignin) cenderung akan menghasilkan arang aktif yang berkualitas tinggi. Eceng gondok adalah

tumbuhan air yang mengandung selulosa 30,5% hemiselulosa 20,8% dan lignin 21,3% sehingga berpotensi untuk pembuatan arang aktif. Eceng gondok tumbuh liar di ekosistem air dan hal ini merugikan karena dapat menghambat pertumbuhan ikan, masalah pada irigasi, dan menyebabkan ekosistem rusak. Agar eceng gondok ini tidak menjadi gulma, maka dapat dimanfaatkan dengan menggunakannya sebagai bahan dasar arang aktif. Selain itu laju pertumbuhan eceng gondok sangat tinggi (100 ton/tahun/hektar) dibandingkan dengan sumber biomassa yang lain. Hal ini menandakan ketersediaan eceng gondok yang sangat berlimpah sehingga eceng gondok merupakan bahan baku yang sangat potensial apabila diolah menjadi elektroda untuk superkapasitor.

3. METODE PENELITIAN

Bahan dan Persiapan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pelepah enceng gondok (PEG), asam fosfat (H_3PO_4) 85% sebagai agen aktivasi, kalium hidroksida (KOH), dan akuades. Bahan baku karbon aktif berasal dari pelepah enceng gondok yang diambil dari daerah Tondano. Pelepah enceng gondok tersebut terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kadar airnya berkurang. Setelah kering, bahan dipotong menjadi ukuran kecil agar proses pirolisis lebih merata. Proses persiapan ini bertujuan untuk memastikan bahan baku siap digunakan dalam tahap pirolisis dan aktivasi kimia sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Bahan Baku Pelepah Enceng Gondok



Gambar 2. Potongan Bahan Baku Pelepah Enceng Gondok yang kering untuk di karbonissi.

Pembuatan Karbon Pelelah Enceng Gondok

Karbon pelelah enceng gondok dilakukan dengan metode termal (pirolisis). Material pelelah enceng gondok masukkan dalam wadah keramik dengan penutup dan dimasukkan dalam tahir (*furnace*). Dengan suhu pemanasan 350°C selama 2 jam. Proses pirolisis ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Potongan bahan baku pelelah enceng gondok dimasukkan dalam *furnace* untuk proses karbonisasi.

Hasil fabrikasi karbon pelelah enceng gondok (KPEG) dengan suhu karbonisasi 350°C selama 2 jam ditunjukkan pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Bubuk Karbon Pelelah Enceng Gondok (KPEG) Sebelum Dihaluskan



Gambar 5. Bubuk Karbon Pelelah Enceng Gondok (KPEG) Sesudah Dihaluskan

Pembuatan Karbon Aktif Pelelah Enceng Gondok

Fabrikasi karbon aktif pelelah enceng gondok (KAPEG) dilakukan dengan menggunakan metode aktivasi secara kimia dengan menggunakan asam fosfat (H_3PO_4) sebagai activator



Gambar 6. Proses Aktivasi Secara Kimia Karbon Pelepah Enceng Gondok pada Suhu 750°C Selama 2 Jam

Hasil fabrikasi karbonaktif pelepah enceng gondok (KAPEG) ditunjukkan pada gambar 7.

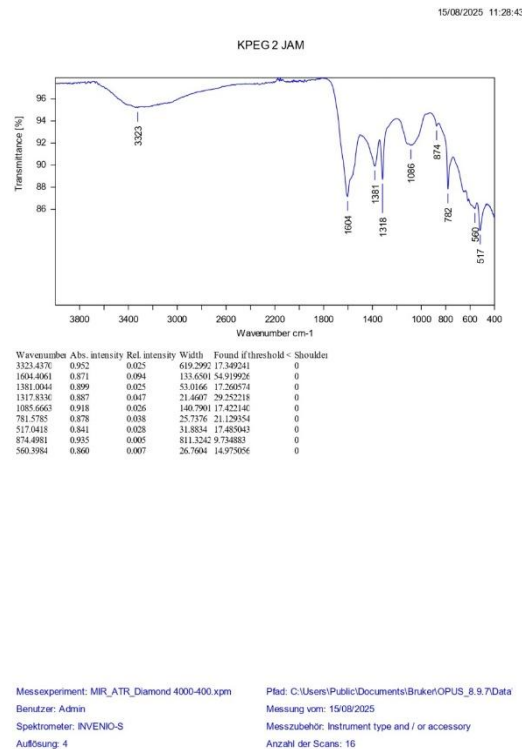


Gambar 7. Bubuk Karbonaktif Pelepah Enceng Gondok (KAPEG)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran FTIR

