

Penghasilan bahan penjerap karbon teraktif daripada sisa padi

(The production of activated carbon adsorbent from paddy waste)

Mohamad Jani Saad

Kata kunci: sisa padi, bahan penjerap, karbon teraktif, sekam, jerami

Pengenalan

Karbon teraktif (AC) (*Gambar 1*) merupakan bahan penjerap yang dihasilkan melalui proses karbonisasi dan pengaktifan pada suhu masing-masing 500 °C dan 1,000 °C di dalam relau tertutup yang mempunyai luas permukaan tinggi (hingga 3,000 m²/g), liang mikro (20 – 500 Å), kemampuan menjerap yang sangat baik dan darjah reaktiviti permukaan yang tinggi. AC juga berupaya menjerap pewarna, logam berat, hidrokarbon petroleum, farmaseutikal, racun perosak, gas CO₂ dan organik lain. AC digunakan secara meluas dalam industri rawatan air, farmasi dan perubatan.

Walaupun AC yang dihasilkan daripada karbon batu adalah bahan penjerap yang paling sering digunakan, kos yang mahal dan sumber yang semakin berkurangan menjadi kekangan utama. Justeru, pencarian sumber alternatif yang lestari adalah kritikal bagi menggantikan kebergantungan terhadap sumber karbon batu. Lambakan sisa pertanian yang mempunyai kandungan polimer asli seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin boleh dijadikan sumber alternatif bahan penjerap mesra alam yang murah dengan pengubahsuaian sifat-sifat tertentu. Penyelidikan untuk menghasilkan AC daripada sisa pertanian disebabkan oleh bahan ini mempunyai kandungan karbon yang tinggi, bahan bukan organik dan kandungan abu yang rendah serta kos sumber bahan mentah yang lebih murah berbanding dengan karbon batu.



Gambar 1. Karbon teraktif (AC)

Di Malaysia, tanaman padi merupakan aktiviti pertanian kedua terbesar yang menghasilkan bahan sampingan selepas industri kelapa sawit. Berdasarkan statistik tahun 2023, keluasan penanaman padi ialah 614,082 hektar dengan rekod pengeluaran yang menunjukkan pertumbuhan positif daripada 2,138,788 tan pada tahun 1994

kepada 2,175,749 tan pada tahun 2023. Sekam menghasilkan sejumlah 45 – 50% daripada jumlah penghasilan padi, manakala selebihnya terdiri daripada jerami. Jerami (*Gambar 2*) dan sekam padi (*Gambar 3*) merupakan bahan lignoselulosa yang kaya dengan kandungan kimia organik dan tidak organik seperti dalam *Jadual 1*. Kedua-dua bahan ini merupakan hasil daripada aktiviti pemprosesan padi sama ada di sawah atau di kilang padi.



Gambar 2. Jerami padi



Gambar 3. Sekam padi

Jadual 1. Kandungan kimia (%) jerami dan sekam padi

Jenis	Hemiselulosa	Selulosa	Lignin	Bahan ekstraktif	Silika	Karbon
Jerami	35.7	32.0	22.3	10.0	36.14	63.86
Sekam	28.6	28.6	24.4	18.4	51.70	48.30

Penyediaan sampel

Sekam dan jerami yang diperoleh daripada pembekal luar dibasuh dengan air untuk membuang kotoran seperti tanah dan pasir. Kedua-dua sampel dikeringkan di bawah sinar matahari sebelum dikeringkan sepenuhnya di dalam ketuhar pada suhu 105 °C selama semalaman. Seterusnya, jerami dipotong pada saiz 1 – 3 cm menggunakan mesin pemotong.

Karbonisasi

Proses karbonisasi jerami dan sekam padi dilakukan untuk menghasilkan bahan karbon. Proses ini dijalankan di dalam kebuk karbonisasi (*Gambar 4*) tanpa kehadiran oksigen pada julat suhu 300 – 400 °C selama 3 – 4 jam. Karbon sekam dan jerami (arang) yang terhasil ditapis menggunakan penapis bersaiz 60 mesh (0.25 mm atau 250 µm).

Impregnasi agen pengaktifan

Karbon yang terhasil direndam dalam larutan kalium hidroksida (KOH) dengan nisbah 1 : 4 (w/v) (karbon : agen pengaktifan) selama 24 jam. Kepekatan larutan KOH yang digunakan ialah 1 M, 5 M, 9 M dan 13 M. Selepas 24 jam, sampel ditapis dan dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 105 °C semalaman. Prosedur yang sama diulang bagi proses impregnasi dengan natrium hidroksida (NaOH).



