

Perbandingan Kecekapan Penjerapan Karbon Teraktif Daripada Pelbagai Herba (Adsorption Efficiency Comparison of Activated Carbon Derived from Various Herbs)

J. Jaga Sahsiny^a, Marissa Widya Baba Haizal^a, Nur Ain Nadhirah Mohd Razali^a, Thuushren Ragunathan^a, Siti Rozaimah Sheikh Abdullah^a, Darman Nordin^a & Jarinah Mohd Ali^{a*}

^aJabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

*Corresponding author: jarinah@ukm.edu.my

Received 12 August 2020, Received in revised form 27 October 2020
Accepted 30 November 2020, Available online 30 August 2021

ABSTRAK

Penghasilan karbon teraktif daripada herba telah mendapat perhatian dan minat ramai penyelidik. Hal ini demikian kerana tumbuhan herba mempunyai prestasi yang baik dalam proses penyingkiran dan pemulihan logam berat. Tambahan pula, kosnya yang rendah dan ketersediaannya dengan kuantiti yang banyak menarik minat para penyelidik untuk menghasilkan karbon teraktif daripada herba. Herba adalah alternatif yang lebih murah, berkesan daripada karbon aktif komersial (AC) untuk penyingkiran logam berat dan pewarna tekstil berasaskan air. Terdapat pelbagai jenis tanaman herba yang digunakan dalam ujikaji ini. Antaranya termasuklah daum neem, daun kari, daun moringga dan daun tulasi. Selain itu, bahan penjerap lain yang juga boleh digunakan termasuk sekam padi; sekam kelapa; sisa kulit nangka dan sebagainya. Kaedah yang sering digunakan bagi menghasilkan karbon teraktif daripada herba ialah proses pengaktifan yang terdiri daripada pengaktifan fizikal dan kimia. Kaedah-kaedah ini boleh memberi kesan yang positif mahupun negatif terhadap ciri-ciri dan sifat kimia atau fizikal karbon teraktif yang diperbuat daripada herba. Dalam kajian ini, faktor-faktor yang mempengaruhi kapasiti penjerapan dan kecekapan penjerapan diperhatikan daripada kajian kepustakaan dan dibandingkan dengan keputusan ujikaji. Selain itu, beberapa hasil dari kajian terkini berkenaan karbon teraktif yang disediakan dari pelbagai jenis herba dan kaedah pengaktifan yang berkaitan dengan karbon teraktif daripada herba turut dibincangkan. Evolusi penjerapan telah berubah dari pendekatan alternatif kepada teknik yang betul dan mempunyai banyak kelebihan. Prestasi penjerapan juga lebih memuaskan dari segi kapasiti penjerapan dan menyelesaikan masalah pencemaran air sisa dengan cara yang lebih menjimatkan. Justeru dapat mengatasi sebahagian daripada masalah sisa pepejal di seluruh dunia.

Kata kunci: Herba; karbon teraktif; logam berat; pengaktifan fizikal; pengaktifan kimia

ABSTRACT

The production of activated carbon from herbs has attracted the attention and interest of many researchers. This is because herbal plants have good performance in the process of removal and recovery of heavy metals. Furthermore, its low cost and availability in large quantities attracted researchers to produce activated carbon from herbs. Herbs are a cheaper, effective alternative to commercial activated carbon for the removal of heavy metals and water-based textile dyes. There are various types of herbal plants used in this experiment, which are neem, curry, moringa and tulasi leaves. Besides that, other adsorbents can also be used such as rice husk, coconut husk and jackfruit skin residue. Activation process consisting of physical and chemical activation is a common method used to produce activated carbon from herbs. These methods may affect both the chemical and physical of the activated carbon obtained from herbs. In this study, the factors influencing the adsorption capacity and adsorption efficiency were observed from the literature review and compare to the experimental results. Current study on activated carbon generated from various herbs and its

activation methods from herbs are also discussed. The evolution of adsorption has changed from an alternative approach to a proper technique and has many advantages. The adsorption performance is also more satisfactory in terms of adsorption capacity and solves the problem of wastewater pollution in a more economical way. Thus, it is also able to overcome some of the problems of solid waste around the world.

Keywords: Herb; activated carbon; heavy metal; physical activation; chemical activation

PENDAHULUAN

Karbon teraktif adalah bahan yang mengandung karbon serta mempunyai permukaan spesifik yang besar dan luas, kestabilan fizikokimia yang tinggi, kereaktifan pada permukaan yang tinggi dan banyak digunakan sebagai bahan penjerap dalam pelbagai industri (Delgado et al. 2012; Sevilla & Mokaya 2014). Sumber bahan bagi penghasilan karbon aktif secara tradisional adalah kayu, arang batu, sisa minyak petroleum, gambut, lignit, dan polimer. Kebanyakan sumber tersebut sangat mahal dan tidak boleh diperbaharui (Chen et al. 2011). Oleh itu, ramai penyelidik mengambil inisiatif lalu menitikberatkan penghasilan karbon teraktif dengan menggunakan sumber alternatif berkos rendah dan mampan seperti sisa tanaman (sekam padi, jerami jagung dan lain-lain), sisa pepejal (enapcemar, sisa makanan), dan juga tanaman herba (Chen et al. 2011; Yahya et al. 2015). Penghasilan karbon teraktif dari herba dan sisa pertanian yang memerlukan perbelanjaan rendah ini mendapat perhatian dalam penghasilan karbon teraktif. Tambahan pula, herba yang digunakan merupakan tanaman herba yang mudah tumbuh di hampir semua jenis tanah, tidak memerlukan baja yang banyak, asalkan mempunyai saluran yang baik. (C. Colston Burrell). Hal ini dapat memudahkan penanaman herba dalam skala yang besar bagi menampung bekalan yang tinggi untuk memenuhi permintaan industri karbon teraktif. Tidak dinafikan juga herba adalah makanan namun tidak timbul sebarang konflik terhadap sekuriti makanan kerana terdapat bekalan yang lebih dari cukup bagi menampung keperluan pemakanan dan industri karbon teraktif.

Sejak kebelakangan ini, terdapat banyak kajian mengenai penghasilan karbon teraktif daripada herba. Pelbagai kaedah yang digunakan termasuklah proses pirolisis, proses pengaktifan dan proses termokimia di bawah oksigen berkeadaan terhad. Semua kaedah tersebut menghasilkan karbon teraktif yang mempunyai ciri-ciri yang berbeza dari segi struktur permukaan, kumpulan berfungsi dan komponen mineral kerana dipengaruhi oleh penyingkiran kelembapan dan keluasan rongga pori (Tan et al. 2017). Berdasarkan perincian di atas, jelaslah bahawa penghasilan karbon teraktif daripada herba merupakan kaedah alternatif yang menarik. Karbon teraktif yang terhasil daripada herba ini telah terbukti keberkesannya melalui pelbagai aplikasi termasuk perawatan air sisa

perindustrian, penyingkiran logam berat dalam air, dan penyingkiran pewarna tekstil (Masatoshi Tanada et al. 2016; Hayelom Dargo et al. 2014; Nigus Gabbiye et al. 2014). Bagi kajian ini, herba yang telah dipilih untuk dijadikan karbon teraktif adalah daun neem, daun kari, daun moringga dan daun tulasi.

Daun neem merupakan salah satu bahan penjerap yang telah digunakan secara meluas sejak zaman dahulu. Keberkesanaannya terbukti dalam perawatan tradisional dan perawatan air. Daun neem mempunyai bahan kimia iaitu *azadirachtin*, *salannin*, *meliantriol*, *nimbin* dan *nimbidin* yang berfungsi sebagai agen pengikat logam yang baik. Struktur permukaan daun neem yang kekal stabil ketika proses pengaktifan kimia menonjolkan potensi daun neem untuk dijadikan sebagai bahan penjerap (M.S. Sulaiman 2015).

Moringa Oleifera atau daun moringa pula mudah didapati dimana kebiasaannya herba ini ditanam untuk kegunaan dalam perubatan tradisional. Herba ini berpotensi tinggi untuk dijadikan sebagai agen antioksidan, antikanser, antiradang dan antimikrobial. *Moringa Oleifera* amat sesuai dalam penghasilan bahan penggumpalan semula jadi dalam rawatan air sisa kerana sifatnya yang mempunyai nilai nutrien tinggi bagi setiap bahagian herba ini (Gopalakrishnan et al. 2016).

Tulasi juga merupakan sejenis herba yang mudah didapati di kebanyakan rumah kediaman rakyat Malaysia. Tanaman ini biasa digunakan sebagai ubat tradisional untuk mengubati pelbagai jenis penyakit seperti selsema dan sakit tekak. Daun tulasi ini juga tidak mempunyai kesan tindak balas yang mengancam pengguna (M. Kishore 2018). Terdapat beberapa kandungan dalam tulasi, iaitu Vitamin A dan C, kalsium, zat besi dan klorofil. Oleh kerana daun tulasi mempunyai pelbagai nutrien penting, tanaman ini juga boleh digunakan sebagai pengaktifan karbon. Selain itu, daun tulasi bertindak sebagai antibakteria, antikulat, dan antiinflamasi. Daun tulasi juga bertindak sebagai bahan penggumpalan semula jadi dalam rawatan air sisa. Kandungan bahan pencemar seperti besi dan plumbum yang dilepaskan oleh kilang akan menjadikan air di sungai, tasik, dan laut menjadi sebagai air sisa. Bagi mengatasi masalah besar ini, kaedah penjerapan menggunakan daun tulasi boleh digunakan untuk merawat sumber air tercemar. (K. Surendra Babu et al. 2018).

Daun kari yang dikenali sebagai *Murayya Koenigii* adalah pokok herba penting yang tergolong dalam keluarga

rutaceae dan berasal dari India dan wilayah Asia Tenggara dan mudah didapati. Selain itu, daun kari kering banyak digunakan dalam masakan Asia sebagai perasa. Kajian yang telah dijalankan oleh Bonde telah membuktikan bahawa tulasi dapat digunakan dalam penyingkiran fluorida dalam air minuman. Penyingkiran fluorida pada pH yang berbeza dan kesan penjerapan terhadapnya telah diuji dengan menggunakan daun kari. Keputusan menunjukkan daun kari merupakan penjerap yang baik dengan kecekapan penyingkiran yang tinggi pada kepekatan fluorida bersamaan 5 ppm (Bonde et al. 2011).

Pengaruh kaedah pengaktifan kimia dan fizikal terhadap kapasiti penjerapan karbon teraktif daripada herba akan dibincangkan dalam kajian ini. Selain itu, jurang pengetahuan dan keperluan penyelidikan masa depan berkenaan kaedah penghasilan karbon aktif daripada herba turut diuraikan. Kesemua ulasan dan huraian dalam kertas ini dibahagikan kepada beberapa seksyen iaitu pendahuluan dalam seksyen pertama diikuti kandungan utama iaitu perbandingan kajian kepustakaan dengan ujikaji yang telah dijalankan, prospek masa hadapan, kesimpulan dan rujukan.

KANDUNGAN UTAMA

Bahagian ini membincangkan jenis-jenis herba yang bertindak sebagai stok suapan bagi penghasilan karbon teraktif iaitu daun neem, daun moringa, daun tulasi dan daun kari daripada kajian terdahulu serta perbandingannya dengan uji kaji yang telah dijalankan.

AZADIRACHTA INDICA

Pokok Semambu (*Azadirachta indica*) adalah sejenis tumbuhan dalam keluarga mahogani Meliaceae. Pokok ini banyak tumbuh di dalam wilayah Asia Tenggara dan boleh dijumpai di beberapa negara di seluruh dunia (Neem Foundation 2020). Sejak zaman dahulu, daun pokok semambu atau daun neem digunakan untuk menyelesaikan pelbagai masalah berkaitan dengan kesihatan, pertanian, dan pencemaran alam sekitar melalui penyingkiran logam berat dan juga pewarna daripada sisa air.

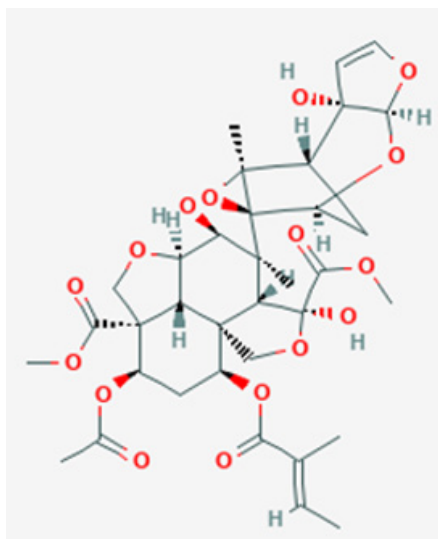
Menurut Neem Foundation, daun neem yang segar mempunyai peratus kandungan kelembapan sebanyak 59.4%, karbohidrat sebanyak 22.9%, protein sebanyak 7.1%, serat sebanyak 6.2%, mineral sebanyak 3.4%, dan lemak sebanyak 1%. Daun neem juga mengandungi bahan – bahan kimia tertentu yang kuat iaitu azadirachtin, salannin, meliantriol, nimbin dan nimbidin. Sebatian kimia ini didapati mempunyai keupayaan yang sangat baik mengikat logam (Ang X. et al. 2012). Selain itu, daun neem turut mempunyai kandungan lignin yang tinggi yang merupakan polimer berunsur kimia yang penting bagi mengikat hubungan C-C dan C-O-C (Shafiq et al. 2018). Rajah 1 menunjukkan daun neem sementara Rajah 2 merupakan molekul Azadirachtin.

Puncak penjerapan yang berbeza dapat dilihat melalui Spektrum Inframerah Transformasi Fourier (FTIR) menunjukkan terdapat pelbagai kumpulan berfungsi pada permukaan serbuk daun Neem. Kumpulan berfungsi tersebut ialah lenturan C – H (985.56 - 1472.55 cm⁻¹), regangan C – H (2845.77 - 2909.42 cm⁻¹), O – CH₃ (1475.42 cm⁻¹), C = C, Ketone (1575.73 - 1748.35 cm⁻¹), Karboksilik (1319.22 - 1717.49 cm⁻¹), Amida (1575.73



RAJAH 1. Daun neem (Daily-sun, 1 June 2020)

cm-1), aromatik (754.12 - 762.79 cm-1), C-O-C (1164.92 cm-1), sebatian sulfur (1097.42 - 1339.47 cm-1), alkohol (1271 - 3627.85 cm-1), OH (3597-3600cm-1), -NH₂ (3399cm-1), ≡CH (3297cm-1), >C=N- (1656cm-1), ≡C-C≡, ≡C-N < dan ≡C-O- (1160cm-1), >C=O (1633, 1656, 1672, 1688, 1714cm-1), >C=C < (1656cm-1), dan >C=S (1105cm-1) (M.S. Sulaiman 2015).