Analisis vibrasi gugus fungsi pada hasil pirolisis karbon KPEG dan KAPEG pada suhu 750°C dilakukan menggunakan spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) tipe INVENIO Bruker FT-IR Spectrometer dengan rentang panjang gelombang $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$. Pengukuran FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada permukaan karbon hasil pirolisis. Hasil pengukuran FTIR dari karbon pelepah enceng gondok (KPEG) dengan suhu karbonisasi 350°C ditunjukkan pada Gambar 8. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perubahan gugus fungsi yang terjadi akibat proses pirolisis dan aktivasi kimia, serta untuk membandingkan karakteristik gugus fungsi antara sampel KPEG dan KAPEG.



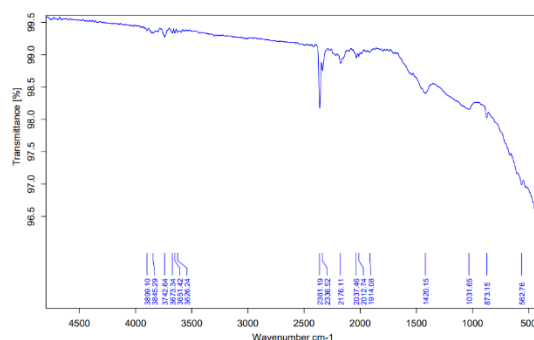
Gambar 8. Spektrum FTIR KPEG Pirolisis pada Suhu Karbonisasi 350°C Selama 2 jam
 Identifikasi puncak serapan FTIR untuk Karbon Enceng Gondok (KPEG) disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Puncak Serapan FTIR Karbon Aktif Pelepah Eceng Gondok (KPEG).

Frequency (cm ⁻¹)	Absorption Peaks Intensity	Identification [18,19]
3323.4	S (broad)	-OH stretching vibration (hydroxyl groups) due to hydrogen bonded).
1604.4	Vs	C= C stretching vibration
1381.0	Vs	C-O-C stretching vibration
1317.8	Vs	C-O-C stretching vibration
1085.7	Vs	C-O-C stretching vibration
874.5	Vw	C-H bending vibration
781.6	Vw	C-H bending vibration
560.4	Vs	C-H stretching vibration
517.0	Vs	C-C stretching vibration
464.84	Vs	C-C stretching vibration

Note : w : weak, vw : very weak, m : medium, s: strong, vs: very strong.

Hasil pengukuran FTIR KAPEG dengan suhu 750oC ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Speektra FTIR KAPEG 750

Identifikasi puncak serapan FTIR untuk Karbon Enceng Gondok Aktif (KAPEG) tercantum pada tabel 2.

Tabel 2. Identifikasi puncak serapan FTIR Karbon Aktif Pelepah Enceng Gondok (KAPEG)

Wavenumber (cm ⁻¹)	Absorbance Intensity (%)	Identification [17,18]
3899	W	-OH stretching vibration (hydroxyl groups). .
3845	VW	-OH stretching vibration
3742	VW	-OH stretching vibration
3673	VW	-OH stretching vibration
3651	VW	-OH stretching vibration
3626	VW	-OH stretching vibration
2924.0	Vw	-OH stretching vibration
2361	W	C=O stretching vibration (carbonyl groups)
2336	W	C=O stretching vibration (carbonyl groups)
2176	W	C=O stretching vibration (carbonyl groups)
2037	W	C=O stretching vibration (carbonyl groups)
2012	W	C=O stretching vibration (carbonyl groups)
1914	W	C=O stretching vibration (carbonyl groups)
1426	VW	C-H bending
1031	W	C-O-C stretching vibration
562	Vs	C-H stretching vibration

Pembahasan

Analisis spektra FTIR seperti yang ditunjukkan pada tabel 3 dan 4 menunjukkan bahwa bilangan gelombang atau frekuensi getaran peregangan O-H semakin meningkat yang menunjukkan bahwa ikatan O-H untuk sampel KAPEG menjadi lebih kuat dibandingkan dengan sampel KPEG.

