

DOI:10.22144/ctujos.2025.097

NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT ĐIỆN HÓA CỦA CARBON HOẠT TÍNH TỪ VỎ SẦU RIÊNG ỨNG DỤNG TRONG SIÊU TỤ ĐIỆN HÓA

Nguyễn Quốc Thịnh¹, Phạm Thanh Liêm^{2*}, Hồ Sỹ Thắng¹ và Trần Văn Mẫn^{2,3}

¹Khoa Sư phạm Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Đồng Tháp, Việt Nam

²Phòng thí nghiệm Hóa Lý Ứng dụng, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): ptliem@hcmus.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 26/09/2024

Sửa bài (Revised): 19/10/2024

Duyệt đăng (Accepted): 09/01/2025

Title: Study of electrochemical properties of activated carbon from durian shell for supercapacitor applications

Author(s): Nguyen Quoc Thinh¹, Pham Thanh Liem^{2*}, Ho Sy Thang¹ and Tran Van Man^{2,3}

Affiliation(s): ¹Faculty of Natural Sciences Teacher Education, Dong Thap University, Viet Nam; ²Applied Physical Chemistry Laboratory, University of Science, VNUHCM, Viet Nam; ³Faculty of Chemistry, University of Science, VNUHCM, Viet Nam

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu, than hoạt tính được tổng hợp thành công từ vỏ sầu riềng bằng phương pháp nung pha rắn và hoạt hóa bề mặt bằng KOH. Phân tích cấu trúc bằng phương pháp nhiễu xạ tia X cho thấy các mẫu than xuất hiện đỉnh nhiễu xạ rộng giữa 20° và 27°, tập trung ở 23° và một đỉnh ở 43° của carbon vô định hình. Bề mặt vật liệu than hoạt tính hình thành nhiều lỗ rỗng và xốp. Diện tích bề mặt riêng của vật liệu SR400 HH, SR500 HH và SR600 HH lần lượt là 1034, 1591 và 1576 m²/g. Các mẫu than hoạt tính được sử dụng làm vật liệu điện cực cho siêu tụ điện đối xứng. Tính chất điện hóa của điện cực được nghiên cứu bằng phương pháp quét thế vòng tuần hoàn. Kết quả cho thấy điện cực SR500 HH có điện dung riêng cao nhất với 70 F/g ở tốc độ quét 5 mV/s. Phương pháp phóng nạp dòng cố định vật liệu SR500 HH hoạt động ổn định trong 1000 chu kỳ phóng nạp, duy trì 86% điện dung.

Từ khóa: Carbon sinh khối, siêu tụ điện, than hoạt tính, vỏ sầu riềng

ABSTRACT

In this study, activated carbon materials are successfully synthesized by calcinating durian shells with KOH as an activator. The structure and morphology of activated carbon were investigated by X-ray diffraction (XRD), Scanning electron microscopy (SEM) and isotherm nitrogen N₂ adsorption-desorption isotherm. The XRD patterns of AC showed a broad peak between 20° and 27°, centered at 23°, with an additional peak around 43° ascribed to the amorphous carbon. SEM images showed the material surface forming many pores, and the specific surface area of the SR400 HH, SR500HH and SR600 HH materials were 1034, 1591 and 1576 m²/g, respectively. Subsequently, the activated carbon was used as electrode active material in supercapacitors. The performance of the electrode was analyzed by Cyclic Voltammetry (CV), which showed that the SR500 HH electrode had the highest specific capacitance with 70 F/g at 5 mV/s. Additionally, the SR500 HH electrodes maintained 86% of their capacitance after 1000 cycles by the Galvanostatic charge discharge (GCD) method.