Gambar 4. Kebuk karbonisasi

Pengaktifan kimia

Sampel yang telah diimpregnasi ditimbang berat sebelum proses pengaktifan kimia. Aktiviti pembakaran pada suhu 650 °C, 750 °C dan 850 °C selama 120 minit dilakukan dalam relau tiub (Gambar 5) dengan kehadiran gas nitrogen (100 mL per minit). Setelah selesai, sampel dibiarkan sejuk sebelum dibilas dengan air suling dan larutan 1.0 M asid hidroklorik (HCl) sehingga mencapai pH 6 – 7. Seterusnya, sampel dikeringkan semalaman dalam ketuhar pada suhu 105 °C. *Jadual 2* merupakan ringkasan nama sampel berdasarkan perbezaan bahan mentah, agen pengaktifan, suhu pengaktifan dan kepekatan agen pengaktifan yang diguna.

Analisis luas permukaan

Analisis luas permukaan ke atas sampel karbon teraktif berupaya menghasilkan nilai yang diperlukan bagi memberi petunjuk kekuatan penjerapannya dengan menggunakan alat Micromeritics ASAP 2010. Kaedah Brunauer-Emmett Teller (BET) diguna pakai bagi mengira luas permukaan spesifik sampel daripada isoterma. Semua sampel dinyah gas pada 110 °C selama 10 jam sebelum analisis dijalankan. Permukaan aktif karbon diukur daripada isoterma penjerapan gas nitrogen dengan menggunakan alat penganalisis permukaan Brunauer-Emmett Teller (BET). Kaedah ini memberikan nilai luas permukaan, isi padu dan sifat-sifat porositi bagi permukaan karbon teraktif.



Gambar 5. Relau tiub

Jadual 2. Ringkasan nama sampel

Ringkasan	Penerangan
AC	Karbon teraktif
RS	Jerami
RSC	Karbon jerami
RSAC	Karbon teraktif jerami
RSACK	Karbon teraktif jerami – KOH
RSACNa	Karbon teraktif jerami – NaOH
RSACK813	Karbon teraktif jerami – Suhu 850 °C, 13 M KOH
RSACK613	Karbon teraktif jerami – Suhu 650 °C, 13 M KOH
RSACK89	Karbon teraktif jerami – Suhu 850 °C, 9 M KOH
RH	Sekam
RHC	Karbon sekam
RHAC	Karbon teraktif sekam
RHACK	Karbon teraktif sekam – KOH
RHACNa	Karbon teraktif sekam – NaOH
RHACNa79	Karbon teraktif sekam – Suhu 750 °C, 9 M NaOH
RHACNa85	Karbon teraktif sekam – Suhu 850 °C, 5 M NaOH

Analisis kandungan bahan

Analisis kandungan abu telah dilakukan melalui analisis proksimat dan sinar-X tenaga serakan (EDX) telah dijalankan menggunakan instrumen ZEISS, FESEM SUPRA 55VP. Analisis proksimat meliputi ujian kandungan abu, bahan meruap dan karbon tetap. Analisis sinar-X tenaga serakan (EDX) adalah untuk menentukan peratus kandungan unsur seperti karbon, oksigen, silikon, nitrogen dan sulfur di dalam sampel.

Analisis mikroskopi elektron imbasan

Mikroskopi elektron imbasan (SEM) berjenama FEI model Quanta 400 digunakan untuk merakam gambar permukaan sampel AC dan bukan AC. Analisis ini membantu membuktikan sama ada proses pengaktifan berjaya dengan melihat pembentukan porositi pada sampel.

Sifat-sifat fizikal dan kimia karbon teraktif

Jadual 3 menunjukkan nilai luas permukaan sampel RSACK89 dan RSACNa813 yang dihasilkan menggunakan agen pengaktifan berbeza iaitu masing-masing sebanyak 2005.9 m²/g dan 332.81 m²/g. Manakala RHACK813 dan RHACNa813 masing-masing bernilai 1131.73 m²/g dan 429.82 m²/g. Empat sampel ini merupakan antara sampel yang tinggi nilai luas permukaan bagi kumpulan masing-masing. Keputusan ini mungkin didorong oleh kesan pemanasan dalaman dan pembukaan liang-liang yang lebih efisien. Peningkatan luas permukaan mungkin disebabkan oleh pelepasan komponen meruap semasa proses pengaktifan. KOH sebagai agen pengaktifan bertindak balas dengan pusat reaktif bahan berkarbon yang menghasilkan liang baharu dan melebarkan liang yang sedia ada. Kesan ini menjadi lebih ketara

dengan bertambahnya kehadiran KOH. Jumlah isi padu liang AC telah meningkat dengan peningkatan suhu pengaktifan. Sebagai contoh, isi padu liang meningkat daripada 0.32 cm³/g bagi sampel RSACK89 ke 1.07 cm³/g bagi RSACK89. Peningkatan luas permukaan inilah yang menyumbang kepada peningkatan isi padu liang.

