

Pengoptimuman Penyingkiran *Sulfamethoxazole* melalui Kaedah Gerak Balas Permukaan menggunakan Reka Bentuk Komposit Berpusatkan Muka (Optimization of *Sulfamethoxazole* Removal by Surface Reaction Method using Face Centered Composite Design)

WAN YUSREENA ILYA WAN AZIZEE & NURFAIZAH ABU TAHRIM*

Jabatan Sains Kimia, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Diserahkan: 14 Mac 2022/Diterima: 26 Ogos 2022

ABSTRAK

Pencemaran disebabkan oleh sisa farmaseutik semakin membimbangkan sejak kebelakangan ini kerana ia memberi kesan buruk terutamanya kepada alam sekitar. Terdapat pelbagai kaedah yang dicadangkan oleh penyelidik untuk menyingkirkan bahan cemar tersebut. Penjerapan menggunakan karbon teraktif merupakan salah satu kaedah yang sering digunakan untuk menyingkirkan sisa farmaseutik dalam air. Untuk memperoleh peratus penyingkiran yang maksimum, pengoptimuman perlu dilakukan. Tujuan kajian ini adalah untuk mengoptimumkan parameter yang mempengaruhi penjerapan *sulfamethoxazole* (SMX). Pengoptimuman dilakukan melalui kaedah gerak balas permukaan (RSM) dengan reka bentuk berpusatkan muka (FCCCD). Parameter yang dikaji adalah kepekatan asal larutan SMX, dos karbon teraktif dan juga masa interaksi. Daripada analisis RSM, model kuadratik telah dibangunkan dengan nilai pekali penentuan, R^2 0.9861. Berdasarkan analisis tersebut, didapati dos karbon teraktif dan masa interaksi adalah paling signifikan dalam mempengaruhi peratus penyingkiran SMX berbanding kepekatan asal larutan SMX. Keadaan optimum parameter adalah kepekatan asal larutan SMX = 6 mg/L, dos karbon teraktif = 30 mg dan masa interaksi = 78.02 minit dengan peratus penyingkiran yang dicapai adalah 99.65%. Secara keseluruhannya, hasil kajian menunjukkan bahawa keadaan optimum yang telah dicadangkan oleh RSM boleh digunakan dalam penjerapan SMX. Selain itu, proses penjerapan SMX ialah jerapan kimia dan berlaku secara berbilang lapisan pada permukaan heterogen.

Kata kunci: Air; kaedah gerak balas permukaan (RSM); pengoptimuman; reka bentuk komposit berpusatkan muka (FCCCD); *sulfamethoxazole*

ABSTRACT

Pollution caused by pharmaceutical waste has become a concern these days due to its negative effect especially towards the environment. There were various kinds of methods that had been suggested by researchers to remove these contaminants. Adsorption using activated carbon was one of the most commonly used method to remove pharmaceutical waste in water. In order to obtain the maximum percentage removal, optimization need to be done. The purpose of this study was to optimize the parameters that affect the adsorption of *sulfamethoxazole* (SMX) in water to achieve the maximum percentage removal of SMX. The optimization was done by response surface method using face-centered central composite design (FCCCD). The parameters studied were initial concentration of SMX, activated carbon dosage and interaction time. From the RSM analysis, quadratic model was developed with the value of coefficient, R^2 0.9681. Based on the analysis, the dosage of activated carbon and the time of interactions were the most significant in affecting the percentage removal of SMX compared to initial concentration of SMX. The optimum parameter conditions obtained were the initial concentration of SMX solution = 6 mg/L, activated carbon dosage = 30 mg and interaction time = 78.02 min, with a removal percentage of 99.65%. Overall, the results show that the optimum conditions suggested by RSM can be used in the adsorption of SMX. Other than that, the adsorption process of SMX were chemisorption and it occurred in multilayer on a heterogenous surface.