Keywords: Activated carbon, biochar, durian shell, supercapacitor

1. GIỚI THIỆU

Siêu tụ điện hóa là một trong các thiết bị lưu trữ năng lượng với nhiều ưu điểm như: mật độ công suất lớn ($\geq 10 \text{ kW.kg}^{-1}$), dung lượng riêng lớn (từ vài chục đến vài trăm F/g), khả năng phóng/sạc nhanh, tuổi thọ hoạt động dài. Trong nhiều thập kỷ qua, các vật liệu điện cực được sử dụng trong siêu tụ thường là oxide kim loại, các polymer dẫn điện, các vật liệu nano carbon có diện tích bề mặt lớn. Tuy nhiên, vật liệu nano và polymer dẫn điện có chi phí sản xuất cao dẫn đến các vật liệu này bị hạn chế sử dụng làm điện cực trong siêu tụ điện (Teo et al., 2016; Hasbullah & Noor, 2022). Hiện nay, than hoạt tính (Activated carbon, AC) là vật liệu được sử dụng rộng rãi cho siêu tụ điện, do chi phí thấp, diện tích bề mặt riêng cao có thể lưu trữ lượng lớn điện năng.

AC được sản xuất từ nhiều nguồn nguyên liệu khác nhau như than đá, sản phẩm dầu mỏ. Tuy nhiên, việc sử dụng các nguồn nguyên liệu này để tổng hợp vật liệu bị hạn chế do quy trình tổng hợp có chi phí cao, phức tạp. Gần đây, nhiều nghiên cứu hướng đến việc sử dụng hiệu quả nguồn nguyên liệu sinh khối để tổng hợp AC góp phần giảm ô nhiễm môi trường và chi phí. Một số nguồn nguyên liệu sinh khối (biomass) nông lâm nghiệp như: vỏ trấu, vỏ hạt cà phê, xơ dừa, mùn cưa, bụi bông, vỏ hạt dầu cọ, tre, lõi ngô, vỏ xoài, gáo dừa, vỏ sấu riêngg,... (Saini & Joshi, 2021).

Tại Việt Nam, đặc biệt tại Tây Nguyên và Miền Tây Nam Bộ, sấu riêngg đang được phát triển mạnh nhằm phục vụ nhu cầu trong nước và xuất khẩu. Do đó, vỏ sấu riêngg trở thành một phụ phẩm nông nghiệp khi loại quả này được sử dụng tươi và khi chế biến sản phẩm sấu riêngg đông lạnh xuất khẩu. Thành phần vỏ sấu riêngg bao gồm một số hợp chất chính là lignin (13,6%), hemicellulose (22%), cellulose (57,4%) (Hasbullah & Noor, 2022; Taer et al., 2018). Hàm lượng cellulose và lignin cao cho thấy vỏ sấu riêngg có thể tổng hợp AC làm vật liệu điện cực siêu tụ điện (Taer et al., 2018). Quá trình tổng hợp AC thường được thực hiện theo hai bước là (i) carbon hóa ở nhiệt độ khoảng $400 - 700^\circ\text{C}$ để chuyển đổi sinh khối thành cấu trúc carbon và (ii) hoạt hóa bề mặt bằng phương pháp hóa học hoặc vật lý để tạo thành cấu trúc lỗ xốp trong mạng lưới carbon giúp tăng diện tích bề mặt (Ukkakimapan et al., 2020).

Wang et al. (2020) đã tổng hợp AC từ vỏ sấu riêngg bằng phương pháp thủy nhiệt trong dung môi $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_3\text{PO}_4$ và pha tạp N, O và P từ tiền chất $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ vào trong lỗ xốp của carbon. Kết quả

diện tích bề mặt riêngg đạt $924,7 \text{ m}^2/\text{g}$ và điện dung riêngg đạt 184 F/g . Ukkakimapan et al. (2020) sử dụng H_2SO_4 và NaOH làm chất hoạt hóa bề mặt vỏ sấu riêngg, cho diện tích bề mặt riêngg lớn $2578 \text{ m}^2/\text{g}$ và điện dung riêngg là 145 F/g . Bên cạnh đó, AC còn được hoạt hóa bằng KOH cho điện dung riêngg 48 F/g (Hasbullah & Noor, 2022).