Nilai luas permukaan RSACK89 ialah 2005.9 m²/g berbanding dengan RSACNa813 yang hanya mencapai 332.81 m²/g. Didapati KOH bertindak sebagai agen pengaktifan yang lebih baik berbanding dengan NaOH. Penggunaannya menyebabkan pembentukan liang serta isi padu liang dan seterusnya menghasilkan karbon porous dengan luas permukaan yang lebih tinggi. Pola keputusan yang sama ditunjukkan oleh sampel RH, iaitu RHACK813 dan RHACNa813. Peningkatan keliangan disebabkan KOH mempunyai kation alkali yang lebih berbanding dengan NaOH. Oleh itu, KOH lebih banyak bertindak balas dengan karbon bagi menghasilkan liang-liang.

Jadual 3. Nilai luas permukaan, isi padu dan saiz liang sampel AC

Jenis sampel	Luas permukaan liang (m ² /g)	Isi padu liang (cm ³ /g)	Purata saiz liang (nm)
RSC	1.16	0.0028	9.72
RSACK613	520.29	0.32	2.50
RSACK713	928.07	0.57	2.48
RSACK813	1048.30	0.64	2.46
RSACK81	71.62	0.062	3.44
RSACK85	1003.20	0.56	2.21
RSACK89	2005.90	1.07	2.13
RSACNa613	78.00	0.032	1.99
RSACNa713	99.55	0.031	1.77
RSACNa813	332.81	0.23	2.82
RSACNa81	227.49	0.19	3.33
RSACNa85	84.30	0.092	4.35
RSACNa89	101.40	0.013	3.70
RHC	0.23	0.0026	4.42
RHACK613	526.75	0.41	3.09
RHACK713	861.94	0.60	2.76
RHACK813	1131.73	0.76	2.67
RHACK85	618.99	0.40	2.61
RHACK89	969.48	0.65	2.67
RHACNa713	121.39	0.13	4.19
RHACNa813	429.82	0.29	2.69
RHACNa85	126.62	0.17	5.22
RHACNa89	403.29	0.31	3.03

Jadual 4 menunjukkan hasil analisis proksimat. Keputusan ini menunjukkan bahawa proses karbonisasi telah meningkatkan nilai karbon tetap bagi AC dan mengurangkan kandungan bahan meruap. Kajian mendapati bahawa kandungan abu RSC adalah lebih tinggi selepas proses karbonisasi berbanding dengan RS kerana abu bukannya bahan meruap yang kekal dalam struktur sampel manakala bahan meruap akan berkurang semasa proses tersebut. Nilai karbon tetap RSC meningkat lima kali ganda setelah proses karbonisasi. Sebaliknya, nilai kandungan abu dan bahan meruap bagi AC berkurang yang berkemungkinan disebabkan oleh kesan degradasi oleh agen pengaktifan semasa proses pengaktifan. Kandungan abu RSC dan RHC yang tinggi berbanding dengan AC menghasilkan nilai luas permukaannya yang rendah seperti dalam *Jadual 4*.

Jadual 5 adalah keputusan analisis EDX. Keputusan menunjukkan peningkatan nilai karbon (C) selepas proses pengaktifan. Pada masa yang sama, nilai oksigen (O) dan silika (Si) didapati mengalami penurunan. Kebanyakan AC mempunyai lebih karbon berbanding dengan RSC dan RHC. Pengaktifan kimia KOH dan NaOH meningkatkan perubahan kimia bahan yang menyumbang kepada kandungan karbon yang tinggi serta nilai nitrogen (N), silika (Si) dan sulfur (S) yang rendah. AC dibentuk dengan lebih baik selepas reaksi oksigen KOH yang membantu membuka sambung-silang dan menstabilkan atom karbon di dalam hablur serta menurunkan komposisi berat elemen seperti Si dan S. Penyingkiran spesies hidrokarbon semasa tindak balas pengaktifan kimia telah meningkatkan kandungan karbon. Peratus kandungan karbon yang meningkat selepas proses karbonisasi dan pengaktifan kimia serta pembentukan lebih kumpulan berfungsi pada permukaannya akan mewujudkan lebih kawasan aktif yang efisien semasa proses penjerapan larutan.