RAJAH 2. Azadirachtin (PubChem-NIH)

Tambahan pula, kandungan karbon yang tinggi dalam daun neem ini jika diproses dengan baik, dapat dijadikan sebagai bahan penjerap yang amat berkesan. Beberapa kajian telah dilakukan oleh para penyelidik terdahulu bagi membuktikan keberkesanan daun neem sebagai karbon teraktif. Daun neem mempunyai kecekapan sebagai karbon teraktif yang efektif dalam pembersihan air minuman tercemar (Chakrabarty & Sarma 2012). Selain itu, karbon teraktif yang terhasil daripada daun neem mempunyai potensi untuk dijadikan sebagai karbon teraktif berkos rendah (Pandhare et al. 2013). Qadir dan Chhipa turut menghasilkan karbon teraktif daripada daun neem dengan menggunakan pelbagai jenis agen pengaktifan kimia dan menguji sifat karbon yang terhasil (Qadir & Chhipa 2017). Kajian yang dijalankan oleh Ibrahim et al. dan Singh et al. telah membuktikan potensi karbon teraktif yang terhasil daripada daun neem bagi menyingkirkan fluorida dalam air. Di samping itu, terdapat kajian yang membuktikan kecekapan karbon teraktif daripada daun neem dalam penyingkiran pewarna seperti metilena biru, metil jingga, dan pewarna merah Congo (Bhattacharjee 2016; Ibrahim & Sani 2015; Sowmyashree V.C. & Tejaswini N. Bhagwat 2015).

Terdapat pelbagai kaedah untuk menghasilkan karbon teraktif ini. Antaranya adalah melalui agen pengaktifan kimia, gelombang mikro, pirolisis dan rawatan ozon. Teknik- teknik tersebut dibangunkan untuk meningkatkan

keupayaan karbon teraktif sebagai bahan penjerap (Mistar et al. 2019). Walaubagaimanapun, kajian ini lebih tertumpu kepada perbandingan antara kaedah pengaktifan kimia dan fizikal. Karbon teraktif yang terhasil daripada pengaktifan kimia adalah lebih baik daripada karbon teraktif yang terhasil daripada pengaktifan fizikal (Saad et al. 2019).

Dalam kajian ini, daun neem telah dijadikan karbon teraktif dengan menggunakan gabungan kaedah pirolisis dua kali dan pengaktifan kimia. Pirolisis dua kali ini bermula dengan mengisar daun neem yang telah dikeringkan kemudian direndam dalam asid fosfrik, H₃PO₄ berkepekatan 30% selama sehari. Asid fosforik telah dipilih sebagai agen pengaktifan kimia kerana asid tersebut tidak mencemarkan alam sekitar. Kemudian, daun neem yang telah diaktifkan tersebut dibakar menggunakan relau pada suhu 500 oC selama dua jam dibawah pengaruh aliran gas Nitrogen. Ini adalah untuk mengelakkan pengoksidaan pada permukaan karbon teraktif yang terbentuk. Setelah itu, uji kaji penjerapan metilena biru telah dijalankan selama satu jam untuk mengkaji kapasiti penjerapan karbon teraktif daripada daun neem. Adalah didapati bahawa pada minit ke 15, peratusan penyingkiran hanya 82.05% manakala pada minit ke 60, peratusan penyingkiran meningkat sebanyak 92.03%. Hasil kajian ini mendapati bahawa daun neem berpotensi dijadikan bahan penjerap yang baik disebabkan peratusan penyingkiran yang tinggi.

Jadual 1 menunjukkan perbandingan kajian ini dengan pelbagai kaedah pengaktifan kimia dan pengaktifan fizikal dari aspek kelebihan dan kekurangan.

Peratusan hasil bagi daun neem melalui pengaktifan kimia dengan menggunakan asid fosforik adalah tinggi iaitu sebanyak 63.6%. Peratusan hasil yang tinggi adalah disebabkan penyerapan agen pengaktifan kimia ke atas permukaan dan ini meningkatkan pembukaan pori. Kecekapan karbon teraktif daripada daun neem dapat dibuktikan melalui kapasiti penjerapan maksimum daripada pelbagai model penjerapan (Gupta et al. 2015). Kapasiti penjerapan bagi karbon teraktif daripada daun neem diperolehi daripada kajian kepustakaan seperti yang tersenarai dalam Jadual 2. Walaubagaimanapun, terdapat kesukaran untuk membandingkan kapasiti penjerapan bagi setiap karbon teraktif daripada daun neem dengan tepat kerana karbon teraktif yang dihasilkan menggunakan pelbagai keadaan optimum yang berbeza.

JADUAL 1. Perbandingan antara pelbagai jenis kaedah pengaktifan kima dan fizikal

Stok suapan	Suhu (oC)	Jenis kaedah	Teknik yang digunakan	Kelebihan	Kekurangan	Bahan pencemaran	Peratusan penyingkiran bahan pencemaran (%)	Rujukan
Daun neem	500	Pengaktifan kimia dan fizikal	Kaedah Dua Kali Pirolysis dan H_3PO_4 sebagai agen pengaktif kimia	<ul style="list-style-type: none"> •Kaedah Dua Kali pirolisis dan pengaktifan kimia telah digabungkan untuk meningkatkan kupaayaan karbon teraktif sebagai bahan penjerap. •Bahan kimia yang digunakan tidak membawa kemudatan terhadap alam sekitar. •Terdapat peningkatan peratus penjerapan yang ketara apabila kedua-dua kaedah iaitu kaedah kimia dan kaedah fizikal digabungkan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proses penghasilan karbon teraktif memakan masa yang lama. • ZnCl₂ merupakan bahan kimia yang boleh membawa kemudatan terhadap alam sekitar. 	Metilena biru	92.03 %	Kajian ini
Daun neem	800	Pengaktifan kimia	$ZnCl_2$ sebagai agen pengaktif kimia	<ul style="list-style-type: none"> • ZnCl₂ meningkatkan saiz dan struktur liang pori karbon teraktif. 	<ul style="list-style-type: none"> • ZnCl₂ merupakan bahan kimia yang boleh membawa kemudatan terhadap alam sekitar. 			(Ahmed et al. 2018)
Daun neem	60	Pengaktifan kimia	HCl sebagai agen pengaktifan kimia	<ul style="list-style-type: none"> •Bahan kimia iaitu HCl dapat mengurangkan kandungan air dalam daun neem dan ini akan meningkatkan potensi daun neem sebagai bahan penjerap. 	<ul style="list-style-type: none"> • HCL adalah sejenis asid yang kuat yang boleh menjejaskan atau merosakkan komponen dalam daun neem yang bertindak sebagai bahan penjerap jika digunakan dalam kepekatan yang tinggi. 	Pewarna merah Congo	78.18%	(Manjunatha & Vagish 2016)

Continue ...

Continued...

Daun neem	260	Pengaktifan kimia	H_3PO_4 sebagai agen pengaktifan kimia	<ul style="list-style-type: none"> Bahan kimia yang digunakan iaitu H_3PO_4 tidak menjejaskan alam sekitar. 	<ul style="list-style-type: none"> Tempoh pengaktifan kimia yang terlalu rendah iaitu 20 minit. Kemungkinan besar, bahan kimia tersebut tidak meresap ke dalam rongga-rongga daun neem. 	Metilena merah	79.45%	(Pandhare et al. 2013)
Daun neem	60	Pengaktifan kimia	HNO_3 sebagai agen pengaktifan kimia	<ul style="list-style-type: none"> HNO_3 meningkatkan saiz dan struktur liang pori karbon teraktif. 	<ul style="list-style-type: none"> Suhu yang digunakan adalah terlampau rendah iaitu $60^\circ C$ selama 4 jam. Pada suhu yang rendah, rongga-rongga dan liang pori pada permukaan karbon teraktif sebagai bahan penyerap tidak akan terbentuk secara efektif. 	Metilena biru	81.55%	(Sowmyashree V.C., Tejaswini N. Bhagwat 2015)
Daun neem	500	Pengaktifan kimia	$ZnCl_2$ sebagai agen pengaktifan kimia	<ul style="list-style-type: none"> $ZnCl_2$ meningkatkan saiz dan struktur liang pori karbon teraktif. 	<ul style="list-style-type: none"> Bahan kimia yang digunakan juga adalah berbahaya. 	Cu (II) Cd (II)	Cu (II)- 45.9% Cd (II)- 28.7 %	(Djakba et al. 2017)
Daun neem	65	Pengaktifan fizikal	Pirólisis dengan menggunakan ketuhar	<ul style="list-style-type: none"> Tidak menggunakan sebarang bahan kimia yang boleh menyebabkan pencemaran alam sekitar. 	<ul style="list-style-type: none"> Tempoh pirolisis adalah terlalu lama iaitu selama 16 jam. 	Pewarna merah Congo and Metil jingga	Congo – 91.57 % Metil Jingga – 57.23%	(Ibrahim & Sani 2015)

Continued ...

Continued...

Daun neem	100	Pengaktifan fizikal	Pirolisis	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak menggunakan sebarang bahan kimia yang boleh menyebabkan pencemaran alam sekitar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu yang digunakan adalah terlampau rendah iaitu 100 °C Pada suhu yang rendah, rongga-rongga dan liang pori pada permukaan karbon teraktif sebagai bahan penjerap tidak akan terbentuk 	Nitrit, klorida, fosfat	Nitrit (99.7%), klorida (100%) and fosfat (95%)	(Alau et al. 2015)
Daun neem	90	Pengaktifan fizikal	Pirolisis	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak menggunakan sebarang bahan kimia yang boleh menyebabkan pencemaran alam sekitar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu yang digunakan adalah terlampau rendah iaitu 90 °C Pada suhu yang rendah, rongga-rongga dan liang pori pada permukaan karbon teraktif sebagai bahan penjerap tidak akan terbentuk 	Merkuri	40 %	(Marichelvam & Azhagurajan 2018)
Daun neem	105	Pengaktifan fizikal	Pirolisis	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak menggunakan sebarang bahan kimia yang boleh menyebabkan pencemaran alam sekitar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu yang digunakan adalah terlampau rendah iaitu 105 °C Pada suhu yang rendah, rongga-rongga dan liang pori pada permukaan karbon teraktif sebagai bahan penjerap tidak akan terbentuk 	Metilena biru	80.1 %	(Bhattacharjee 2016)
Daun neem	400	Pengaktifan fizikal	1% larutan formaldehid	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak menggunakan sebarang bahan kimia yang boleh menyebabkan pencemaran alam sekitar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempoh pirolisis yang terlampau lama pada suhu yang tinggi iaitu selama 12 jam. Ini akan menyebabkan karbon teraktif mempunyai komposisi karbon yang rendah dan meruntuhkan struktur liang pori karbon teraktif 	Fluorida	50 %	(Singh 2017)

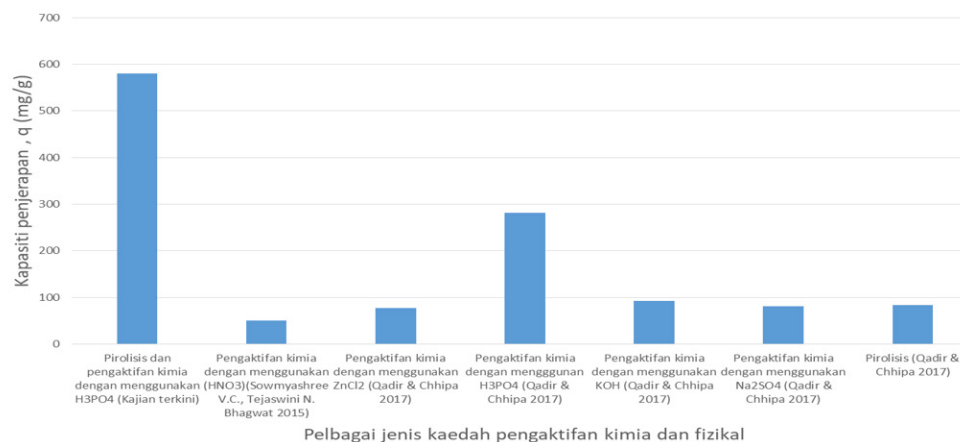
Continue ...

Continued...

Daun neem	400	Pengaktifan fizikal	1% larutan formaldehid	<ul style="list-style-type: none"> • Kaedah yang mudah dan ringkas. • Menggunakan bahan kimia dalam kepekatan yang rendah. Jadi, karbon teraktif yang terhasil adalah mesra alam kerana tidak menyebabkan pencemaran alam sekitar. • Tidak menggunakan sebarang bahan kimia yang boleh menyebabkan pencemaran alam sekitar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Larutan formaldehid akan menghapuskan pigmen hijau yang memainkan peranan yang penting dalam proses penjerapan. Maka, kecekapan karbon teraktif sebagai bahan penjerap akan menurun. 	Fluorida	68.8%	(Chakrabarty & Sarma 2012)
Daun neem	60	Pengaktifan fizikal	Pirolisis	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak menggunakan sebarang bahan kimia yang boleh menyebabkan pencemaran alam sekitar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu yang digunakan adalah rendah iaitu 60 °C berbanding suhu pirolisis yang selalu digunakan iaitu sekitar 200 sehingga 500°C. Pada suhu yang rendah, rongga-rongga dan liang pori pada permukaan karbon teraktif sebagai bahan penjerap tidak akan terbentuk 	Cr (VI)	58.52 %	(Vinodhini & Das 2009)

JADUAL 2. Kapasiti Penjerapan untuk Setiap Kaedah yang berbeza

Kaedah	t(jam)	Suhu (°C)	Kapasiti penjerapan, q (mg/g)	Bahan terjerap	Rujukan
Pengaktifan kimia dengan menggunakan Zn Cl ₂	2	500	52.356	Cd 2+	(Djakba et al. 2017)
Pirolisis	30	70	158.8	Cd 2+	(Gupta et al. 2015)
Pengaktifan kimia dengan menggunakan H ₃ PO ₄	20	260	537.924	Cr (VI)	(Pandhare et al. 2013)
Pirolisis	24	60	58.82	Cr (VI)	(Vinodhini & Das 2009)
Pengaktifan kimia dengan menggunakan Zn Cl ₂	2	500	8.382	Cu 2+	(Djakba et al. 2017)
Pirolisis	24	200	127.5	Efluen tekstil	(Durairaj et al.2012)
Pirolisis	12	400	32	Fluorida	(Singh 2017)
Pirolisis	2	200	18.8	Fluorida	(Chakrabarty & Sarma 2012)
Pirolisis	3	90	0.8	Merkuri	(Marichelvam & Azhagurajan 2018)
Pirolisis	16	65	21.23	Metil jingga	(Ibrahim & Sani 2015)
Pirolisis dan pengaktifan kimia dengan menggunakan H ₃ PO ₄	3	550	580.75	Metilena biru	Kajian terkini
Pengaktifan kimia dengan menggunakan (HNO ₃)	4	60	50.5	Metilena biru	(Sowmyashree V.C., Tejaswini N. Bhagwat 2015)
Pengaktifan kimia dengan menggunakan ZnCl ₂	3	400	77.72	Metilena biru	(Qadir & Chhipa 2017)
Pengaktifan kimia dengan menggunakan H ₃ PO ₄	3	400	281.5	Metilena biru	(Qadir & Chhipa 2017)
Pengaktifan kimia dengan menggunakan KOH	3	400	92.5	Metilena biru	(Qadir & Chhipa 2017)
Pengaktifan kimia dengan menggunakan Na ₂ SO ₄	3	400	80.7	Metilena biru	(Qadir & Chhipa 2017)
Pirolisis	3	400	83.1	Metilena biru	(Qadir & Chhipa 2017)
Pirolisis	16	60	21.45	Pewarna merah Congo	(Ibrahim & Sani 2015)
Pirolisis	16	65	24.81	Pewarna merah Congo	(Ibrahim & Sani 2015)
Pengaktifan kimia dengan menggunakan HCL	4	60	31.95	Pewarna merah Congo	(Manjunatha & Vagish 2016)



RAJAH 3. Perbandingan kapasiti penjerapan metilena biru antara pelbagai jenis kaedah pengaktifan kimia dan fizikal

Rajah 3 menunjukkan perbandingan kapasiti penjerapan menggunakan carta bar. Dapat disimpulkan bahawa kaedah yang paling sesuai dan efektif bagi penghasilan karbon teraktif menggunakan daun neem adalah melalui pirolisis dan pengaktifan kimia melibatkan H₃PO₄ yang diperolehi daripada kajian ini. Ini kerana kapasiti penjerapan bagi kaedah tersebut adalah paling tinggi iaitu 580.75 mg / g yang mana juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan kajian oleh Qadir dan Chhipa yang turut menggunakan H₃PO₄ sebagai pemangkin (Qadir & Chhipa 2017). Analisis kritikal yang ditunjukkan dalam Jadual 1 terhadap kapasiti penjerapan untuk setiap kaedah pengaktifan kimia dan fizikal ini juga menunjukkan bahawa larutan kimia dan teknik yang digunakan memainkan peranan yang penting dalam menentukan kecekapan karbon teraktif (Gupta et al. 2015).