Keywords: Face-centered central composite design (FCCCD); optimization; response surface method (RSM); *sulfamethoxazole*; water

PENGENALAN

Secara umumnya, bahan cemar baru muncul merupakan bahan kimia baru yang dikesan di persekitaran. Bahan cemar ini berupaya untuk memberi kesan negatif terhadap sistem ekologi dan juga kesihatan manusia. Sisa farmaseutik, produk penjagaan diri, racun perosak, surfaktan, pemplastik dan lain-lain dikategorikan sebagai bahan cemar baru (Patel et al. 2020). Pencemaran yang disebabkan oleh sisa farmaseutik merupakan salah satu isu pencemaran alam sekitar yang hangat diperkatakan pada masa ini. Hal ini adalah disebabkan oleh peningkatan dari segi penggunaan ubat-ubatan terutama sekali dalam bidang perubatan. Selain itu, sisa farmaseutik yang dikesan di dalam air juga adalah disebabkan oleh kaedah pembuangan ubat-ubatan yang salah kerana terdapat individu yang membuang ubat-ubatan yang tidak digunakan atau telah tamat tarikh luput ke dalam sinki ataupun mangkuk tandas (Nurfaizah, Md. Pauzi & Yang Farina 2018). Meskipun tidak banyak penyelidikan yang membincangkan mengenai kesan negatif sisa farmaseutik kerana ia hadir pada kepekatan yang rendah, sisa ini berpotensi untuk memberi kesan yang negatif terhadap kesihatan manusia terutama sekali apabila terdedah dengan bahan cemar berkenaan secara berterusan. Sebagai contoh kajian oleh Schwindt et al. (2014) dan (Dias-Ferreira, Valente & Vaz 2016) berjaya membuktikan bahawa sisa farmasi farmaseutik berupaya untuk menyebabkan gangguan terhadap proses pembiakan ikan. Selain itu, sisa farmaseutik seperti estrogen boleh mengakibatkan pertukaran jantina ikan daripada jantan ke betina.

Meskipun air berupaya untuk membersihkan dan menjana semula secara semula jadi (Yustiani et al. 2018), proses tersebut memerlukan masa yang sangat lama dan akan menjadi sangat sukar sekiranya kepekatan atau tahap pencemaran tinggi. Oleh itu, salah satu kaedah yang dapat membantu dalam memperoleh bekalan air bersih adalah dengan menjalani beberapa proses rawatan di loji rawatan air dan loji rawatan air sisa. Air bersih dapat diperolehi dan diedarkan kepada penduduk dalam jangka masa yang singkat apabila air dirawat di loji jika hendak dibandingkan dengan air yang menjalani proses pembersihan secara semula jadi yang mengambil masa yang lama. Namun begitu, pada masa kini loji rawatan air menghadapi masalah kerana teknologi yang digunakan tidak sesuai untuk merawat sisa cemar baru muncul seperti sisa farmaseutik (Verlicchi, al Aukidy & Zambello 2012). Sodiq, Oluwatosin dan Samuel (2017) menyatakan bahawa masih terdapat sisa farmaseutik dalam air meskipun air telah menjalani rawatan di loji