Jadual 4. Kandungan abu, bahan meruap dan karbon tetap sampel karbon teraktif dan tidak teraktif

Jenis sampel	Kandungan abu (%)	Bahan meruap (%)	Karbon tetap (%)
RS	16.92 ± 0.057	66.18 ± 1.95	16.90 ± 2.01
RSC	22.97 ± 0.40	12.10 ± 0.31	64.92 ± 0.096
RSACK	14.76 ± 1.28	11.77 ± 2.23	73.47 ± 0.96
RSACNa	15.87 ± 1.31	11.82 ± 0.55	72.31 ± 1.86
RH	15.34 ± 0.033	63.32 ± 0.72	21.34 ± 0.69
RHC	19.11 ± 1.29	14.06 ± 0.53	66.83 ± 1.82
RHACK	14.84 ± 2.91	10.23 ± 1.11	74.93 ± 1.80
RHACNa	13.90 ± 4.72	7.47 ± 0.0013	78.63 ± 4.72

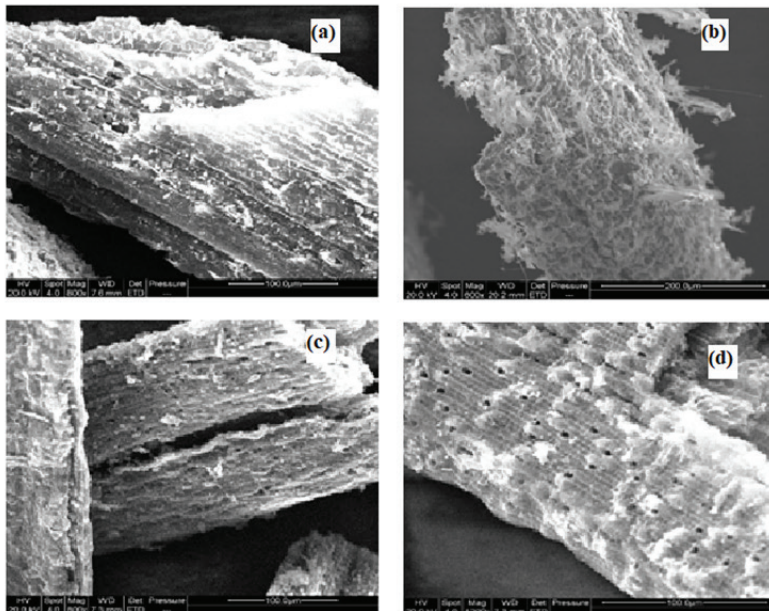
Nilai purata dan sisihan piawai

Jadual 5. Nilai karbon, oksigen, silika, sulfur dan nitrogen bagi sampel karbon teraktif dan tidak teraktif

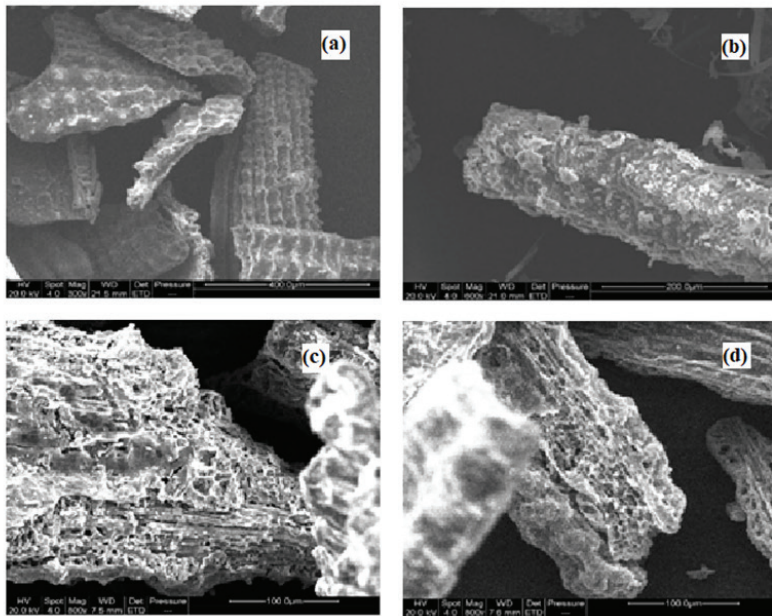
Jenis sampel	C (%)	O (%)	Si (%)	S (%)	N (%)
RSC	48.80 ± 0.27	33.00 ± 1.84	12.80 ± 1.48	1.38 ± 0.91	0.93 ± 0.01
RSACK	80.62 ± 0.49	16.17 ± 1.13	3.14 ± 0.07	1.42 ± 0.07	0.63 ± 0.12
RSACNa	69.98 ± 2.05	10.60 ± 0.14	7.71 ± 3.89	1.32 ± 0.35	0.62 ± 0.13
RHC	47.91 ± 5.92	35.46 ± 3.21	27.63 ± 0.97	0.45 ± 0.02	0.51 ± 0.17
RHACK	89.24 ± 3.11	20.32 ± 1.98	1.37 ± 1.63	0.65 ± 0.35	0.22 ± 0.02
RHACNa	86.20 ± 2.19	8.97 ± 0.92	4.16 ± 0.14	0.21 ± 0.28	0.34 ± 0.03