MORINGA OLEIFERA

Moringa Oleifera ataupun dikenali sebagai pokok Kelor merupakan salah satu herba yang dipilih bagi menghasilkan karbon teraktif. Hal ini kerana kandungan mineral yang terdapat dalam *Moringa Oleifera* amat sesuai dalam merawat air sisa. Antara kandungan mineral penting dalam *Moringa Oleifera* ialah kalsium (Ca), klorin (Cl), kuprum (Cu), kromium (Cr), ferum (Fe), kalium (K), magnesium (Mg), mangan (Mn), natrium (Na), selenium (Se), bromin (Br), dan juga zink (Zn) (Mulyaningsih & Yusuf 2018).

Di samping itu, *Moringa Oleifera* dapat membantu membunuh mikroorganisma yang terdapat dalam sisa air. Fakta ini telah dibuktikan melalui ujikaji koliform dimana keputusan menunjukkan bacaan koliform lebih rendah jika dibandingkan dengan karbon komersial (Amina Ibrahim M. 2011). Hal ini menunjukkan bahawa rawatan sisa air daripada karbon teraktif *Moringa Oleifera* selamat untuk dijadikan air minuman.

Selain daripada faktor pemilihan bahan mentah karbon teraktif, sifat dan kebolehan penjerapan juga memainkan peranan yang penting bagi melancarkan proses penjerapan. Keadaan yang optimum bagi setiap penjerap harus dicapai bagi memastikan proses penjerapan berlaku dengan efisien kerana setiap penjerap mempunyai keadaan optimum tersendiri. Sebagai contoh, karbon teraktif *Moringa oleifera* haruslah berada dalam keadaan neutral iaitu pH 7 bagi membolehkan penjerapan metilena biru berlaku (Bhanupriya Mordhiya et al. 2012). Manakala pH yang optimum bagi penjerapan diklofenac (DFC) adalah pH 5 (Lenon A. Araujo 2018). Hal ini berbeza dengan pewarna tersebar merah (DR60) kerana kadar penjerapan DR60 tidak dipengaruhi oleh pH, suhu proses mahupun berat pemangkin (Soliman et al. 2019).

Terdapat pelbagai kelebihan menggunakan herba *Moringa Oleifera* terutamanya yang diproses melalui kaedah ringkas pirolisis. Kaedah ini dikatakan ringkas kerana mempunyai hanya satu langkah pemrosesan iaitu dibakar pada suhu tinggi, 800 °C selama 30-120 minit. Kaedah ini mempunyai ruang penjerapan biologi yang tinggi, bahan mentah yang senang didapati dan juga mesra alam (Sumathi & Alagumuthu 2014). Selain daripada itu, terdapat satu cara yang jarang digunakan dalam industri penghasilan karbon teraktif iaitu melalui proses pengekstrakan protein *Moringa Oleifera*. Proses ini dilakukan dengan mengekstrak protein daun *Moringa Oleifera* ke atas bahan penjerap dimana ia dikatakan dapat menyingkirkan bahan organik yang tidak diperlukan (Barajas & Pagsuyoin 2015).

Seperti kita ketahui, setiap karbon teraktif mempunyai kelebihan dan keistimewaan tersendiri sama ada karbon teraktif semulajadi mahupun karbon teraktif komersial. Oleh itu, gabungan kedua-dua bahan ini akan melengkapkan kelemahan dan meningkatkan kelebihan satu sama lain dan pada masa sama dapat menghasilkan keputusan penjerapan yang amat memuaskan (Zakaria et al. 2018).



RAJAH 4. Daun *Moringa Oleifera* (Muhl, Q.E. 2010)

Satu uji kaji telah dijalankan bagi penghasilan karbon teraktif daripada herba *Moringa Oleifera*. Kaedah pengaktifan kimia dan herba amat sesuai untuk pembukaan liang pori ke atas permukaan daun untuk memastikan penjerapan berlaku dengan efisien. Dalam uji kaji ini, hanya daun *Moringa Oleifera* yang diambil dan dikisar sehingga halus untuk meningkatkan luas permukaan yang tinggi. Gambar di bawah menunjukkan proses mengisar daun *Moringa Oleifera* yang telah kering dibakar dalam ketuhar sehingga halus menggunakan alat pengisar (*Grinder*).

Suhu optimum bagi kajian ini adalah 500°C dan perlu berada dalam keadaan pH yang neutral iaitu pH 7. Uji kaji ini telah dijalankan selama satu jam dan mendapati bahawa pada minit ke 15, peratusan penyingkiran hanya 16.39% manakala pada minit ke 60 peratusan penyingkiran meningkat mendadak sebanyak 40.83%.

JADUAL 3. Perbandingan antara Kaedah Pengaktifan Kimia dan Fizikal untuk Penghasilan Karbon Teraktif daripada Moringa Oleifera

Stok suapan	Suhu (oC)	Jenis kaedah	Teknik yang digunakan	Kelebihan	Kekurangan	Bahan pencemaran	Peratusan penyingkiran bahan pencemaran (%)	Rujukan
Daun moringa	500	Pengaktifan kimia dan fizikal	Kaedah Dua Kali Pirolisis dan H3PO4 sebagai agen pengaktif kimia	<ul style="list-style-type: none"> •Kadar penjerapan yang tinggi • Membuka lebih banyak liang pori dalam permukaan daun 	<ul style="list-style-type: none"> •Mengambil masa yang terlalu lama 	Metilena biru	40.83	Kajian ini
Daun moringa	400	Stim pirolisis	Menggunakan teknik stim pirolisis ringkas	<ul style="list-style-type: none"> •Mempunyai tapak bioerapan yang banyak • Mudah didapati 	<ul style="list-style-type: none"> • Perlu memenuhi ciri-ciri khas parameter karbon teraktif untuk berfungsi dengan cekap. 	Arsenik	71.3	(Sumathi & Alagumuthu 2014)
Daun moringa	300	Pengaktifan kimia dan haba	Menggunakan kimia metil alkohol dan asid nitrik	<ul style="list-style-type: none"> • Mesra alam. • Pengaktifan haba dapat meningkatkan pembukaan liang • Pengaktifan kimia boleh meningkatkan isipadu dan luas permukaan liang. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perlu mencapai keadaan optimum bagi setiap parameter • Setiap bahan digunakan kerana setiap bahan mempunyai keadaan optimum tersendiri. 	DFC	28.73	(Araujo LA et al. 2018)
Daun moringa	-	Gabungan karbon teraktif komersial dan herba	Menggabungkan karbon teraktif dipasaran dan biji daripada Moringa Oleifera	<ul style="list-style-type: none"> • Kekurangan berkurangan • Jumlah pengeluaran enap cemar yang rendah • Toksik rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kelongsong biodegradasi hanya boleh digunakan untuk rawatan air di kawasan kecil sahaja. 	Bahan cemar	50	(Zakaria et al. 2018)

Daun moringa	-	Pengekstrakan protein	Menghasilkan enzim pegun daripada daun <i>Moringa Oleifera</i>	• Protein terikat tidak dilepaskan kembali ke larutan	• Proses penghasilan ekstrak protein daun moringa agak rumit	Bacteria <i>E. Coli</i>	80	(Barajas & Pagsuyoin 2015)
Daun moringa	800	Pengaktifan kimia	Menggunakan kimia ZnCl ₂ dan H ₂ SO ₄	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat membunuh mikroorganisma E.Coli • Menghasilkan hasil yang lebih tinggi 	Memlepaskan hasil sampingan yang bertoksik	<ul style="list-style-type: none"> i. <i>Metilena biru</i> ii. <i>4-klorofenol</i> 	<ul style="list-style-type: none"> i. 90.7 bagi metilena biru ii. 97.4 bagi 4-klorofenol 	(Nor Salmi et al. 2017)
Daun moringa	60 ±2	Pengaktifan haba	Moringa Oleifera dibakar selama 36 jam dan minyak dihasilkan diekstrak dengan heksana menggunakan sistem Soxhlet	<ul style="list-style-type: none"> • Struktur berpori lebih baik. • Bahan mentah yang jimat • Mempunyai sifat mekanikal yang unggul • Tidak mengeluarkan gas beracun. 	• Menggunakan tenaga yang banyak dalam proses penghasilan.	Kromium	40.48	(Ana Paula et al. 2013)
Daun Moringa	401	Pengaktifan kimia dan haba	Menggunakan kimia H ₂ SO ₄	<ul style="list-style-type: none"> • Karbon teraktif boleh dikitar semula untuk enam kitaran penjerapan tembaga, tujuh kitaran penjerapan nikel dan zink. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sedikit penurunan bagi kitaran penjerapan logam karbon 	<ul style="list-style-type: none"> i. Tembaga ii. Nikel iii. Zink 	<ul style="list-style-type: none"> i. 55.60 bagi tembaga ii. 88.36 bagi nikel iii. 63.90 bagi zink 	(Helen Kalavathy & Miranda 2010)

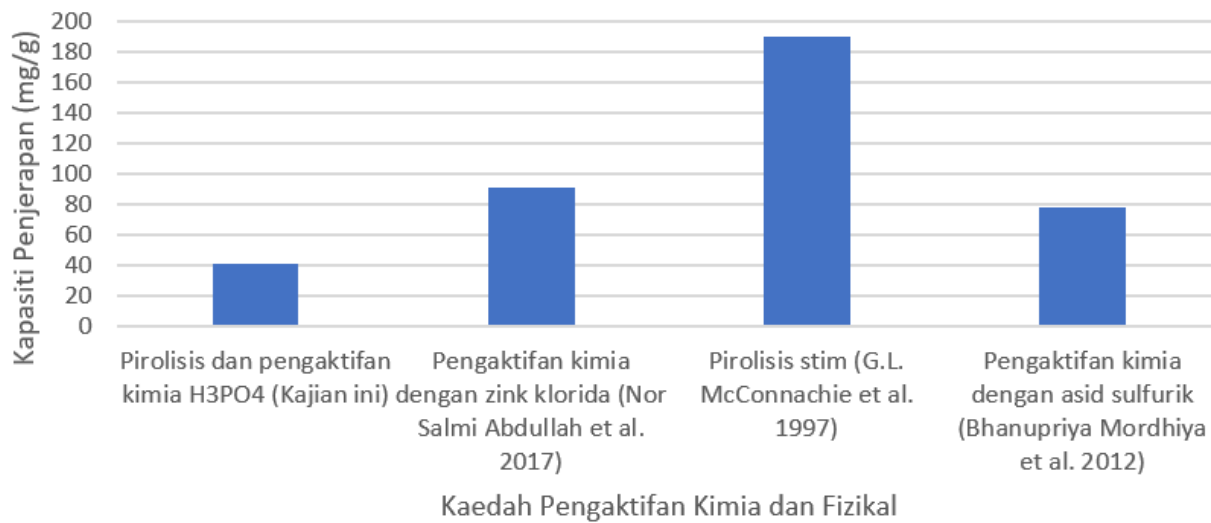


RAJAH 5. Proses mengisar

Peratusan hasil bagi *Moringa Oleifera* melalui pengaktifan kimia dengan menggunakan asid fosforik adalah tinggi iaitu sebanyak 64.2%. Ini adalah disebabkan pembukaan liang pori oleh agen pengaktifan kimia. Pengeluaran karbon teraktif daripada moringa yang tertinggi adalah dengan menggunakan pirolisis stim iaitu sebanyak 30% dengan kondisi suhu yang optimum. Peningkatan haba akan mengakibatkan penurunan pengeluaran hasil karbon teraktif daripada daun moringa (McConnachie et al. 1997). Kecekapan karbon teraktif daripada daun moringa dapat dibuktikan melalui kapasiti penjerapan maksimum daripada pelbagai model penjerapan. Kapasiti penjerapan bagi karbon teraktif daripada daun moringa telah diperolehi melalui kajian kepustakaan untuk setiap teknik yang berbeza. Keputusan tersebut disenaraikan dalam Jadual 4.