Trong bài nghiên cứu này, AC được tổng hợp từ vỏ sấu riêngg có nguồn gốc Bến Tre thông qua hai giai đoạn. Giai đoạn đầu tiên là quá trình carbon hóa vỏ sấu riêngg và giai đoạn 2 là hoạt hóa bề mặt bằng KOH tỷ lệ 1:2 theo khối lượng. Cả hai giai đoạn được nung trong môi trường khí Ar. Cấu trúc và hình thái của AC được khảo sát bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (X-ray diffraction, XRD), hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscopy, SEM) và diện tích bề mặt riêngg được nghiên cứu bằng phương pháp hấp phụ và giải hấp khí N_2 . Tính chất điện hóa của AC được ứng dụng trong siêu tụ điện được nghiên cứu bằng phương pháp quét thế vòng tuần hoàn (Cyclic Voltammetry, CV) và phóng sác dòng cố định (Galvanostatic charge discharge, GCD).

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết bị, hóa chất

Phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) sử dụng phân tích cấu trúc vật liệu AC được thực hiện trên máy Bruker D8 – Advanced. Phép đo sử dụng bước sóng $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=0,15418 \text{ nm}$), góc quét 2θ từ 10° đến 80° , độ phân giải $0,020^\circ$ và thời gian đo là $0,25$ giây.

Hình thái của AC được khảo sát bằng phương pháp hiển vi điện tử quét trên thiết bị Jeol JSM-IT 200.

Diện tích bề mặt riêngg được nghiên cứu bằng phương pháp hấp phụ và giải hấp phụ khí N_2 .

Quét thế vòng tuần hoàn (CV) được thực hiện ở nhiều tốc độ quét khác nhau 5, 10, 20, 40, 60, 80 và 100 mV/s trong vùng thế từ 0 V đến 1,0 V. Phương pháp phóng sác dòng cố định (GCD) được thực hiện trong vùng thế 0 V – 1,0 V, tốc độ dòng $0,5 \text{ A/g}$. Hai phương pháp này được thực hiện trên thiết bị Biologic VSP-3 và trong chất điện ly Na_2SO_4 1,0 M.

Hóa chất sử dụng trong nghiên cứu gồm: KOH (Sigma – Aldrich), Na_2SO_4 (Sigma – Aldrich), N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) (99,7%, Fisher), Poly(vinylidene fluoride) (PVdF) (Sigma – Aldrich), C65 (MTI).

2.2. Quy trình tổng hợp vật liệu AC

Vỏ sấu riêngg được sấy khô và nghiền mịn thành bột, sau đó được nung ở các nhiệt độ khác nhau 400,

500 và 600 °C trong 1 giờ và môi trường khí Ar. Các mẫu than được phối trộn với KOH (tỷ lệ 1:2 theo khối lượng) và nung ở 800 °C 1 giờ và trong khí trơ Ar. Mẫu sau khi nung được rửa nhiều lần với nước cất đến pH = 7, sấy thường và sấy chân không ở 80 °C thu sản phẩm. Các mẫu sản phẩm được ký hiệu như trong Bảng 1.

Bảng 1. Ký hiệu mẫu theo điều kiện nung

Giai đoạn 1		Giai đoạn 2	
Ký hiệu mẫu	Nhiệt độ nung (°C)	Ký hiệu mẫu	Nhiệt độ nung (°C)
SR400	400	SR400 HH	800
SR500	500	SR500 HH	
SR600	600	SR600 HH	

2.3. Quy trình tạo màng điện cực và lắp tụ điện

Vật liệu AC được phối trộn trong máy trộn Thinky với carbon dẫn C65, chất kết dính PVdF pha trong dung môi NMP nồng độ 10% theo tỷ lệ khối lượng 80:10:10. Dạng keo sệt thu được sẽ được đem đi phủ lên màng nickel (Ni) bằng kỹ thuật Doctor-blade và sấy trong môi trường chân không ở 80°C trong 12 giờ tạo thành màng điện cực.