Nilai purata dan sisihan piawai

Gambar 6 (a) dan 7 (a) menunjukkan mikrograf SEM masing-masing bagi RSC dan RHC yang kelihatan hampir tiada liang pada permukaannya. Kesan kehadiran NaOH dan KOH pada permukaan sampel hasil impregnasi sebelum proses pengaktifan dijalankan ditunjukkan seperti dalam *Gambar 6 (b) dan 7 (b)*. Pembentukan struktur liang-liang hasil daripada pengaktifan NaOH serta KOH ditunjukkan seperti dalam *Gambar 6 (c) dan (d) dan 7 (c) dan (d)*. Pengaktifan kimia berjaya menghasilkan struktur karbon berporos dengan membuka liang-liang pada permukaan AC. Liang-liang yang banyak dihasilkan pada AC yang menyokong nilai luas permukaannya yang besar seperti yang telah dibincangkan sebelum ini.



Gambar 6. Perbandingan permukaan AC: Mikrograf SEM (a) RSC, (b) RSC selepas diimpregnasi NaOH, (c) RSACNa dan (d) RSACK



Gambar 7. Perbandingan permukaan AC: Mikrograf SEM (a) RHC, (b) RHC selepas diimpregnasi KOH, (c) RHACK dan (d) RHACNa

Kesimpulan

Karbon aktif (AC) daripada jerami dan sekam padi telah berjaya dihasilkan menggunakan agen pengaktifan KOH dan NaOH. Kandungan karbon AC didapati meningkat setelah proses pengaktifan kimia dilakukan. Luas permukaan dan isi padu liang AC bertambah selari dengan peningkatan suhu pengaktifan dan kepekatan agen pengaktifan yang digunakan. Didapati penggunaan agen pengaktifan KOH pada kepekatan 9 M dan suhu 850 °C menghasilkan karbon teraktif dengan luas permukaan tertinggi. Mikrograf daripada analisis SEM mengesahkan transformasi permukaan bahan kepada struktur berliang selepas proses pengaktifan, sekali gus membuktikan potensinya sebagai bahan penjerap yang berkesan.

Penghargaan

Penulis merakamkan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada MARDI atas sokongan kewangan dalam kajian ini.

Bibliografi

- BS, (1998). Method of analysis and testing of coal and coke: Proximate analysis section 104. British Standards Institution, London, UK
- Cecen, F., & Aktaş, Ö. (2011). Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment. Weihem Germany: Wiley-VCH.
- Dias, J. M., Alvim-Ferraz, M. C. M., Almeida, M. F., Rivera-Utrilla, J., & Sánchez-Polo, M. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 85(4), 833–846.