JADUAL 4. Kapasiti penjerapan karbon teraktif daripada *Moringa Oleifera*

Kaedah	T (jam)	Suhu (°C)	Kapasiti penjerapan q (mg/g)	Bahan terjerap	Rujukan
Pirolisis dan pengaktifan kimia H_3PO_4	3	500	40.7	Metilena biru	Kajian ini
Pirolisis	2	400	62.3	Arsenik	(Sumathi & Alagumuthu 2014)
Pirolisis stim	2	750	130	Fenol	(Warhurst et al. 1996)
Rawatan pemanasan	36	65	3.191	Kromium	(Ana Paula et al. 2013)
Pengaktifan kimia dengan metil alkohol	1	300	28.73	DFC	(Araujo LA et al. 2018)
Pengekstrakan	-	-	40.85	E. Coli	(Barajas & Pagsuyoin 2015)
Pengaktifan kimia dengan zink klorida	0.5	800	97.4	4-klorofenol	(Nor Salmi et al. 2017)
Pengaktifan kimia dengan zink klorida	0.5	800	90.7	Metilena biru	(Nor Salmi et al. 2017)
Pirolisis stim	0.5	800	190	Metilena biru	(McConnachie et al. 1997)
Pengaktifan kimia dengan asid sulfurik	24	150	77.51	Metilena biru	(Bhanupriya Mordhiya et al. 2012)
Pengekstrakan	-	40	196.8	DR60	(Nofal Khamis et al. 2019)
Pengekstrakan	-	40	170.7	Pewarna merah Congo	(Nofal Khamis et al. 2019)



RAJAH 6. Kapasiti Penjerapan dengan Menggunakan Pelbagai Kaedah Penghasilan Karbon Terakhir dengan menggunakan *Moringa Oleifera*



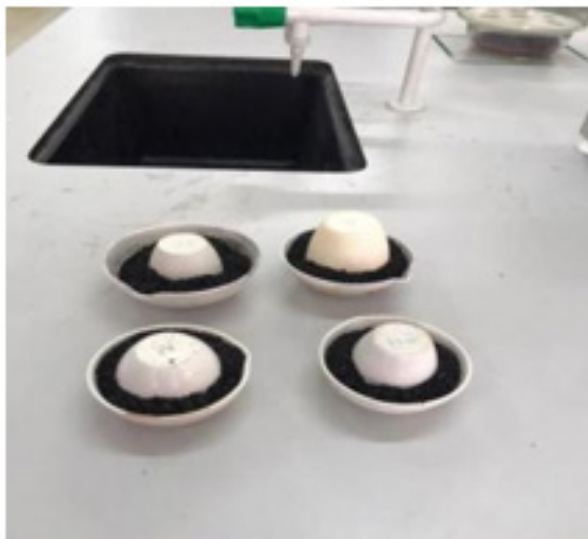
RAJAH 7. Pokok daun kari (Myagari 2015)

Rajah 6 menunjukkan carta yang diperolehi daripada data yang tersenarai dalam Jadual 4 di atas. Didapati bahawa kaedah pirolisis penjerapan menunjukkan kapasiti penjerapan tertinggi berbanding kaedah lain iaitu sebanyak 190 mg/g. Ini adalah kerana pirolisis stim menggunakan haba yang tinggi dan bersesuaian dengan suhu optimum *Moringa Oleifera*. Suhu yang optimum ini membantu membuka struktur liang pori yang terdapat pada *Moringa Oleifera* dan seterusnya meningkatkan kapasiti penjerapan karbon teraktif.

MURRAYA KOENIGII

Murraya koenigii dikenali sebagai daun kari ataupun kari patta dalam dialek India yang tergolong dalam kategori

Rutaceae iaitu merangkumi lebih 150 generasi dan 1 600 spesies. *Murraya koenigii* terkenal dalam bidang perubatan khasnya di Asia Tenggara kerana manfaatnya boleh membantu mengurangkan tekanan darah dan melancarkan aliran darah (Vandana Jain et al. 2017). Tumbuhan ini tumbuh segar pada tanah yang subur dan mineral yang terkandung di dalamnya menjadikan ia sesuai sebagai bahan penjerap dalam menyingkirkan logam berat daripada air sisa. Berdasarkan kajian perpustakaan, daun kari mengandungi 66.3% kelembapan, 6.1% protein, 1.0% lemak, 16.0% karbohidrat dan 6.4% serat. Selain itu, daun kari juga kaya dengan asid oksalik dan pelbagai jenis fitokimia yang mampu merawat penyakit-penyakit tertentu. Asid oksalik ialah sebatian kimia organik dengan formula ditulis sebagai C₂H₂O₄ atau sebagai HOOC-COOH (Ram Sarup Singh 2019).



RAJAH 8. Proses penghasilan karbon teraktif dari daun kari

Satu kajian telah dijalankan bagi penghasilan karbon teraktif menggunakan daun kari. Serbuk tanaman kari yang telah diaktifkan akan dibakar pada suhu 500°C selama 2 jam dibawah pengaruh aliran gas Nitrogen. Serbuk tanaman herba akan bertukar kepada warna hitam dan menjadi serbuk kering. Karbon teraktif yang dihasilkan akan disejukkan ke suhu bilik dan dicuci dengan menggunakan air suling sebanyak beberapa kali. Ini adalah untuk menyingkirkan sisa asid fosforik dan bagi rawatan penjerapan, bahan pewarna yang ditunjukkan dalam Rajah 9 di bawah akan disediakan dengan menggunakan 0.015 g metilena biru yang akan dicairkan ke dalam 1 000 ml air suling untuk mendapatkan 15 ppm. Setiap kelalang akan diisi dengan 0.5g karbon teraktif. Kelalang tersebut akan digoncang pada 100 rpm selama satu jam. Sampel akan ditapis setiap 15 minit selama satu jam untuk menyingkirkan karbon teraktif daripada larutan.

Karbon teraktif daripada daun kari dapat menjadi bahan penjerap yang baik dalam menyingkirkan logam berat daripada air sisa dan bertindak sebagai pemulihan pewarna tekstil. Selain itu, hasil perbandingan dengan pelbagai kaedah lain dalam menyingkirkan logam berat dan pewarna tekstil, penjerapan menggunakan daun kari ini adalah antara kaedah terbaik. Ini kerana kos penyelenggaraannya yang rendah, senang didapati dan tidak memberikan kesan sampingan kepada ekonomi dan alam sekitar. Tambahan pula, penyingkiran minyak dan lemak menggunakan daun kari sebagai karbon teraktif terbukti berkesan dan dapat mengurangkan kandungan logam berat di dalam air sisa. S. Suresh turut menyokong menyokong hujah berkenaan (Suresh Selvaraj et al. 2011). Justeru itu, tidak dinafikan bahawa bahan penjerap yang

mempunyai kandungan karbon yang tinggi mempunyai potensi yang lebih baik untuk dijadikan sebagai bahan penjerapan. Selain itu, Sajeshkumar N.K. membincangkan mengenai pembasmian dan penyingkiran bakteria serta virus daripada air sisa menggunakan karbon teraktif dari daun kari sebagai bahan penjerap kerana ianya mengandungi antioksidan yang terdiri daripada pelbagai vitamin penting (Sajeshkumar N.K. et al. 2015).

Seterusnya, pembuangan dan penyingkiran metilena biru daripada sisa air tekstil menggunakan karbon teraktif sebagai bahan penjerap juga diperhatikan dan terbukti ianya dapat meningkatkan kadar penyinkiran metilena biru daripada air sisa tersebut (Hayalom Dargo et al. 2014). Di samping itu, pelbagai kaedah lain selain proses penjerapan juga telah dilaksanakan seperti agen pengaktifan kimia, pirolisis, dan sistem gelombang ultrasonik (Norakmalah Mohd Zawawi et al. 2017) namun kos penyelenggaraannya adalah tinggi dan memberikan kesan sampingan kepada alam sekitar. Di samping itu, proses pirolisis menggunakan daun kari sebagai bahan penjerap lebih mudah dan senang kerana melibatkan satu langkah pemprosesan sahaja iaitu pembakaran pada suhu yang tinggi (430 °C) dalam masa yang tertentu (Susha Cheriyaath 2020). Akhir sekali, terdapat pelbagai cara untuk merawat air sisa sama ada dengan menggunakan penjerap, penggumpalan kimia mahupun penggumpalan elektrik. Penggumpalan elektrik merupakan salah satu teknik yang kurang berkesan di mana proses ini tidak dapat mempengaruhi penyingkiran COD, kekeruhan dan warna air sisa maka kaedah penjerapan adalah paling sesuai, tidak berbahaya, dan berkos rendah (Teow Yeit Haan et al. 2018).

JADUAL 5. Perbandingan Antara Pelbagai Jenis Kaedah Pengaktifan Kimia Dan Fizikal

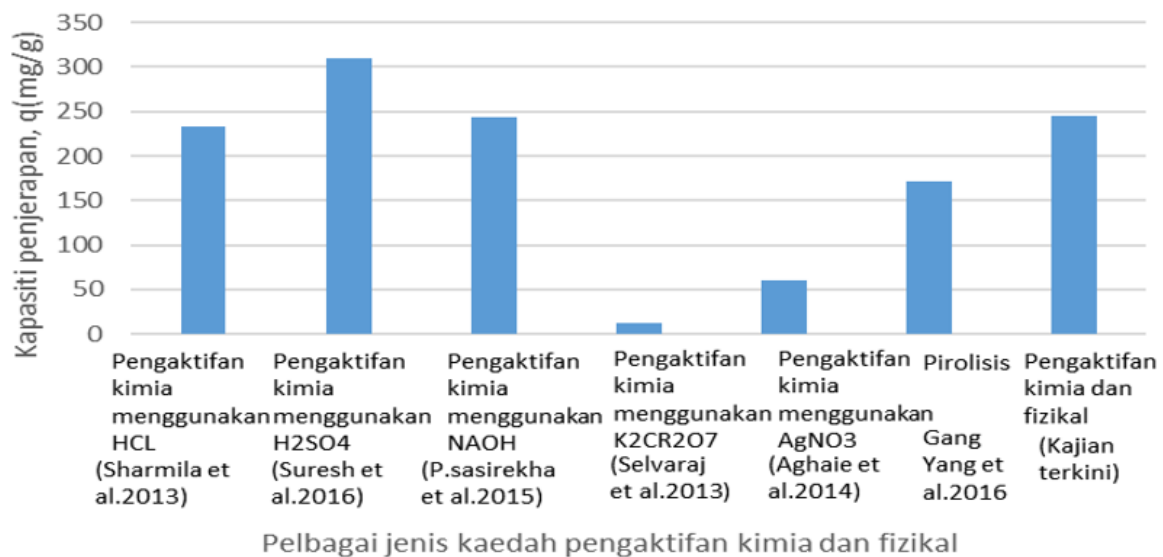
Stok suapan	Suhu(°C)	Kaedah	Teknik yang digunakan	Kelebihan	Kekurangan	Bahan pencemaran	Peratusan penyinkiran bahan pencemaran (%)	Rujukan
Daun kari	300	Pengakti-fan kimia dan kaedah fizikal	Menggunakan bahan kimia asid nitrik	Bahan penjerap kos rendah yang diperlukan untuk merawat air tasik yang tercemar	Memerlukan banyak masa	Metilina biru	20.1	(N Nataran et al. 2016)
Daun kari	350	Pengaktifan fizikal	Menggunakan bahan kimia H ₂ SO ₄	Bahan penjerap yang murah	Kurang efektif dalam penyinkiran ion logam pada kepekatan yang rendah.	Bahan pencemaran	45	(P.Sasirekha et al.2018)
Daun kari	280	Rawatan biologi	Menghasilkan enzim dari daun kari	Berkesan menyinkirkan bahan organik biodegradasi	Penyahwarna yang kurang baik	Bacteria	78.6	(Sharmila S et al.2013)
Daun kari	400	Pengaktifan kimia	Pengaktifan kimia	Secara teknikal sangat mudah dan perkakas yang mudah	Mungkin memerlukan bahan kimia	Kromium	54	(A. Sharmila B. et al.2010)
Daun kari	300	Pengaktifan kimia	Menjalankan ujian penjerapan asid RED 18 daripada larutan berair kepada karbon aktif menggunakan daun kari	Proses yang sangat berkesan (penjerapan) dengan kinetik pantas	Keperluan untuk beberapa jenis penjerap sahaja	Asid RED 18	80	(S. Suresh T. et al.2011)
Daun kari	400	Pengaktifan kimia	Mempertingkatkan kajian penjerapan serbuk kari	Boleh disesuaikan dengan pelbagai format rawatan	Kurang berkesan melainkan karbon teraktif lain digunakan	Zink	32	(Ankita & Kamlesh Prasad 2016)
Daun kari	300	Pengaktifan kimia	Menggunakan bahan kimia H ₂ SO ₄	Pembasmian bakteria dan virus	Menghasilkan pencemaran	Bahan pencemaran	40	(Sajeshkumar N.K et al.2015)
Daun kari	400	Rawatan biologi	Daun kari sebagai ubat alternatif dalam kesihatan yang berbahaya disebabkan oleh logam berat	Tidak membahayakan	Proses perlahan dan kurang cekap	Bacteria <i>E. Coli</i>	51	(Debosree Ghosh et al. 2016)
Daun kari	500	Pengaktifan kimia	Mempertingkatkan penjerapan Cr (VI) daripada larutan berair menggunakan daun kari	Kualiti efluen yang dirawat	Pelaburan yang agak tinggi	Kromium	77	(Selvaraj Suresh 2016)

Bersambung ...

Daun kari	500	Kaedah fizikal	Menguji penyingkiran plumbum dan kadmium menggunakan serbuk daun kari India bioaktif polifenolik daun kari	Berkesan untuk penyingkiran zarah kecil & dapat membuang zarah berketumpatan rendah yang memerlukan jangka masa yang lama	-	Plumbum dan kadmium	20-40	(Santanu Mukherjee et al. 2019)
Daun kari	330-400	Kaedah fizikal	Memerhatikan aktiviti antioksidan dan kandungan fenolik ekstrak daripada daun kari	Tidak mengambil ruang yang luas	-	Metilena biru	24	(Shagufta Ishtiaque et al. 2015)
Daun kari	420	Kaedah kimia	Pemodelan defluoridasi air tanah menggunakan penjerap semula jadi	Boleh digunakan untuk domestik dan peringkat komuniti	Bergantung kepada pH	Kromium	43	(Aamna Balouchet al. 2015)
Daun kari	500	Pengaktifan kimia dan fizikal	Kaedah Dua Kali Pirolysis dan H_3PO_3 sebagai agen pengaktifan kimia	Kadar penjerapan yang tinggi dapat	Masa yang lama	Metilena biru	85.07	Kajian terkini
				membuka lebih banyak liang pori dalam permukaan daun				

JADUAL 6. Kapasiti penyerapan bagi karbon teraktif daripada daun kari telah untuk setiap teknik yang berbeza

Kaedah	T (jam)	Suhu (°C)	Kapasiti penyerapan, q (mg/g)	Bahan terjerap	Rujukan
Pengaktifan kimia menggunakan HCL	72	70	150	Cu ²⁺	(Sharmila S et al.2013)
Pengaktifan kimia menggunakan HCL	3	30	83.2	Carbon	(Angelin Prema et al.2016)
Pengaktifan kimia menggunakan H ₂ SO ₄	12	120	53.19	Asid merah 18	(Suresh et al.2011)
Pengaktifan kimia menggunakan NAOH	2	90	88	Metilena biru	(Farogh et al.2015)
Pengaktifan kimia menggunakan K ₂ C ₂ O ₇	24	60	12.25	Chromium (VI)	(Selvaraj Suresh et al. 2016)
Pengaktifan kimia menggunakan AgNO ₃	24	37	60	Ag ⁺	(H Aghaie et al. 2014)
Pengaktifan kimia menggunakan H ₂ SO ₄	24	60	12.25	Chromium (VI)	(Selvaraj Suresh et al. 2016)
Pirolisis	24	60	101.27	Metilena biru	(Bin Ji et al. 2019)
Pirolisis	2	300	0.5	Metilena biru	(Gang Yang et al. 2016)
Pirolisis	2	300	70	Merah Congo	(Gang Yang et al. 2016)
Pengaktifan kimia menggunakan NAOH	24	105	100	Merah Congo	(Yusef Omidi Khaniabadi et al. 2017)
Pengaktifan kimia menggunakan NAOH	1	60	54.95	Chromium (VI)	(Mishra et al. 2014)
Pengaktifan kimia menggunakan H ₂ SO ₄	3	550	245	Metilena biru	Kajian terkini



RAJAH 9. Kapasiti penyerapan dengan menggunakan pelbagai kaedah penghasilan karbon terakhir dengan menggunakan daun kari

Jadual 6 di atas menyenaraikan pelbagai jenis kaedah bagi menghasilkan karbon teraktif daripada daun kari. Dapat dilihat bahawa kebanyakan kaedah di atas merupakan kaedah pengaktifan menggunakan H₂SO₄ kerana sifat kekuatan asidnya meleraikan pori-pori karbon teraktif itu lalu menjadikannya sesuai agen pengaktifan

(Selvaraj Suresh et al. 2016). Di samping itu, pirolisis juga adalah kaedah terbaik dalam pelaksanaan proses penyerapan menggunakan daun kari kerana pirolisis menggunakan suhu yang tinggi yang dapat meningkatkan kapasiti penyerapan serta membuka pori-pori pada daun kari apabila mencapai suhu optimum (Bin Ji et al. 2019). Peratusan

hasil bagi daun kari melalui pengaktifan kimia dengan menggunakan asid fosforik adalah tinggi iaitu sebanyak 62.3%. Peratusan hasil dapat ditingkatkan jikalau karbon teraktif dihasilkan pada suhu dan tekanan yang optimum.