Tụ điện được lắp dạng đối xứng bằng mô hình Swagelok với 2 điện cực hình tròn đường kính 12,7 mm được ngăn cách bởi màng Whatman và dung dịch điện ly được sử dụng là Na₂SO₄ 1,0 M.

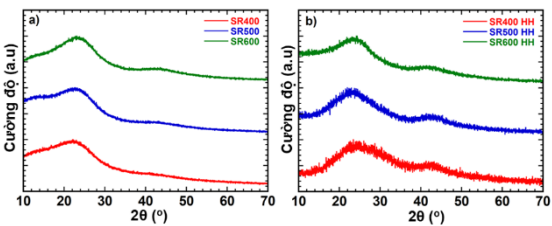
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích cấu trúc và hình thái của các mẫu AC

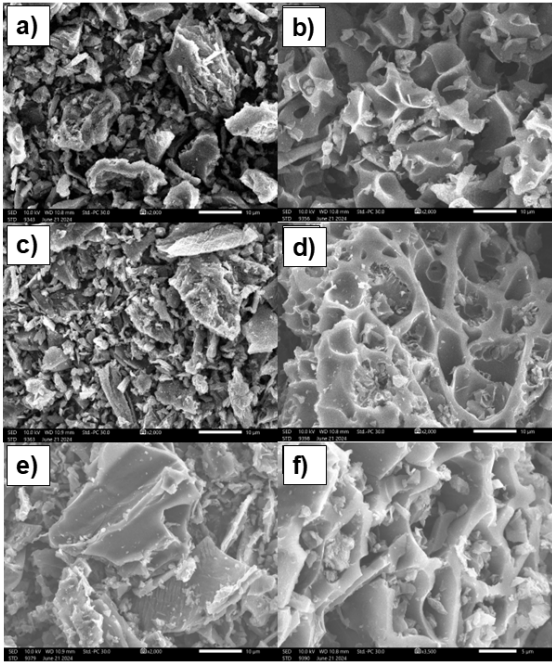
Kết quả nhiễu xạ tia X của mẫu carbon từ vỏ sấu riêng nung giai đoạn 1 và 2 được thể hiện trong Hình 1. Cả hai giai đoạn nung các mẫu carbon đều có đỉnh nhiễu xạ rộng từ 20° đến 27° và vị trí trung tâm ở 23° đặc trưng cho carbon vô định hình. Đối với mẫu SR600, giai đoạn 1 xuất hiện thêm đỉnh nhiễu xạ ở vị trí 43° đặc trưng cho carbon vô định hình. Kết quả này cho thấy khi tăng nhiệt độ nung lên 600°C carbon vô định được hình thành nhiều hơn so với 400 và 500°C. Ở giai đoạn 2, sau khi phối trộn KOH và nung ở nhiệt độ 800°C mẫu thì cả ba mẫu carbon đều có tính hiệu carbon vô định hình ở 23° và 43° và cả hai mẫu đều không xuất hiện thêm đỉnh nhiễu xạ của tạp chất khác, vật liệu carbon hoạt tính được tổng hợp thành công và đơn pha.

Hình thái của carbon hoạt tính từ vỏ sấu riêng nung ở giai đoạn 1 và giai đoạn 2 được thể hiện trong Hình 2. Mẫu carbon nung giai đoạn 1 của các nhiệt độ nung 400, 500 và 600 °C có bề mặt phẳng và các hạt có kích thước khác nhau. Quá trình xử lý bằng

KOH của ba mẫu giúp bề mặt vật liệu xuất hiện nhiều lỗ xốp với kích thước khoảng 400 – 600 nm. Ngoài ra, tính chất bề mặt của vật liệu được thể hiện qua diện tích bề mặt riêng. Các giá trị diện tích bề mặt riêng được tính bằng phương pháp Brunauer – Emmett – Teller (BET) và thể hiện trong Bảng 2. Kết quả cho thấy mẫu được nung ở giai đoạn 1 có diện tích bề mặt riêng nhỏ và sau khi được hoạt hóa bằng KOH diện tích bề mặt riêng tăng lên đáng kể.