Tabel 3. O-H *Stretching Vibration* in KPG (*hydroxyl*)

3323.4	S	O-H (stretching) intermolecular bonding
--------	---	--

Tabel 4. O-H Stretching Vibration in KAPG(hydroxyl groups)

3899	W	-OH stretching vibration (hydroxyl groups).
3845	VW	-OH stretching vibration
3742	VW	-OH stretching vibration
3673	VW	-OH stretching vibration
3651	VW	-OH stretching vibration
3626	VW	-OH stretching vibration

Tabel 5. C=O Stretching Vibration in KPEG

1604.4	cm ⁻¹	Vs	C= C stretching vibration
1381.0	cm ⁻¹	Vs	C=O stretching vibration

Tabel 6. C=O Stretching Vibration in KAPEG

2361 cm ⁻¹	W	C=O stretching vibration (crrbonyl groups)
2336 cm ⁻¹	W	C=O stretching vibration (crrbonyl groups)
2176 cm ⁻¹	W	C=O stretching vibration (crrbonyl groups)
2037 cm ⁻¹	W	C=O stretching vibration (crrbonyl groups)
2012 cm ⁻¹	W	C=O stretching vibration (crrbonyl groups)
1914 cm ⁻¹	W	C=O stretching vibration (crrbonyl groups)

Tabel 7. C-C Stretching Vibration in Cyclic Alkene/Hydrocarbon in KPEG

1317.8 cm ⁻¹	Vs	C-C stretching vibration
-------------------------	----	--------------------------

Tabel 8. C-O-C Symmetrical Stretching Vibration in KPEG

1085.7	cm ⁻¹	Vs	C-O-C stretching vibration
--------	------------------	----	----------------------------

Tabel 9. C-O-C Symmetrical Stretching Vibration in KAPEG

1031 cm ⁻¹	W	C-O stretching vibration
-----------------------	---	--------------------------

Tabel 10. C=H Stretching Vibration in KPEG

1604.4	cm ⁻¹	Vs	C= C stretching vibration
--------	------------------	----	---------------------------

Tabel 11. Out of Plane C-H Bending Vibration in KPEG

874.5 cm ⁻¹	Vw	C-H bending vibration
781.6 cm ⁻¹	Vw	C-H bending vibration

Tabel 12. Out of Plane C-H Bending Vibration in KAPEG

1426 cm ⁻¹	Vw	C-H bending
-----------------------	----	-------------

Tabel 13. C-H Stretching Vibration in KPEG

560.4 cm ⁻¹	Vs	C-H stretching vibration
------------------------	----	--------------------------

Tabel 14. *C-H Stretching Vibration in KAPEG*

562 cm ⁻¹	Vs	C-H stretching vibration
----------------------	----	--------------------------

Tabel 15. *C-C Stretching Vibration in KPEG*

517.0	cm ⁻¹	Vs	C-C stretching vibration
464.84	cm ⁻¹	Vs	C-C stretching vibration

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis spektra FTIR, gugus fungsi O–H (hidroksil), C=O, C–O, C–C, dan C–H pada KPEG dan KAPEG dapat diidentifikasi dengan jelas. Peningkatan bilangan gelombang atau frekuensi puncak serapan pada gugus fungsi O–H, C=O, dan C–H menunjukkan bahwa ikatan gugus fungsi pada sampel KAPEG menjadi lebih kuat dibandingkan dengan sampel KPEG. Sebaliknya, penurunan bilangan gelombang puncak serapan pada gugus fungsi C–C dan vibrasi ulur C–O–C menandakan bahwa kekuatan ikatan gugus fungsi tersebut pada sampel KAPEG menjadi lebih lemah dibandingkan dengan KPEG. Selain itu, proses aktivasi kimia menggunakan asam fosfat (H₃PO₄) terbukti dapat mengintroduksi gugus hidroksil, karbonil, dan karboksil ke permukaan karbon aktif yang berasal dari pelepah enceng gondok.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih atas dukungan dana dari Rektor Unima (Prof. Dr. Deitje A. Kattuuk, M.Pd) melalui Ketua LPPM Unima (Dr. Armstrng Sompotan, MSi) atas pendanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada staf Laboratorium Kimia untuk pengukuran FTIR.