rawatan. Oleh itu, pengurusan dan rawatan air yang cekap amatlah penting kerana ia membantu dalam meningkatkan kualiti air (Manikam et al. 2019). Untuk mengatasi masalah tersebut, terdapat beberapa kaedah yang boleh digunakan untuk menyingkirkan sisa cemar baru muncul dalam air iaitu rawatan biologi, pengklorinan, teknologi pengoksidaan, penjerapan, rawatan elektrokimia dan lain-lain. Walau bagaimanapun, antara semua kaedah tersebut, kaedah penjerapan merupakan kaedah yang paling banyak digunakan kerana ia berkos rendah, mempunyai kecekapan penjerapan yang tinggi serta tidak akan menghasilkan produk sampingan yang bertoksik semasa proses penjerapan (Putra et al. 2009). Bahan penjerap yang sering digunakan adalah karbon teraktif kerana ia mempunyai luas permukaan khusus yang tinggi, liang pori yang banyak, sebagai contoh kajian daripada Zhang et al. (2018) menghasilkan karbon teraktif yang mempunyai luas permukaan sebanyak $952 \text{ m}^2/\text{g}$ serta isi padu liang sebanyak $0.51 \text{ cm}^3/\text{g}$. Selain itu, karbon teraktif berupaya untuk berinteraksi dengan sesuatu bahan dengan kuat (Yu et al. 2016). Malah menurut Mistar et al. (2019), disebabkan oleh potensi penjerapan karbon teraktif, ia banyak digunakan untuk menyingkirkan bahan cemar seperti logam berat, menjerap bau, menyahtoksik dan sebagainya. Karbon teraktif boleh dihasilkan daripada pelbagai jenis bahan pemula yang berkaitan seperti kayu, batu arang, sisa biojisim dan sebagainya. Pemilihan bahan pemula dalam penghasilan karbon teraktif mempengaruhi prestasi sesuatu karbon teraktif tersebut.

Proses pengoptimuman secara umumnya ialah tindakan bagi memastikan sesuatu reka bentuk, sistem dan keputusan adalah berkesan sebaik yang mungkin. Sebelum ini, kaedah pengoptimuman dilaksanakan secara kaedah klasik dengan cara mengubah satu parameter pada satu masa manakala parameter yang lain kekal. Prosedur ini memakan masa yang lama dan pembaziran bahan uji kaji berlaku kerana terdapat banyak set uji kaji yang perlu dijalankan. Oleh itu, kaedah gerak balas permukaan (RSM) menjadi pilihan apabila pengoptimuman hanya melibatkan enam langkah sahaja (Karimifard & Alavi Moghaddam 2018). Selain itu, RSM merupakan satu kaedah yang berupaya untuk mengoptimumkan pelbagai pemboleh ubah dalam satu masa yang sama (Aksoy & Sagol 2016; Nor Hidayatika, Mohamad Azuwa & Siti Fairus 2020) dan ia menjimatkan masa. RSM adalah koleksi teknik statistik dan juga matematik yang digunakan untuk menambah baik atau mengoptimumkan sesuatu proses (Myers, Montgomery & Anderson-Cook 2016). Manakala menurut Dastkhooon

et al. (2017) pula, RSM adalah koleksi teknik matematik dan statistik berdasarkan kesesuaian persamaan polinomial terhadap data uji kaji. Aplikasi RSM yang paling meluas adalah dalam bidang perindustrian dan ia digunakan dalam reka bentuk, pembangunan dan perumusan sesuatu produk. Selain itu, ia juga digunakan dalam penambahbaikan reka bentuk produk dan proses yang sedia ada (Myers, Montgomery & Anderson-Cook 2016). RSM merupakan teknik yang digunakan dalam reka bentuk uji kaji (DoE). Antara kaedah multivariat yang berasaskan DoE, kaedah RSM telah menarik minat ramai penyelidik dan ia digunakan untuk permodelan dan uji kaji kimia (Karimifard & Alavi Moghaddam 2018).

Dalam kajian ini, pengoptimuman parameter yang mempengaruhi proses penyingkiran SMX dilakukan. Proses ini bertujuan untuk mengenal pasti keadaan yang optimum bagi parameter tersebut supaya peratus penyingkiran SMX yang maksimum dapat dicapai. Proses penyingkiran dijalankan melalui kaedah penjerapan dengan menggunakan karbon teraktif daripada tongkol jagung dan diaktifkan melalui pengaktifan secara kimia. Parameter yang dikaji adalah kepekatan asal larutan SMX, dos karbon teraktif dan masa interaksi. Ketiga-tiga parameter tersebut dianalisis melalui kaedah RSM menggunakan reka bentuk komposit berpusatkan muka (FCCCD). Pemilihan reka bentuk ini adalah kerana ia hanya memerlukan 3 tahap sahaja bagi setiap pemboleh ubah dan masih tidak ada kajian yang menggunakannya dalam proses pengoptimuman penyingkiran SMX.