Rajah 9 di atas menunjukkan bahawa kaedah yang paling sesuai dan efektif untuk menghasilkan karbon teraktif adalah melalui kedah pengaktifan kimia menggunakan H_2SO_4 . Ini menunjukkan serapan kimia mengambil tempat di dalam karbon sewaktu proses pengaktifan. Peratusan C-H-S ke atas bahan penyerap yang lain juga adalah berbeza maka keputusan yang diperoleh adalah berbeza mengikut dengan jenis karbon teraktif yang lain (Sharmila et al. 2013).

OCIMUM TENUIFLORUM

Ocimum tenuiflorum (*Ocimum sacum*) biasanya dikenali sebagai basil suci atau tulasi adalah tanaman abadi aromatik dalam keluarga Lamiaceae. Ia berasal dari benua kecil India dan meluas sebagai tanaman yang ditanam di seluruh kawasan tropika di Asia Tenggara (Hanaa A. Yamani et al. 2015). Tulasi dari keluarga Lamiaceae telah digambarkan sebagai "Ratu tumbuh-tumbuhan" dan "ubat semula jadi ibu" kerana kesan positifnya sebagai ubat-ubatan (Singh et al. 2010). Tulasi merupakan salah satu ramuan yang holistik dan telah digunakan selama bertahun-tahun dalam perubatan tradisional di India dan hampir setiap bahagian tanaman ini dikatakan mempunyai sifat terapeutik (Singh et al. 2010). Secara tradisional, tulasi digunakan dalam pelbagai bentuk iaitu ekstrak berair dari daun (segar atau kering sebagai serbuk) telah digunakan dalam teh herba atau dicampurkan dengan ramuan atau madu lain untuk meningkatkan nilainya dalam aspek perubatan.

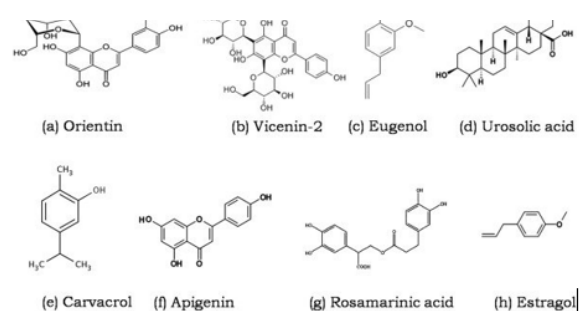
Daun segar dan batang ekstrak tulasi ini menghasilkan sebilangan besar sebatian fenolik (antioksidan) seperti cirsilineol, eugeno, isothymusin, apigenin dan asid rosamerik. Daun tulasi mengandungi 0.7% minyak yang tidak menentu iaitu terdiri daripada sekitar 71% eugenol dan 20% metil eugenol. Minyak tersebut juga mengandungi carvacrol dan hidrokarbon caryophyllena. Selain itu, dua flavonoid iaitu orientin dan and vicenin dari ekstrak daun berair tulasi juga dikenal pasti (Sunita Verma et al. 2016).

Tulasi juga turut dipilih untuk digunakan di dalam ujikaji ini kerana ia senang diperolehi hampir di semua kawasan kediaman penduduk. Selain itu, daun tulasi mempunyai banyak kegunaan sebagai ubat-ubatan semula jadi dalam bidang kesihatan iaitu sebagai antibakteria, antikulat, antiinflamasi, antitumor, dan ubat bius. Dalam era moden ini, pencemaran air sering berlaku dan bahan pencemar seperti besi dan plumbum yang dilepaskan oleh kilang akan ditemui di sungai, tasik, laut, dan sumber air

lain. Bagi mengatasi masalah ini, kaedah penjerapan menggunakan daun tulasi boleh digunakan untuk merawat sumber air tercemar tersebut. Meskipun air tercemar mengandungi komposisi bahan pencemar yang rendah sebanyak 1 mg/L, kaedah penjerapan menggunakan tulasi masih efektif untuk digunakan untuk merawat air. Kaedah yang digunakan adalah secara kaedah pengaktifan kimia menggunakan larutan natrium hidroksida (Sreelakshmi et al. 2017).



RAJAH 10. Daun tulasi (Pioneerherbal 2020)



RAJAH 11. Molekul- molekul dalam Daun Tulsi (Research-net, 1 Jun 2020)

Tulasi juga turut dipilih untuk digunakan di dalam ujikaji ini kerana ia senang diperolehi hampir di semua kawasan kediaman penduduk. Selain itu, daun tulasi mempunyai banyak kegunaan sebagai ubat-ubatan semula jadi dalam bidang kesihatan iaitu sebagai antibakteria, antikulat, antiinflamasi, antitumor, dan ubat bius. Dalam era moden ini, pencemaran air sering berlaku dan bahan pencemar seperti besi dan plumbum yang dilepaskan oleh kilang akan ditemui di sungai, tasik, laut, dan sumber air lain. Bagi mengatasi masalah ini, kaedah penjerapan menggunakan daun tulasi boleh digunakan untuk merawat sumber air tercemar tersebut. Meskipun air tercemar mengandungi komposisi bahan pencemar yang rendah sebanyak 1 mg/L, kaedah penjerapan menggunakan tulasi masih efektif untuk digunakan untuk merawat air. Kaedah yang digunakan adalah secara kaedah pengaktifan kimia menggunakan larutan natrium hidroksida (Sreelakshmi et al. 2017).

Dari sudut pandangan lain, kandungan pH dalam sumber air tercemar juga tinggi dan mengakibatkan

JADUAL 7. Perbandingan antara Kaedah untuk Penghasilan Karbon Teraktif daripada daun tulasi.

Stok suapan	Suhu (oC)	Jenis kaedah	Teknik yang digunakan	Kelebihan	Kekurangan	Peratusan penyingkiran bahan pencema-ran (%)	Rujukan
Tulasi	40	Pirolisis dengan kadar pH yang rendah	Menggunakan bahan kimia asid nitrik	Larutan oksigen (OD) dalam air suling akan menurun Dapat mengurangkan kehakisan keluli Lebih berkesan dalam larutan alkali	Suhu sekata diperlukan bagi reaksi berlaku	55.5	(Venugopal T et al.2015)
Tulasi	67	Pirolisis pada pH=1	Menggunakan pirolisis ringkas menggunakan bahan alkali	Enthalpi penjerapan dan entropi penjerapan mempunyai nilai positif	Uji kaji berlangsung pada jangka masa yang pendek	23.84	(Suganya R. Sharmil et al.2017)
Tulasi	70	Pengaktifan kimia dengan menggunakan NaOH	Kaedah Dua Kali Pirolisis dan NaOH sebagai agen pengaktif kimia	Kadar penjerapan pada pH rendah Kepekatan ion logam serendahl mg/L	Kos tambahan akan diperlukan untuk penggunaan kaedah ini	16.68	(Sreelakshmi C.D, et al.2017)
Tulasi	180	Pengaktifan kimia dengan menggunakan H ₂ SO ₄	Menguji tahap kepekatan logam dengan menggunakan H ₂ SO ₄	Kos rendah untuk menyingkirkan logam berat seperti besi dan plumbum		37.45	(Swaminathan Adaikalam & Singanan Malairajan et al.2015)
Tulasi	250	Pengaktifan kimia dengan menggunakan HCL	Mempertimbangkan penjerapan metilena biru dengan menggunakan HCL	Tarikan kuat terhadap metilena biru pada pH= 8 dan 10	Pembentukan filem penjerap pada permukaan penjerap	78.78	(Mitra J.C, et al. 2017)

ancaman kepada hidupan akuatik. Tulasi mempunyai keupayaan untuk menyerap larutan metilena biru yang biasanya dilepaskan oleh kilang kain dan kilang pengeluar warna. Hal ini kerana pada kandungan pH yang tinggi, tulasi menjadi bahan penjerapan yang lebih efisien dan dapat mengeluarkan pewarna daripada air. Larutan hidroklorik asid digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan keberkesanan kaedah ini (Atul Behara et al. 2016). Kajian ini menunjukkan hidupan akuatik tidak lagi terancam apabila tulasi bertindak sebagai bahan organik bagi penjerapan metilena biru.

Selain itu, daun tulasi dapat mengurangkan kepekatan keluli dalam air. Melalui kaedah penjerapan tulasi, larutan oksigen (OD) dalam air suling akan menurun. Hal ini disebabkan oleh kecekapan perencatan metilena biru yang meningkat dengan peningkatan suhu, pH, dan jumlah jisim karbon yang diaktifkan. Kaedah penjerapan karbon yang digunakan juga telah mengikuti isoterma jerapan Langmuir (Zulfareen et al. 2015). Mengikut data yang diperolehi pada suhu bilik iaitu 32 °C, jumlah larutan oksigen dalam air menurun apabila berlakunya pertambahan karbon teraktif dalam air. Mengikut kaedah ini, sudah pasti bahan herba daun tulasi boleh digunakan untuk mengurangkan larutan oksigen dalam air dan menjadikan air tersebut selamat digunakan untuk kegunaan seharian (Zulfareen et al. 2015).

Secara lazimnya, karbon teraktif sesuai digunakan terhadap bahan terjerap metilena biru, fluorida atau metil jingga. Selain itu, larutan yang mengandungi ions Pb^{2+} juga boleh digunakan sebagai karbon terjerap berdasarkan kajian yang dilaksanakan. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan kaedah pengaktifan kimia dan larutan asid

sulfurik (H_2SO_4). Kaedah penjerapan mengambil tempoh masa lima jam dan 180 °C untuk dijadikan karbon teraktif. Antara kelebihan menggunakan kaedah ini adalah dapat mengurangkan kos rawatan sumber air yang tercemar dengan bahan logam yang berat seperti besi dan plumbum (Swaminathan Adaikalam et al. 2015).

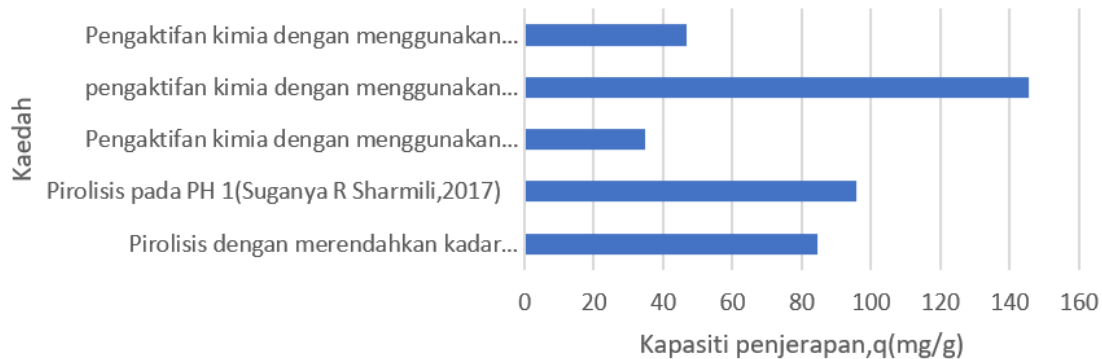
Kajian terdahulu juga menyatakan bahawa nilai pH yang rendah dapat meningkatkan kadar penjerapan tulasi. Bahan terjerap melalui kaedah ini adalah Cr (VI) yang terkandung daripada air sisa kumbahan. Proses berterusan digunakan bagi merawat air sisa kumbahan ini. Kapasiti penjerapan, q (mg/g) didapati adalah 95.9 mg/g. Kadar penjerapan optimum ini berlaku pada kadar pH yang rendah dan optimum iaitu pada $pH = 1$. Menariknya, enthalpi penjerapan dan entropi penjerapan yang berlaku memberikan nilai haba yang dikeluarkan secara positif. Hal ini menunjukkan kadar penjerapan menggunakan tulasi dapat dilaksanakan pada nilai pH yang rendah (Suganya et al. 2017)

Kapasiti penjerapan bagi karbon teraktif daripada daun tulasi diperolehi daripada kajian kepustakaan untuk setiap teknik yang berbeza. Keputusan tersebut tersenarai dalam Jadual 8. Peratusan hasil bagi daun tulasi melalui pengaktifan kimia dengan menggunakan asid fosforik adalah sebanyak 50.5%. Peratusan hasil adalah kurang disebabkan tesktur daun tulasi yang lembut dan kandungan air dalam daun yang tinggi. Namun begitu, peratusan hasil dapat ditingkatkan jikalau kajian dilakukan terhadap daun tulasi untuk menentukan suhu dan teknik pengaktifan kimia yang optimum.