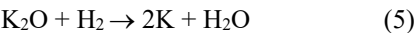
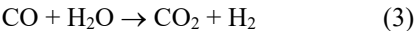
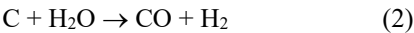
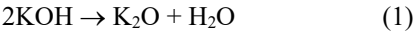


Hình 1. Giảm đồ XRD của các mẫu vật liệu a) nung giai đoạn 1, b) nung giai đoạn 2



Hình 2. Ảnh SEM các mẫu nung ở giai đoạn 1 và giai đoạn 2 sau hoạt hoá a) SR400, b) SR400 HH, c) SR500, d) SR500HH, e) SR600 và f) SR600 HH

Có thể giải thích sự hoạt hoá carbon bằng KOH giúp tăng diện tích bề mặt riêng của vật liệu là do KOH phản ứng theo pha rắn – rắn và tiếp theo là phản ứng rắn – lỏng. Điều này được mô tả qua các phương trình phản ứng dưới đây:



Bảng 2. Diện tích riêng bề mặt của các mẫu carbon từ vỏ sầu riêng

Ký hiệu mẫu	S_{BET} ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$)
SR400	3,77
SR500	42,9
SR600	48,6
SR400 HH	1034
SR500 HH	1591
SR600 HH	1576

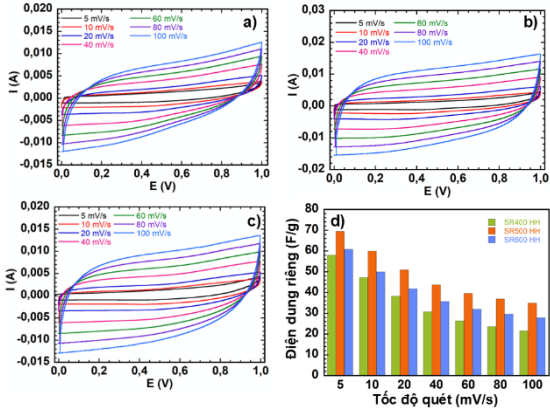
Ở nhiệt độ khoảng 400°C, KOH phân hủy thành K₂O và nước thể hiện ở phản ứng (1), carbon trong vỏ sầu riêng sau đó phản ứng giải phóng CO và H₂ ở phản ứng (2). Khí CO tiếp tục phản ứng với nước để tạo ra lượng lớn khí H₂ như phản ứng (2). K₂CO₃ được hình thành từ phản ứng (4) giữa CO₂ và K₂O khi nhiệt độ tăng lên 800 °C, K₂O bị khử bởi khí H₂ và carbon tạo ra kim loại K ở phản ứng (5) (6). Có giả thiết cho rằng K được tạo ra thúc đẩy quá trình hoạt hóa và xâm nhập vào các lớp carbon. Phản ứng hoạt hóa được tiến hành trong lò nung khí trơ sau đó hỗn hợp được xử lý nước cất giúp loại bỏ các tạp chất, tạo thành cấu trúc lỗ xốp với diện tích bề mặt riêng lớn (Jin et al., 2021).