- Ghani, Z. A., Yusoff, M. S., Zaman, N. Q., Zamri, M. F. M. A., & Andas, J. (2017). Optimization of preparation conditions for activated carbon from banana pseudo-stem using response surface methodology on removal of color and COD from landfill leachate. *Waste Management*, 62, 177–187.
- Guo, Y., Yu, K., Wang, Z., & Xu, H. (2003). Effects of activation conditions on preparation of porous carbon from rice husk. *Carbon* 41(8): 1645–1648.
- Houshmand, A., Shafeeyan, M. S., Arami-Niya, A., & Daud, W. M. A. W. (2013). Anchoring a halogenated amine on the surface of a microporous activated carbon for carbon dioxide capture. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(5), 774–779.
- Iqbalidin, M. M., Mohd Iqbalidin, M., Khudzir, I., Mohd Azlan, M., Zaidi, A., Surani, B., & Zubri, Z. (2013). Properties of coconut shell activated carbon. *Journal of Tropical Forest Science*, 25(4), 497–503.
- Lillo-Ródenas, M., Cazorla-Amorós, D., & Linares-Solano, A. (2003). Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH. *Carbon*, 41(2), 267–275.
- Mopoung, S., Inkum, S., & Anuwetch, L. (2015). Effect of temperature on micropore of activated carbon from sticky rice straw by H₃PO₄ activation. *Carbon - Science and Technology*, 7(3), 24–29.
- Pandey, B. D., Saima, H. K., & Chattree, A. (2015). Preparation and characterization of activated carbon derived from rice husk by NaOH activation. *International Journal of Mathematics and Physical Sciences Research*, 3(2), 158–164.
- Soltani, N., Bahrami, A., Pech-Canul, M. I., & González, L. A. (2015). Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. *Chemical Engineering Journal*, 264, 899–935.
- Sricharoenchaikul, V., Pechyen, C., Aht-Ong, D., & Atong, D. (2008). Preparation and characterization of activated carbon from the pyrolysis of physic nut (*Jatropha curcas* L.) waste. *Energy and Fuels*, 22(1), 31–37.
- Sricharoenchaikul, V., Pechyen, C., Aht-Ong, D., & Atong, D. (2008). Preparation and characterization of activated carbon from the pyrolysis of physic nut (*Jatropha curcas* L.) waste. *Energy and Fuels*, 22(1), 31–37.
- Yeganeh, M. M., Kaghazchi, T., & Soleimani, M. (2006). Effect of raw materials on properties of activated carbon. *Chem. Eng. Technol.*, 29 (10), 1247–1251.
- Zhang, F., Li, G. D., & Chen, J. S. (2008). Effects of raw material texture and activation manner on surface area of porous carbons derived from biomass resources. *Journal of Colloid and Interface Science*, 327(1), 108–114.
- Zhou, Y., Zhang, L., & Cheng, Z. (2015). Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 212, 739–762.

Ringkasan

Penghasilan karbon teraktif jerami (RSAC) dan karbon teraktif sekam padi (RHAC) telah berjaya dihasilkan melalui proses karbonisasi dan diaktivasi menggunakan kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH). Ciri-ciri kimia dan fizikal karbon teraktif (AC) telah dikaji dan hasil menunjukkan kandungan karbon AC meningkat setelah pengaktifan kimia dilakukan. Luas permukaan dan isi padu liang AC bertambah selari dengan peningkatan suhu, jumlah karbon, kepekatan agen pengaktifan kimia dan jenis agen pengaktifan yang digunakan. Suhu 850 °C, kepekatan 13% dan agen pengaktifan KOH didapati menghasilkan luas permukaan AC tertinggi. Mikrograf daripada analisis SEM mengesahkan pembentukan struktur berliang yang ekstensif, sekali gus membuktikan potensi AC sebagai bahan penyerap yang berkesan. Secara keseluruhan, kajian ini membuktikan bahawa sisa industri mempunyai potensi besar untuk dijadikan karbon aktif yang berkualiti.

Summary

The production of activated carbon from rice straw (RSAC) and rice husk (RHAC) was successfully achieved through a carbonisation process followed by activation using potassium hydroxide (KOH) and sodium hydroxide (NaOH). The chemical and physical characteristics of the activated carbon (AC) were studied and the results showed that the carbon content of AC increased after chemical activation was carried out. The surface area and pore volume of AC increased in line with increases in temperature, carbon amount, concentration of the chemical activating agent and the type of activating agent used. A temperature of 850 °C, a concentration of 13% and the use of KOH as the activating agent were found to produce the highest AC surface area. Micrographs from SEM analysis confirmed the formation of an extensive porous structure, thereby demonstrating the potential of AC as an effective adsorbent material. Overall, this study proves that industrial waste has great potential to be converted into high-quality activated carbon.

Pengarang

Mohamad Jani Saad (Dr.)
Pusat Penyelidikan Kejuruteraan, Ibu Pejabat MARDI,
Persiaran MARDI-UPM, 43400 Serdang, Selangor
E-mel: jani@mardi.gov.my