JADUAL 8. Kapasiti penjerapan bagi karbon teraktif daripada daun tulasi

Kaedah	T (jam)	Suhu (°C)	Kapasiti penjerapan, q (mg/g)	Bahan terjerap	Rujukan
Pirolisis dengan merendahkan kadar pH	3	40	84.5	Metilena biru	(Venugopal T et al.2015)
Pirolisis pada pH1	6	67	95.9	Cr (VI)	(Suganya R. Sharmil,2017)
Pengaktifan kimia dengan menggunakan NaOH	3	70	34.76	Metilena biru	(Sreelakshmi C.D,2017 & (Pandhare et al. 2013)
Pengaktifan kimia dengan menggunakan H_2SO_4	5	180	46.78	Pb^{2+}	Swaminathan Adaikalam & Singanan Malairajan 2015)
Pengaktifan kimia dengan menggunakan HCL	4	250	145.57	Metilena biru	(Mitra J.C, et al.2017)

Graf kapasiti penjerapa, q (mg/g) melawan kaedah bagi Thulasi



RAJAH 12. Kapasiti penjerapan karbon teraktif daripada daun thulasi untuk kaedah yang berlainan

Berdasarkan Rajah 12, dapat disimpulkan bahawa kaedah yang paling sesuai dan efektif untuk menghasilkan karbon teraktif menggunakan thulasi adalah melalui pengaktifan kimia dengan menggunakan HCl.

STOK SUAPAN YANG LAIN

Karbon teraktif, atau juga disebut sebagai arang teraktif, adalah bentuk karbon yang diproses bagi membentuk lubang-lubang kecil yang mempunyai isipadu yang rendah bagi meningkatkan luas permukaan tersedia bagi membolehkan penjerapan atau reaksi kimia berlaku (Chada et al. 2015). Karbon teraktif telah digunakan secara meluas sebagai agen bagi penjerapan karbon dioksida. Ini adalah kerana bahan

tersebut bersifat mesra alam, berkos rendah, mempunyai struktur berliang yang tinggi, luas permukaan tinggi dan sifat mekanik yang baik. Pengubahsuaian telah dibuat terhadap karbon teraktif untuk meningkatkan sifat penjerapannya (Wan Azlina et al. 2018).

Antara karbon teraktif yang terdapat ialah sumber sisa biomas. Karbon teraktif yang digunakan bersama asid sulfurik, H_2SO_4 melalui kaedah penjerapan kimia untuk mengeluarkan larutan berair metilena biru dari sumber air tercemar. Kaedah ini menggunakan suhu sekitar $58\text{ }^\circ\text{C}$ selama tiga jam dengan menggunakan H_2SO_4 sebagai pemangkin. Kaedah penjerapan ini juga dapat mengurangkan kos malah menggunakan tenaga rendah semasa tindakbalas (Ali H.J. et al. 2016).

Selain itu, bahan penjerap lain yang mudah didapati seperti kulit biji getah dan kulit kelapa boleh digunakan sebagai karbon teraktif. Karbon teraktif daripada kulit biji getah telah disediakan melalui pengaktifan dengan

menggunakan natrium hidroksida pada nisbah 1:1 dan dibakar pada suhu $500\text{ }^\circ\text{C}$ di bawah aliran gas nitrogen. Ciri-ciri kulit biji getah ditentukan dengan menjalankan analisa Infamerah Transformasi Fourier (FTIR). Keputusan FTIR menunjukkan bahawa kesemua kulit biji getah yang diaktifkan menjadi karbon. Kaedah penjerapan berkelompok telah dijalankan dengan menilai satu parameter iaitu masa penjerapan. Masa penjerapan metilena biru dengan menggunakan karbon teraktif komersial turut dikaji. Peratus penjerapan metilena biru yang paling tinggi iaitu sebanyak 100% telah dicapai oleh karbon teraktif yang bersaiz kecil dalam masa 30 minit (Wan Khairuddin et al. 2014).

Seterusnya ialah karbon teraktif menggunakan sisa kulit nangka melalui kaedah pengaktifan kimia bagi menyingkirkan dan membuang warna metilena biru daripada larutan cecair. Kaedah ini adalah kaedah yang berkesan dan efektif apabila dibandingkan dengan kaedah lain yang berkos tinggi dan memberi kesan sampingan kepada alam sekitar. Ini adalah kerana kaedah penjerapan menggunakan sisa atau bahan semula jadi adalah berkos rendah, mudah didapati dan tidak berbahaya kepada alam sekitar dan ekonomi. Melalui keputusan yang didapati, kapasiti penjerapan bagi karbon teraktif menggunakan sisa kulit nangka ialah 10.43 mg/g (N.A. Rosli et al. 2011). Di samping itu, penjerapan warna biru metilena menggunakan karbon teraktif daripada sekam padi turut dijalankan oleh kerana bahan penjerap yang berkos rendah dan mudah didapati. Kaedah ini diuji di bawah pengaruh H_2SO_4 dan dibakar pada suhu $600\text{ }^\circ\text{C}$ selama dua jam bagi penghasilan karbon teraktif. Hal ini demikian, terbukti bahawa penjerapan melalui pengaktifan kimia menggunakan sekam padi sebagai bahan penjerap bermangkin asid sulfurik mampu menyingkirkan warna metilena biru daripada air larutan kerana keputusan membuktikan 66% warna biru

metelina telah berjaya disingkirkan melalui proses penjerapan ini (Dorothy, A. et al. 2015).

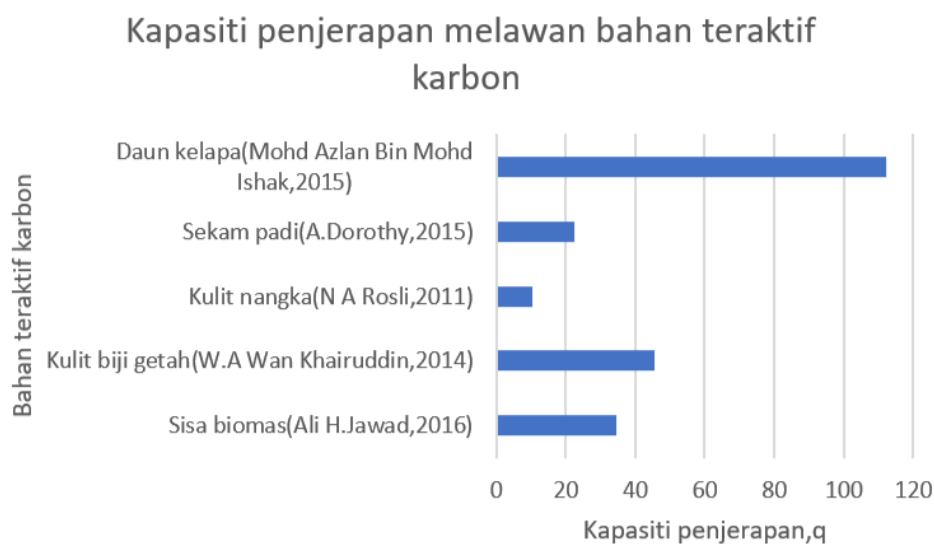
Selain itu, karbon teraktif menggunakan daun kelapa melalui kaedah pengaktifan kimia juga sering digunakan bagi menyingkirkan warna metilena biru daripada larutan cecair. Kaedah ini amat berguna dan efektif di Malaysia berbanding kaedah lain. Hal ini kerana negara kita mempunyai hasil tanaman pokok kelapa yang banyak. Apabila daun pokok kelapa gugur, daun tersebut biasanya akan dibuang begitu sahaja tetapi melalui kaedah

penjerapan, daun kelapa boleh diguna pakai semula sebagai karbon teraktif. Di samping itu, karbon yang diaktifkan melalui cara ini juga mengikuti 'Pseudo Second order model' di mana kadar penjerapan ditemui pada permukaan karbon teraktif dan juga di dalam cecair metilena biru (Mohd Azlan Bin Mohd Ishak et al. 2015).

Kapasiti penjerapan bagi karbon teraktif daripada bahan organik yang lain dihitung untuk setiap teknik yang berbeza. Keputusan tersebut telah ditunjukkan dalam Jadual 9.

JADUAL 9. Perbandingan kapasiti penjerapan karbon teraktif daripada bahan organik yang lain

Bahan Teraktif Karbon	T (jam)	Suhu (°C)	Kapasiti penjerapan, q (mg/g)	Bahan terjerap	Rujukan
Sisa Biomass yang digunakan secara pengaktifan kimia dengan larutan H ₂ SO ₄	3	58	34.5	Metilena biru	Ali H. Jawad et al. 2016
Kulit biji getah secara pengaktifan kimia dengan menggunakan natrium hidroksida	3.5	150	45.67	Metilena biru	Wan Khairuddin et al. 2014
Kulit nangka secara kaedah pirolisis	3	70	10.43	Metilena biru	N,A Rosli et al., 2011
Sekam padi melalui kaedah pirolisis menggunakan pengaktifan kimia dengan asid sulfirik	2	600	22.57	Metilena biru	A. Dorothy et al.2015
Daun kelapa menggunakan pengaktiifan kimia dengan HCL	2.5	180	112.35	Metilena biru	Mohd Azlan Bin Mohd Ishak, 2015



RAJAH 13. Kapasiti penjerapan stok suapan

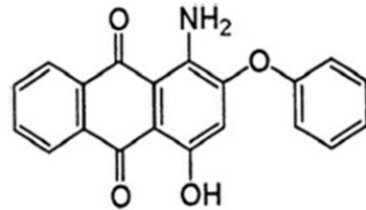
Berdasarkan graf yang ditunjukkan dalam Rajah 13, dapat disimpulkan bahawa kaedah yang paling sesuai dah efektif untuk menghasilkan karbon teraktif adalah melalui daun kelapa.

PERBANDINGAN ANTARA KARBON TERAKTIF BERASASKAN HERBA DAN STOK SUAPAN YANG LAIN

Dalam industri tekstil, pewarna digunakan untuk mewarnakan produk-produk mereka dan lebih kurang 10-15% pewarna dihasilkan semasa proses pencelupan (Enas A. et al. 2016). Pewarna tersebut kemudiannya mencemari saluran air yang sedia ada. Oleh itu, salah satu langkah perawatan air sisa adalah dengan menggunakan karbon teraktif. Terdapat pelbagai jenis bahan terjerap yang digunakan dalam industri rawatan air sisa seperti pewarna dan juga mikroorganisma. Pewarna pula terbahagi kepada tiga kumpulan iaitu asid, reaktif, dan tersebar yang dikelaskan mengikut sifat kimia pewarna itu (Tahereh Z. et al. 2019). Pewarna asid selalunya digunakan dalam pembuatan nilon, bulu dan gentian sutera bersifat sebatian anion dan larut dalam air sama seperti sifat pewarna teraktif (Taherah Z.M. et al. 2019; Phalakornkule et al. 2010). Tetapi pewarna tersebar hanya larut dalam benang kerana ia tidak larut dalam air (El-sayed et al. 2012). Begitu juga dengan mikroorganisma yang menjadi bahan terjerap seperti E.Coli untuk menentukan tahap antimikrobial karbon teraktif melalui ujian kolifom.

Bagi daun moringa, kita dapat lihat nilai kapasiti penjerapan yang tertinggi adalah pewarna Dispersed Red

(DR60) iaitu sebanyak 196.8mg/g. Menurut kajian yang dijalankan, pewarna DR60 tidak dipengaruhi oleh suhu operasi, pemangkin dan juga pH kerana keputusan menunjukkan penyingkiran berterusan pada semua parameter yang diuji (Nor Salmi Abdullah et al., 2017). Rajah 15 di bawah menunjukkan struktur kimia bagi DR60, $C_{20}H_{13}NO_4$.



RAJAH 14. Struktur Kimia DR60
Sumber: Taherah Zarei Mahmoudabadi et al. (2019)

Di samping itu, pewarna metilena biru mempunyai nilai penjerapan tertinggi bagi dua jenis herba yang digunakan iaitu neem dan daun kari dengan nilai penjerapan sebanyak 245mg/g dan 580.75mg/g, masing-masing. Pewarna metilena biru disifatkan sebagai asid-alkali penunjuk dan antioksidan. Dalam ujikaji yang dijalankan, parameter optimum dapat direkod seperti pH optimum adalah neutral iaitu pH 7 dan suhu operasi adalah di antara 500 °C sehingga 800 °C. Walau bagaimanapun, parameter optimum akan berubah mengikut kemampuan penjerapan oleh bahan karbon teraktif yang digunakan kerana setiap karbon teraktif mempunyai sifat yang tersendiri.

JADUAL 10. Kapasiti penjerapan bagi karbon teraktif daripada herba dan stok suapan

Jenis Suapan	Jenis Terjerap	Kapasiti Penjerapan, q (mg/g)	Rujukan
<i>Moringa Oleifera</i>	Pewarna kongo merah	170.7	Nor Salmi Abdullah et al. 2017
<i>Moringa Oleifera</i>	Pewarna merah tersebar (DR60)	196.8	Nor Salmi Abdullah et al 2017
Tulasi	Plumbum(II)	46.78	Swaminathan Adaikalam1 dan Singanan Malairajan 2015
Tulasi	Metilena Biru	157.65	Kajian terkini
Daun kari	Kromium	150	Sharmila S et al. 2016
Daun kari	Metilena Biru	245	Kajian terkini
Neem	Kromium(IV)	537.924	Pandhare et al. 2013
Neem	Metilena Biru	580.75	Kajian terkini
Daun kelapa	Metilena Biru	112.35	Mohd Azlan bin Mohd Ishak 2015
Kulit biji getah	Metilena Biru	45.67	W.A. Wan Khairuddin 2014

PERBINCANGAN DAN PROSPEK MASA HADAPAN

Dalam industri rawatan air sisa, karbon teraktif kimia juga digunakan secara meluas. Karbon teraktif kimia yang biasa digunakan adalah seperti garam bukan organik seperti $Al(SO_4)_3$, atau organik sintetik polimer (Mathuram, M. et al. 2018). Karbon teraktif kimia dan semulajadi mempunyai kegunaan yang sama iaitu dijadikan sebagai bahan penyerapan dalam rawatan sisa air untuk menyerap pewarna, logam berat, dan unsur-unsur yang berbahaya. Dalam persamaan ini, hadir perbezaan antara kedua-duanya seperti

Jadual 11. Akhir sekali, antara strategi yang boleh dilaksanakan bagi mengurangkan pembebasan bahan kimia ke alam sekitar adalah dengan menggunakan bahan kimia yang tidak atau kurang memudaratkan persekitaran seperti asid fosforik. Selain itu, pembebasan bahan kimia ke dalam persekitaran dapat dikurangkan dengan cara meninggikan serombong asap dan memasang alat penapis asap di dalam serombong tersebut dan mewujudkan zon hijau dengan menanam pokok di sekitar kawasan kilang bagi memerangkapkan pencemaran habuk dan asap.