3.2. Phân tích quét thế vòng tuần hoàn

Đường cong quét thế vòng tuần hoàn với các tốc độ quét khác nhau được thể hiện trong Hình 3. Ở các tốc độ quét, quét đường cong CV có dạng chiếc lá đối xứng và không có các đỉnh oxy hóa khử, từ đó cho thấy có sự xuất hiện của lớp điện dung lớp kép và có sự diễn ra quá trình non-Faraday và điện trở thấp giữa điện cực và chất điện ly Na₂SO₄ (Silva et al., 2015). Khi tăng tốc độ quét, diện tích đường cong CV giảm dần dẫn đến điện dung của các mẫu vật liệu giảm khi tốc độ quét tăng. Giá trị điện dung riêng được tính từ đường cong CV được xác định dựa vào phương trình (1).

$$C = \frac{S}{2 \times v \times m \times \Delta E}$$
 (1)

Trong đó: *S* là diện tích hình học của đường cong CV, *v* là tốc độ quét thế (V/s), *m* là khối lượng vật liệu hoạt điện (g) và ΔE là khoảng quét thế (V).



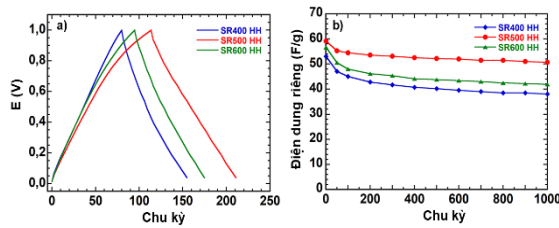
Hình 3. Đường cong quét thế vòng tuần hoàn a) SR400 HH, b) SR500 HH, c) SR600 HH và d) điện dung ở các tốc độ quét khác nhau

Cụ thể, ở tốc độ quét chậm 5 mV/s điện dung của các mẫu SR400 HH, SR500 HH và SR600 HH lần lượt là 58 F/g, 70 F/g và 61 F/g. Khi tăng tốc độ quét lên đến 100 mV/s, điện dung của ba mẫu là 22 F/g (SR400 HH), 35 F/g (SR500 HH) và 28 F/g (SR600 HH). Diện tích riêng của vật liệu cho thấy ảnh hưởng đến sự cho nhận điện tích tụ điện. SR400 HH là vật liệu có diện tích bề mặt riêng nhỏ nhất cho điện dung nhỏ hơn hai mẫu SR500 HH và SR600 HH. Mẫu SR500 HH có diện tích lớn hơn so với SR600 HH nên điện dung cũng lớn hơn, được thể hiện trong Hình 3.d. Kết quả cho thấy nhiệt độ ở giai đoạn 1 tối ưu là 500°C. Kết quả này tương tự với nghiên cứu Thazin et al. (2022) ở nhiệt độ 500°C, vật liệu được tạo thành các lỗ xốp có kích thước trung bình làm tăng tốc độ vận chuyển điện tích trên bề mặt, do đó tụ điện có điện dung cao hơn. Khi tăng nhiệt độ lên 600°C một số hợp chất hữu cơ dễ bay hơi trong vỏ sầu riêng xảy ra hiện tượng thiêu kết dẫn đến một số lỗ xốp của carbon bị đóng lại làm diện tích bề mặt riêng giảm đi (Chandra et al, 2009).

3.3. Phân tích phóng xạ dòng cố định

Các đường cong phóng và sạc điện của ba mẫu vật liệu có dạng hình tam giác, thời gian phóng sạc của mẫu SR500 HH lớn hơn so với SR600 HH và SR400 HH cho thấy SR500 HH có khả năng hoạt động và độ bền điện hóa cao hơn so với hai mẫu còn lại và phù hợp với kết quả CV ở trên. Kết quả hình 4b cho thấy điện dung của mẫu SR400 HH đạt được ở chu kỳ đầu là 53 F/g và sau 1000 chu kỳ điện dung còn lại 38 F/g. Đối với mẫu SR500 HH có điện dung là 59 F/g ở chu kỳ 1 và điện dung duy trì 86% sau 1000 chu kỳ (51 F/g). Mẫu SR600 HH có điện dung ở chu kỳ đầu là 56 F/g sau khi phóng sạc 1000 chu kỳ điện dung đạt được 42 F/g. Trong ba mẫu vật liệu được tổng hợp thì vật liệu SR500 HH có khả năng

hoạt động điện hóa tốt hơn so với các mẫu còn lại và có điện dung cao hơn nghiên cứu của Hasbullah and Noor (2022) đã tổng hợp carbon từ vỏ sầu riêng cho điện dung là 48 F/g.