DAFTAR REFERENSI

- Arunkumar, M., & Amit, P. (2017). Importance of electrode preparation methodologies in supercapacitor applications. *Journal of the American Chemical Society*, 1(2), 8039–8050. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01275>
- Arunkumar, M., & Paul, A. (2017). Importance of electrode preparation methodologies in supercapacitor applications. *ACS Omega*, 2(11), 8039–8050. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01275>
- Asnawi, R., Nurhadiyanto, D., Arifin, Z., & Asmara, A. (2018). The characteristic of supercapacitors circuit as a future electrical energy storage media. *Journal of Physics: Conference Series*, 1140(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1140/1/012001>
- Eko, N., Erman, T., & Rakhmawati, F. (2015). Pembuatan dan karakterisasi sel superkapasitor menggunakan karbon aktif monolit dari kayu karet berdasarkan variasi konsentrasi HNO₃. *Jurnal Material FMIPA*, 2(1), 49–55.
- Farly, R., & Septiany, C. (2018). Pemanfaatan karbon aktif dari sabut kelapa sebagai elektroda superkapasitor. *Fullerene Journal of Chemical*, 3(1), 13–18. <https://doi.org/10.37033/fjc.v3i1.29>
- Fitriana, V. (2014). *Sintesis dan karakterisasi superkapasitor berbasis nanokomposit TiO₂/C* [Skripsi, Universitas Negeri Malang]. Universitas Negeri Malang.
- Heindrich, T., et al. (2022). *Pembuatan superkapasitor sebagai devais penyimpanan energi listrik PLTS Unima dan SPKLU supercharging*.
- Hussain, O. A., Hathout, A. S., Abdel-Mobdy, Y. E., Rashed, M. M., Abdel Rahim, E. A., & Fouzy, A. S. M. (2023). Preparation and characterization of activated carbon from agricultural wastes and their ability to remove chlorpyrifos from water. *Toxicology Reports*, 10, 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.01.011>
- Kadir, M., & Arof, A. (2011). Application of PVA–chitosan blend polymer electrolyte membrane in electrical double layer capacitor. *Materials Research Innovations*, 15(2), 217–220. <https://doi.org/10.1179/143307511X13031890749299>
- Ki, Q., & John, W. (2016). Graphene-based materials for supercapacitor electrodes: A review. *Journal of Materomics*, 2(1), 37–54. <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2016.01.001>
- Lewandowski, M., & Orzylowski, M. (2017). Fractional order model: The case study of the supercapacitor capacitance measurement. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences and Technical Sciences*. <https://doi.org/10.1515/bpasts-2017-0050>
- Lokhande, C. D., Dubal, D. P., & Joo, O.-S. (2011). Metal oxide thin film-based supercapacitors. *Current Applied Physics*, 11(3), 255–270. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2010.12.001>
- Rima, Suastikaa, M., & Sirait, R. (2022). Pengaruh suhu aktivasi fisika terhadap uji mikrostruktur karbon aktif mangrove. *ATTDRIB Journal*, 6(2). <https://doi.org/10.54069/attdrib.v6i2.558>
- Sitohang, I. A. (2020). *Pembuatan dan pengujian elektroda superkapasitor berbasis graphene dengan metode charging-discharging* [Tesis, Universitas Sumatera Utara]. Program Studi Magister Fisika, FMIPA Universitas Sumatera Utara.

- Suherman, M., Hasanah, R., Ariandi, & Ilmi. (2021). Pengaruh suhu pemanasan terhadap karakteristik dan mikrostruktur karbon aktif pelepah kelapa sawit. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 16(1), 1–9.
- Umar, A. A., Rahman, M. Y. A., Taslim, R., & Salleh, M. M. (2011). Dye-sensitized solar cell utilizing quasi one-dimensional of highly compact vertical array ZnO nanorod. *International Journal of Electrochemical Science*, 7, 7253–7260. [https://doi.org/10.1016/S1452-3981\(23\)15781-6](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)15781-6)
- Wang, J., Gao, Z., Li, Z., Wang, B., Yan, Y., Liu, Q., Mann, T., Zhang, M., & Jiang, Z. (2011). Green synthesis of graphene nanosheets/ZnO composite and electrochemical properties. *Journal of Solid State Chemistry*, 184(6), 1421–1427. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2011.03.006>
- Zhang, Y., Feng, H., Wu, X., Wang, L., Zhang, A., Xia, T., Dong, H., Li, X., & Zhang, L. (2009). Progress of electrochemical capacitor electrode materials: A review. *Journal of Power Sources*, 34(11), 4889–4899. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.04.005>