JADUAL 11. Perbandingan antara Karbon Teraktif Kimia dan Semula jadi

Parameter	Karbon teraktif semula jadi	Karbon teraktif kimia
Ekonomi	• Kos pengeluaran yang rendah kerana bahan mentah yang mudah didapati	•Kos pengeluaran yang lebih tinggi kerana pembelian bahan kimia yang mahal dan perlu melakukan proses rawatan
Dos	• Memerlukan dos yang rendah	• Memerlukan dos yang tinggi
Keberkesanan	• Karbon teraktif semulajadi tidak menghasilkan sebarang produk sampingan yang berbahaya dan tidak balasnya lebih stabil	• Karbon teraktif kimia menghasilkan produk sampingan berbahaya dimana memerlukan proses rawatan bagi produk sampingan.
Tosik	• Kurang berbahaya kepada alam sekitar dan pengguna.	• Tidak sesuai untuk dijadikan air minuman kerana mempunyai bahan berbahaya yang bertoksik tinggi.
Enapcemar	• Bahan enapcemar adalah bersifat biodegradasi yang boleh dikitar semula	• Menghasilkan bahan enapcemar yang banyak dimana mengandungi bahan kimia yang berbahaya.
Penyingkiran logam berat	• Dapat menyingkirkan pelbagai jenis logam berat dengan mudah.	• Logam berat seperti Zn, Cd, As tidak dapat disingkirkan dengan mudah.

Sumber: M. Mathuram et al. (2018)

Melalui perbincangan di atas, dapat diperhatikan bahawa karbon teraktif yang dihasilkan daripada herba mempunyai potensi yang baik, mesra alam serta boleh digunakan di dalam pelbagai bidang seperti industri perawatan air sisa kumbahan, farmaseutikal, industri penulenan udara dan air mahupun industri makanan. Namun begitu, masih terdapat jurang penyelidikan mengenai penghasilan karbon teraktif daripada herba.

Bagi mengurangkan jurang tersebut, terdapat beberapa cadangan yang boleh dilaksanakan. Pertama, pada masa hadapan, kajian tentang keadaan optimum bagi setiap jenis kaedah pengaktifan secara fizikal mahupun kimia perlulah dijalankan. Hal ini demikian, kerana parameter- parameter yang optimum perlu dikenal pasti untuk menghasilkan karbon teraktif yang sesuai dengan aplikasi tertentu.

Di samping itu, lebih banyak kajian diperlukan untuk menentukan kaedah yang sesuai bagi penghasilan karbon teraktif daripada herba berbanding dengan kaedah konvensional. Para penyelidik harus mengkaji dan memperbaiki kaedah yang sedia ada dalam penghasilan karbon teraktif yang mempunyai penyerapan yang lebih

tinggi. Di samping itu, gabungan kaedah pengaktifan kimia dan fizikal berpotensi untuk meningkatkan kecekapan penyerapan karbon teraktif yang dihasilkan daripada herba.

Terdapat kemungkinan untuk menghasilkan karbon teraktif daripada herba yang memiliki ciri-cirinya yang tersendiri atau dalam istilah lain, *designer activated carbon*. Karbon teraktif yang dihasilkan daripada herba dapat direkabentuk melalui pemilihan parameter yang strategik agar sesuai dengan aplikasi tertentu. Setelah menetapkan aplikasi karbon teraktif yang hendak dihasilkan, ciri-ciri yang diperlukan dalam designer activated carbon dapat dicapai dengan menentukan serta mengoptimumkan parameter pirolisis (teknologi, suhu, pirolisis).

Gambaran sebenar berkenaan masalah yang timbul untuk penghasilan yang berskala besar, kestabilan karbon teraktif yang terhasil, dan penggunaan semula karbon teraktif perlulah dikaji semasa aplikasi secara praktikal dilaksanakan pada masa hadapan. Hal ini demikian, kajian berkenaan aspek-aspek yang dinyatakan adalah terlalu sedikit

Ketika proses pengaktifan kimia dijalankan untuk penghasilan karbon teraktif, bahan pencemar seperti HNO_3 , KOH dan HCl mungkin akan meresap ke dalam persekitaran dan ini akan menyebabkan pencemaran alam sekitar. Maka, perhatian perlu diberi untuk meningkatkan kestabilan karbon teraktif dengan meminimumkan potensi pencemaran alam sekitar.

HALA TUJU PENYELIDIKAN BERKENAAN HERBA

Perbandingan antara kaedah tentang penyediaan karbon teraktif daripada beberapa tanaman herba yang digunakan ditunjukkan dalam kajian ini. Daun kari, daun neem, daun tulasi dan daun moringa merupakan herba yang berpotensi sebagai bahan penjerap yang berkesan. Akan tetapi, hasil keputusan, pembacaan, serta data yang diperolehi menunjukkan karbon teraktif daripada daun neem terbukti merupakan bahan penjerap yang paling berkesan serta berkos rendah. Ini kerana daun neem mempunyai kandungan karbon yang sangat tinggi dan jikalau diproses dengan baik, daun neem dapat dijadikan sebagai bahan penjerap yang berkesan.

Selain itu, carta bar yang dilampirkan bagi setiap tanaman herba membuktikan kaedah penjerapan yang paling berkesan mengikut bahan penjerapan yang digunakan. Bagi daun moringa, kami mendapati bahawa kaedah pirolisis penjerapan menghasilkan kapasiti yang paling tinggi berbanding kaedah lain oleh sebab pirolisis stim menggunakan haba yang tinggi sesuai dengan suhu optimum daun moringa. Bagi daun kari, kaedah pengaktifan kimia menggunakan asid sulfurik, H_2SO_4 menghasilkan kapasiti yang paling tinggi berbanding kaedah lain oleh sebab suhu yang sesuai bagi daun kari bersesuaian dengan tindak balas asid sulfurik yang membantu membuka struktur liang yang terdapat padanya. Manakala bagi daun neem, kaedah pengaktifan kimia menggunakan asid fosforik, H_3PO_4 menghasilkan kapasiti yang paling tinggi berbanding kaedah lain kerana menggunakan gabungan kimia dan fizikal yang membantu untuk formasi liang dan rongga-rongga pori dan akhir sekali bagi daun tulasi, kapasiti menunjukkan kaedah pengaktifan kimia menggunakan asid hidroklorik, HCl adalah kaedah yang paling cekap oleh kerana kekuatan asid hidroklorik yang mampu meleraikan pori-pori karbon teraktif yang digunakan sebagai bahan penjerap.

Pada masa hadapan, logik kabur yang merupakan elemen kepintaran buatan berasaskan perisian komputer MATLAB dibangunkan bagi meramalkan kapasiti dan kecekapan penjerapan berlandaskan Standard dan Indeks Kualiti Air Tanah Malaysia untuk menguji keberkesanan serta menentukan ketulenan air yang dirawat dengan menggunakan tanaman herba ini.

KESIMPULAN

Kaedah pengaktifan karbon teraktif dan aplikasi karbon aktif yang terhasil daripada pelbagai herba telah dinyatakan secara komprehensif melalui pemerhatian kajian kepustakaan dan ujikaji yang dijalankan. Kaedah pengaktifan kimia dan fizikal didapati banyak mempengaruhi sifat spesifik setiap karbon teraktif seperti pH, suhu optimum, penggunaan asid, dan tempoh masa pengaktifan yang sesuai. Herba berpotensi untuk dijadikan sebagai karbon teraktif yang berkos rendah dan mesra alam seperti dinyatakan dalam industri bagi merawat sisa dan penyingkiran pewarna yang berbahaya dalam air. Di samping itu, tanaman-tanaman yang dipilih untuk penghasilan karbon teraktif dipilih berdasarkan keberkesanan tanaman tersebut sebagai bahan penjerap dalam proses rawatan air sisa serta ianya adalah sumber yang mudah dalam proses perawatan air sisa dan industri yang mudah dan murah serta tidak membawa kemudaratan atau kesan negatif kepada ekonomi dan alam sekitar. Majoriti proses penghasilan karbon teraktif daripada herba tidak menghasilkan bahan sampingan yang berbahaya. Daun Neem telah menunjukkan keputusan yang terbaik bagi penghasilan karbon teraktif berbanding herba lain yang dikaji di dalam kajian ini dengan menggunakan teknik pirolisis sebanyak dua kali. Parameter yang optimum perlu dikenal pasti dalam penghasilan karbon teraktif daripada herba dengan kapasiti penjerapan yang tinggi. Aplikasi kepintaran buatan iaitu logik kabur juga boleh dibangunkan pada masa hadapan bagi menentukan sifat dan ketulenan sesuatu air melalui penjerapan karbon teraktif.

PENGHARGAAN

Sekalung penghargaan dan terima kasih ditujukan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia kerana telah menaja penyelidikan dibawah geran GUP-2019-012.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Abdul Hamid, N.S., Che Malek, N.A., Mokhtar, H., Mazlan, W.S. & Mohd Tajuddin, R. 2016. Removal of oil and grease from wastewater using natural adsorbents. *Jurnal Teknologi* 78(5-3): 97-102.
- Abdullah, N.S., Mohd Hazwan, Hussin Sharifuddin, S.S. & Mohamed, M.A. 2017. Preparation and characterization of activated carbon from moringa oleifera seed pod. *Science International* 29(1): 7-11.

- Abdulqader Saeed Almaamary, E., Rozaimah Sheikh Abdullah, S., Abu Hasan, H., Adne Ab Rahim, R. & Idris, M. 2017. Treatment of methylene blue in wastewater using scirpus grossus. *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 21(1): 182–187.
- Adaikalam, S. & Malairajan, S. 2015. Removal of Pb (II) ions from synthetic wastewater by biocarbon of *Ocimum sanctum* (Lamiaceae). *Elixir Appl. Chem* 78(JANUARY): 29657–29659.
- Aini Zakaria, H., Wan Mansor, W.S. & Shahrin, N. 2018. Development of water treatment sachets from the seeds of *moringa oleifera* and activated carbon. *MATTER: International Journal of Science and Technology* 3(3): 240–252.
- Amit, K. 2017. Esthetic zirconia crown in pedodontics. *International Journal of Pedodontic Rehabilitation* 3(1):46–50.
- Ang X.W., Sethu V.S., Andresen, J.M. & Sivakumar, M. 2012. Copper (II) ion removal from aqueous solutions using biosorption technology: Thermodynamic and SEM–EDX studies. *Clean Technologies and Environmental Policy* 15: 401–407
- Ankita & Prasad, K. 2016. Adsorption studies of radish leaf powder. *MATEC Web of Conferences* 57: 1–6.
- Balaji, R. 2011. Antioxidant activity of methanol extract of *Ocimum tenuiflorum* (Dried Leaf and Stem). *International Journal of Pharma Research & Development* 3(1): 20–27.
- Balakrishnan, R., Vijayaraja, D., Jo, S., Ganesan, P., Su-kim, I. & Choi, D. 2020. Pharmacological activities of *murraya koenigii* and its primary bioactive compounds. *Antioxidants* 9: 101.
- Bandyopadhyay, D., Ghosh, D., Chattopadhyay, A. & Mitra, E. 2016. Curry leaves as alternative medicine in heavy metal induced occupational health hazards. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 8(8): 8–20.
- Barajas, J.R. & Pagsuyoin, S. 2015. Development of a low-cost water treatment technology using *Moringa oleifera* seeds. 2015 Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS 2015 00(c): 24–28.
- Baudron, V., Gurikov, P. & Smirnova, I. 2018. SC Graphical abstract. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.12.055>.
- Bhattacharjee, S. 2016. Adsorptive removal of Methylene blue using *Azadirachta Indica* (Neem) Leaf. *International Research Journal of Environmental Sciences* 5(1): 21–24.
- Bipinbhai, K.D. & Aparnathi, K.D. 2017. Evaluation of curry leaves (*Murraya koenigii*) for enhancing shelf-life of ghee against oxidative deterioration 6(6): 951–962.
- Bonde S.D., Nemade L.S., Patel M.R., Patel A.A. 2011. *Murraya koenigii* (Curry leaf): Ethnobotany, phytochemistry and pharmacology - A review. *Int J Pharm Phytopharmacol Res* 1: 23–7.
- Breil, C., Meullemiestre, A., Vian, M. & Chemat, F. 2016. Bio-based solvents for green extraction of lipids from oleaginous yeast biomass for sustainable aviation biofuel. *Molecules* 21(2): 1–14.
- Chakrabarty, S. & Sarma, H.P. 2012. Defluoridation of contaminated drinking water using neem charcoal adsorbent: Kinetics and equilibrium studies. *International Journal of ChemTech Research* 4(2): 511–516.
- Chen, Y., Zhu, Y., Wang, Z., Li, Y., Wang, L., Ding, L., Gao, X., Ma, Y. & Guo, Y. 2011. Application studies of activated carbon derived from rice husks produced by chemical-thermal process - A review. *Advances in Colloid and Interface Science* 163(1): 39–52.
- Compendex, S., Elsevier, G., Services-usa, G.I., Nadu, T. & Pradesh, A. 2016. Feasibility study of powdered curry leaf and amla fruit as potential filter media for treating contaminated lake water.
- Dargo, H., Gabbiye, N. & Ayalew, A. 2014. Removal of methylene blue dye from textile wastewater using activated carbon prepared from rice husk 9(2): 317–325.
- Delgado, L.F., Charles, P., Glucina, K. & Morlay, C. 2012. The removal of endocrine disrupting compounds, pharmaceutically activated compounds and cyanobacterial toxins during drinking water preparation using activated carbon-A review. *Science of the Total Environment* 435–436: 509–525.
- Djakba, R., Harouna, M., Gaineumbo, S., Fonga, N., Baïboussa, G. & Loura, B. 2017. Adsorption of cadmium and copper ions in aqueous solution by using activated carbon resulting from hulls of neem. *Chemical Science International Journal* 18(4): 1–10.
- Dorothy, A. & Mideen, A.S. 2015. Adsorption of Methylene blue dye on activated carbon from rice husk. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 7(2): 761–765.
- Dula, T., Siraj, K. & Kitte, S.A. 2014. Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution using chemically activated carbon prepared from locally available waste of bamboo (*oxytenanthera abyssinica*). *ISRN Environmental Chemistry* 2014: 1–9.
- El Maguana, Y., Elhadiri, N., Bouchdoug, M., Benchanaa, M. & Boussetta, A. 2018. Optimization of preparation conditions of novel adsorbent from sugar scum using response surface methodology for removal of methylene blue. *Journal of Chemistry* 2018
- Fernandez, M.E., Nunell, G.V., Bonelli, P.R. & Cukierman, A.L. 2010. Effectiveness of *Cupressus sempervirens* cones as biosorbent for the removal of basic dyes from aqueous solutions in batch and dynamic modes. *Bioresource Technology* 101(24): 9500–9507.
- Gopalakrishnan, L., Doriya, K. & Kumar, D.S. 2016. *Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness* 5(2): 49–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001>.
- Gupta, V.K., Nayak, A., Bhushan, B. & Agarwal, S. 2015. A critical analysis on the efficiency of activated carbons from low-cost precursors for heavy metals remediation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 45(6): 613–668.
- Barajas, J.R. & Pagsuyoin, S. 2015. Development of a low-cost water treatment technology using *Moringa oleifera* seeds. 2015 Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS 2015 00(c): 24–28.
- Bhattacharjee, S. 2016. Adsorptive removal of Methylene blue using *Azadirachta Indica* (Neem) Leaf. *International Research Journal of Environmental Sciences* 5(1): 21–24.
- Chakrabarty, S. & Sarma, H.P. 2012. Defluoridation of contaminated drinking water using neem charcoal adsorbent: Kinetics and equilibrium studies. *International Journal of ChemTech Research* 4(2): 511–516.
- Djakba, R., Harouna, M., Gaineumbo, S., Fonga, N., Baïboussa, G. & Loura, B. 2017. Adsorption of Cadmium and copper ions in aqueous solution by using activated carbon resulting from hulls of neem. *Chemical Science International*