Hình 4. a) Đường cong phóng sạc và b) điện dung của ba mẫu SR400 HH, SR500 HH và SR600 HH

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Hasbullah, M. F. I., & Noor, M. N. (2022). Studies on Durian Peel Biomass Derived Activated Carbon for Energy Storage Application. *Int. J. Electroactive Mater*, 10, 68-77.
- Teo, E. Y. L., Muniandy, L., Ng, E. P., Adam, F., Mohamed, A. R., Jose, R., & Chong, K. F. (2016). High surface area activated carbon from rice husk as a high performance supercapacitor electrode. *Electrochimica Acta*, 192, 110-119. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.01.140>
- Saini, S., Chand, P., & Joshi, A. (2021). Biomass derived carbon for supercapacitor applications. *Journal of Energy Storage*, 39, 102646. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102646>
- Ukkakimapan, P., Sattayarut, V., Wanchaem, T., Yordsri, V., Phonyiem, M., Ichikawa, S., Obata, M., Fujishige, M., Takeuchi, K., Wongwiriyan, W., & Endo, M. (2020). Preparation of activated carbon via acidic dehydration of durian husk for supercapacitor applications. *Diamond and Related Materials*, 107, 107906. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2020.107906>
- Taer, E., Kurniawan, P., Taslim, R., Agustino, A., & Afrianda, A. (2018). Carbon electrode based on durian shell: effects concentration of chemical activator agent (Potassium hydroxide). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1120, No. 1, p. 012094). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1120/1/012094>
- Wang, K., Zhang, Z., Sun, Q., Wang, P., & Li, Y. (2020). Durian shell-derived N, O, P-doped activated porous carbon materials and their electrochemical performance in supercapacitor. *Journal of Materials Science*, 55(23), 10142-10154. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04740-1>
- Jin, C., Nai, J., Sheng, O., Yuan, H., Zhang, W., Tao, X., & Lou, X. W. D. (2021). Biomass-based materials for green lithium secondary batteries. *Energy & Environmental Science*, 14(3), 1326-1379. <https://doi.org/10.1039/D0EE02848G>
- Silva, R. M., Bastos, A. C., Oliveira, F. J., Conte, D. E., Fan, Y., Pinna, N., & Silva, R. F. (2015). Catalyst-free growth of carbon nanotube arrays directly on Inconel® substrates for electrochemical carbon-based electrodes. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(34), 17804-17810. <https://doi.org/10.1039/C5TA03734D>
- Thazin, M., Chaiammart, N., Thu, M., & Panomsuwan, G. (2022). Effect of pre-carbonization temperature on the porous structure and electrochemical properties of activated carbon fibers derived from kapok for supercapacitor applications. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 32(1), 55-64. <https://doi.org/10.55713/jmmm.v32i1.1247>
- Chandra, C., Mirna, M., Sunarso, J., Sudaryanto, Y., & Ismadji, S. (2009). Activated carbon from durian shell: Preparation and characterization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 40(4), 457-462. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2008.10.002>

4. KẾT LUẬN

Carbon hoạt tính từ vỏ sầu riêng được tổng hợp thành công bằng phương pháp nung pha rắn và hoạt hóa bề mặt bằng KOH. Kết quả cho thấy vật liệu là carbon vô định hình, bề mặt xốp, tại điều kiện nung 500°C (SR500 HH) cho điện tích bề mặt riêng lớn 1591 m²/g. Vật liệu carbon hoạt tính được sử dụng làm điện cực của tụ điện đối xứng cho điện dung cao. Mẫu carbon hoạt tính SR500 HH có điện dung cao nhất 59 F/g có khả năng duy trì điện dung là 86% sau 1000 chu kỳ phóng sạc.