- Journal* 18(4): 1–10.
- Gopalakrishnan, L., Doriya, K. & Kumar, D.S. 2016. Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness* 5(2): 49–56.
- Gupta, V.K., Nayak, A., Bhushan, B. & Agarwal, S. 2015. A critical analysis on the efficiency of activated carbons from low-cost precursors for heavy metals remediation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 45(6): 613–668.
- Helen Kalavathy, M. & Miranda, L.R. 2010. Moringa oleifera-A solid phase extractant for the removal of copper, nickel and zinc from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal* 158(2): 188–199.
- Ibrahim, M.B. & Sani, S. 2015. Neem (*Azadirachta indica*) leaves for removal of organic pollutants. *International Conference on Environmental Pollution and Public Health, EPPH 2015* (April): 1–9.
- Alau, K.K., Gimba, C.E., Agbaji, B.E., Abechi, S.E., Kenneth, A., Appl, A. & Res, S. 2015. Removal of nitrite, chloride and phosphate ions from hospital wastewater using Neem (*Azadirachta Indica*) activated carbon. *Archives of Applied Science Research* 7(4): 51–55.
- Manjunatha, K.R. & Vagish, M. 2016. Study on adsorption efficiency of neem leaves powder in removal of reactive red dye color from aqueous solution.
- Marichelvam, M.K. & Azhagurajan, A. 2018. Removal of mercury from effluent solution by using banana corm and neem leaves activated charcoal. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management* 10: 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.08.00>.
- Mulyaningsih, T.R. & Yusuf, S. 2018. Determination of minerals content in leaves of moringa oleifera by neutron activation analysis. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir* 21(1): 11.
- Pandhare, G., Trivedi, N. & Pathrabe, R. 2013. Adsorption of Cr (VI) using Low-Cost Adsorbent as a neem leaves (*azadirachta indica*) powder 2(11): 685–688.
- Qadir, I. & Chhipa, R.C. 2017. Synthesis, characterization, and evaluation of adsorption properties of activated carbon obtained from neem leaves (*Azadirachta indica*). *Oriental Journal of Chemistry* 33(4): 2095–2102.
- Shafiq, M., Alazba, A.A. & Amin, M.T. 2018. Removal of heavy metals from wastewater using date palm as a biosorbent: A comparative review. *Sains Malaysiana* 47(1): 35–49.
- Singh, R.K. 2017. Removal of fluoride from ground water by thermally activated neem (*azadiractica indica*) and peepal (*ficus religiosa*) leaves carbon adsorbents. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 6(7): 1050–1057.
- Sowmyashree V.C., Tejaswini N.B., Rasma, S. & Manjunath, N.T. 2015. Removal of Reactive blue dye from aqueous solution using neem leaves powder as an adsorbent. *International Journal of Innovative Research & Development* 4(8): 117–120.
- Sumathi, T. & Alagumuthu, G. 2014. Adsorption studies for arsenic removal using activated Moringa oleifera. *International Journal of Chemical Engineering* 2014(Table 1): 1–7.
- Tan, X.F., Liu, S.B., Liu, Y.G., Gu, Y.L., Zeng, G.M., Hu, X.J., Wang, X., Liu, S.H. & Jiang, L.H. 2017. Biochar as potential sustainable precursors for activated carbon production: Multiple applications in environmental protection and energy storage. *Bioresource Technology* 227: 359–372.
- <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.083>.
- Vinodhini, V. & Das, N. 2009. Mechanism of Cr (VI) biosorption by neem sawdust. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture* 4(4): 324–329.
- <https://neemfoundation.org/>
- https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Azadirachtin_A
- <https://www.daily-sun.com/post/377412/Wonderful-Benefits-and-Uses-of-Neem>
- Ibrahim, M.B. & Sani, S. 2015. Neem (*Azadirachta indica*) leaves for removal of organic pollutants. *International Conference on Environmental Pollution and Public Health, EPPH 2015* (April): 1–9.
- Ishtiaque, S., Naz, S., Soomro, N., Siddiqui, R. & Khan, K. 2015. Antioxidant activity and total phenolics content of extracts from *murraya koenigii* (curry leaves), *laurus nobilis* (bay leaves), and *camellia sinensis* (tea). *Journal of Engineering, Science and Technology* 14(2): 20–25.
- Jawad, A.H., Rashid, R.A., Ishak, M.A.M. & Wilson, L.D. 2016. Adsorption of methylene blue onto activated carbon developed from biomass waste by H₂SO₄ activation: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment* 57(52): 25194–25206. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2016.1144534>.
- Jawad, A.H., Rashid, R.A., Mahmud, R.M.A., Ishak, M.A.M., Kasim, N.N. & Ismail, K. 2016. Adsorption of methylene blue onto coconut (*Cocos nucifera*) leaf: optimization, isotherm and kinetic studies. *Desalination and Water Treatment* 57(19): 8839–8853.
- Kalyani, C.S.R.G., Babu, K.S., Kishore, M. & Murthy, M.K. 2018. Efficiency of plant based activated carbon in the removal of boron ion from aqueous media. *Kinetics and Equilibrium Studies* 7(2): 556–573.
- M.S. Sulaiman. 2015. *Azadirachta indica* (neem) an alternative biosorbent 1(June): 265–270.
- Mahmoudabadi, T.Z., Talebi, P. & Jalili, M. 2019. Removing Disperse red 60 and Reactive blue 19 dyes removal by using *Alcea rosea* root mucilage as a natural coagulant. *AMB Express* 9(1) <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0839-9>.
- Manjunatha, K.R. & Vagish, M. 2016. Study on adsorption efficiency of neem leaves powder in removal of reactive red dye color from aqueous solution.
- Marichelvam, M.K. & Azhagurajan, A. 2018. Removal of mercury from effluent solution by using banana corm and neem leaves activated charcoal. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management* 10: 360–365.
- McConnachie, G.L., Warhurst, A.M., Pollard, S.J. & Chipofya, V. 1996. Activated carbon from Moringa husks and pods. Reaching the Unreached - Challenges for the 21st Century: Proceedings of the 22nd WEDC Conference (December): 279–282.
- Meneghel, A.P., Celso, A.Jr, G., Strey, L., Rubio, F. & Schwantes, D. 2013. *Artigo* 36(8): 1104–1110.
- Mistar, E.M., Hasmita, I., Alfatah, T., Muslim, A. & Supardan, M.D. 2019. Adsorption of mercury (II) using activated carbon produced from *bambusa vulgaris* var. *Striata* in a fixed-bed column. *Sains Malaysiana* 48(4): 719–725.
- Mitra, J.C. 2017. Use of leaves and barks of some plants as bio-adsorbents in the control of methylene blue dye from waste water discharge of some industries use of leaves and barks of some plants as bio-adsorbents in the control of methylene blue dye from waste water disc (December).

- Mohd-Salleh, S.N.A., Mohd-Zin, N.S. & Othman, N. 2019. A review of wastewater treatment using natural material and its potential as aid and composite coagulant. *Sains Malaysiana* 48(1): 155–164.
- Mordhiya, B., Daga, K., Chandra, S. & Aggarwal, S. 2012. Adsorptive treatment of Methylene Blue Dye from aqueous solution using moringa oleifera as an adsorbent. *Nature Environment and Pollution Technology* 11(1): 113–116.
- Mulyaningsih, T.R. & Yusuf, S. 2018. Determination of Minerals Content in Leaves of Moringa Oleifera By Neutron Activation Analysis. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir* 21(1): 11.
- National Center for Biotechnology Information. PubChem Database. Methylene blue, CID=6099, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methylene-blue> (accessed June 1 2020)
- Onn, M., Nor, H.M. & Wan Ali, W.K. 2014. Development of solid rocket propellant based on Isophorone Diisocyanate - Hydroxyl terminated natural rubber binder. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)* 69(2): 53–58.
- Painuli, S. & Kumar, N. 2016. Prospects in the development of natural radioprotective therapeutics with anti-cancer properties from the plants of Uttarakhand region of India. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine* 7(1): 62–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaim.2015.09.00>.
- Pandhare, G., Trivedi, N. & Pathrabe, R. 2013. Adsorption of Cr (VI) using Low-Cost Adsorbent as a Neem Leaves (Azadirachta Indica) Powder 2(11): 685–688.
- Phalakornkule, C., Polgumhang, S., Tongdaung, W., Karakat, B. & Nuyut, T. 2010. Electrocoagulation of blue reactive, red disperse and mixed dyes, and application in treating textile effluent. *Journal of Environmental Management* 91(4): 918–926.
- Qadir, I. & Chhipa, R.C. 2017. Synthesis, characterization, and evaluation of adsorption properties of activated carbon obtained from neem leaves (Azadirachta indica). *Oriental Journal of Chemistry* 33(4): 2095–2102.
- Saad, M.J., Chia, C.H., Zakaria, S., Sajab, M.S., Misran, S., Rahman, M.H.A. & Chin, S.X. 2019. Physical and chemical properties of the rice straw activated carbon produced from carbonization and KOH activation processes. *Sains Malaysiana* 48(2): 385–391.
- Sevilla, M., Mokaya, R. 2014. Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage. *Energy Environ. Sci.* 7(4), 1250–1280.
- Shafiq, M., Alazba, A.A. & Amin, M.T. 2018. Removal of heavy metals from wastewater using date palm as a biosorbent: A comparative review. *Sains Malaysiana* 47(1): 35–49.
- Sharmila, A., Prema, A.A. & Sahayaraj, P.A. 2010. Influence of Murraya koenigii (curry leaves) extract on the corrosion inhibition of carbon steel in HCL solution. *Rasayan Journal of Chemistry* 3(1): 74–81.
- Sharmila, S., Jeyanthi Rebecca, L. & Saduzzaman, M. 2013. Biodegradation of domestic effluent using different solvent extracts of Murraya koenigii. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 5(2): 279–282.
- Singh, R.K. 2017. Removal of fluoride from ground water by thermally activated neem (azadiractica indica) and peepal (ficus religiosa) leaves carbon adsorbents. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 6(7): 1050–1057.
- Soliman, N.K., Moustafa, A.F., Aboud, A.A. & Halim, K.S.A. 2019. Effective utilization of Moringa seeds waste as a new green environmental adsorbent for removal of industrial toxic dyes. *Journal of Materials Research and Technology* 8(2): 1798–1808.
- Sowmyashree V.C., Tejaswini N. Bhagwat, R.S. 2015. Removal of Reactive Blue Dye from Aqueous Solution Using Neem Leaves Powder as an Adsorbent. *International Journal of Innovative Research & Development* 4(8): 117–120.
- Sreelakshmi, C. 2017. Heavy Metal Removal from Wastewater using Ocimum Sanctum. *Ijltemas VI(Iv)*: 85–90.
- Sumathi, T. & Alagumuthu, G. 2014. Adsorption studies for arsenic removal using activated Moringa oleifera. *International Journal of Chemical Engineering* 2014(Table 1): 1–7.
- Suresh, S., Sugumar, R.W. & Maiyalagan, T. 2011. Adsorption of acid red 18 from aqueous solution onto activated carbon prepared from murraya koenigii (curry tree) seeds. *Asian Journal of Chemistry* 23(1): 219–224.
- Suresh, S. 2016. Orbital: the electronic journal of chemistry biosorption of Cr(VI) from aqueous solution using murraya koenigii (curry tree) stems 8(6): 6–9. <http://dx.doi.org/10.17807/orbital.v0i0.867>.
- Tengku Hasbullah, T.N.A., Selaman, O.S. & Rosli, N.A. 2014. Removal of methylene blue from aqueous solutions using chemical activated carbon prepared from jackfruit (artocarpusheterophyllus) peel waste. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology* 5(1): 34–38.
- Teow, Y.H., Chua, S.F. & Muhammad Faizal Radzi, U.G. 2019. Comparative study for lake water remediation: Chemical coagulation and electrocoagulation. *Jurnal Kejuruteraan* 1(6): 81–87.
- Verma, S. 2016. Chemical constituents and pharmacological action of Ocimum sanctum (Indian holy basil-Tulsi). *The Journal of Phytopharmacology* 5(5): 205–207.
- Vinodhini, V. & Das, N. 2009. Mechanism of Cr (VI) biosorption by neem sawdust. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture* 4(4): 324–329.
- Wan Ab Karim Ghani, W.A., Madzaki, H., Yaw, T.C.S., Rashid, U. & Muda, N. 2018. Carbon dioxide adsorption on activated carbon hydrothermally treated and impregnated with metal oxides. *Jurnal Kejuruteraan* 30(1): 31–38.
- Warhurst, A.M., McConnachie, G.L. & Pollard, S.J.T. 1996. The production of activated carbon for water treatment in Malawi from the waste seed husks of Moringa oleifera. *Water Science and Technology* 34(11 pt 7): 177–184. [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(96\)00836-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(96)00836-0).
- Yahya, M.A., Al-Qodah, Z. & Ngah, C.W.Z. 2015. Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 46: 218–235.
- Yamani, H.A., Pang, E.C., Mantri, N. & Deighton, M.A. 2016. Antimicrobial activity of Tulsi (Ocimum tenuiflorum) essential oil and their major constituents against three species of bacteria. *Frontiers in Microbiology* 7(MAY): 1–10.
- Yait Haan, T., Ghani, M.S.H. & Mohammad, A.W. 2018. Physical and chemical cleaning for Nanofiltration/Reverse Osmosis (NF/RO) membranes in treatment of tertiary Palm Oil Mill Effluent (POME) for Water Reclamation. *Jurnal Kejuruteraan SII*(4): 51–58.
- Zawawi, N.M., Hamzah, F., Sarif, M., Manaf, S.F.A. & Idris, A. 2017. Pencirian karbon teraktif menggunakan sistem pengaktifan kimia melalui ketuhar gelombang ultrasonik. *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 21(1): 159–165.
- Zulfareen, N., Kannan, K. & Venugopal, T. 2015. Innovative method for reduction of mild steel corrosion in water by activated carbon from ocimum tenuiflorum. *Chemistry and Chemical Technology* 9(2): 223–230.