BAHAN DAN KAEDAH

BAHAN KIMIA

Sulfamethoxazole (No. CAS 732-46-4) yang digunakan dalam kajian ini diperoleh daripada Sigma-Aldrich. Peratus ketulenan bagi bahan farmaseutik yang digunakan ini adalah melebihi 98%. Manakala asid fosforik 85% diperoleh daripada System.

PENYEDIAAN LARUTAN STOK *SULFAMETHOXAZOLE* DAN PENCAIRAN (*DILUTION*)

Larutan stok *sulfamethoxazole* (SMX) berkepekatan 20 ppm disediakan dengan melarutkan 20 mg SMX ke dalam 1000 mL air nyahion. Larutan tersebut dikacau selama 24 jam supaya SMX larut sepenuhnya dan untuk memperoleh larutan yang homogen. Proses pencairan adalah bertujuan untuk memperoleh larutan SMX

pelbagai kepekatan (1-10 ppm). Pencairan dilakukan dengan menggunakan persamaan (1).

$$M_1V_1 = M_2V_2, \quad (1)$$

dengan M_1 adalah kepekatan larutan stok; V_1 adalah isi padu larutan stok, M_2 adalah kepekatan larutan cair; dan V_2 adalah isi padu larutan cair.

PENYEDIAAN KARBON TERAKTIF

Karbon teraktif yang digunakan dalam kajian ini dihasilkan daripada tongkol jagung yang melalui pengaktifan secara kimia. Tongkol jagung yang digunakan diperoleh dari sebuah pasar di Bandar Baru Bangi dan agen pengaktifan yang digunakan adalah asid fosforik. Pertama sekali, tongkol jagung dibasuh, dikering dan dihancurkan terlebih dahulu sehingga saiz partikel kurang daripada 500 μm . Seterusnya, tongkol jagung yang telah dihancurkan tersebut direndam dalam larutan 30% asid fosforik selama dua jam. Kemudian, proses karbonisasi dilaksanakan di dalam relau pada suhu 500 $^{\circ}\text{C}$ selama dua jam. Akhir sekali, karbon teraktif yang dihasilkan dibasuh untuk membuang debu-debu dan dikeringkan sehingga tiada perubahan jisim. Karbon tersebut dilabelkan sebagai AC30 dan pencirian dilakukan menerusi analisis Brunnauer-Emmet-Teller (BET) dan mikroskop pengimbas elektron (SEM) bagi membuktikan keberjayaan penghasilan karbon teraktif daripada tongkol jagung. Kaedah penghasilan karbon teraktif bagi kajian ini telah diadaptasi daripada Arneli et al. (2017) serta Luo et al. (2019) dan telah diubah suai mengikut kesesuaian.

REKA BENTUK UJI KAJI

Reka bentuk uji kaji merupakan satu kaedah statistik yang digunakan untuk mengenal pasti perkaitan antara faktor yang mempengaruhi sesuatu proses dan output proses tersebut. Dalam kajian ini, reka bentuk uji kaji dilakukan dengan menggunakan kaedah gerak balas permukaan (RSM) berdasarkan reka bentuk komposit berpusatkan muka (FCCCD). Tiga pemboleh ubah atau parameter yang mempengaruhi penjerapan SMX dipilih. Pemboleh ubah tersebut adalah kepekatan asal larutan SMX, dos karbon teraktif dan masa interaksi. Reka bentuk yang digunakan dalam kajian ini dijana dengan menggunakan perisian *Minitab Statistical* dan sebanyak 20 set uji kaji dijalankan. Jadual 1 menunjukkan reka bentuk komposit berpusat bagi tiga pemboleh ubah dan tahapnya.

JADUAL 1. Reka bentuk komposit berpusat bagi tiga pemboleh ubah dan tahapnya (FCCCD)

Pemboleh ubah	Kod	Unit	Tahap		
			-1	0	1
Kepekatan asal larutan <i>sulfamethoxazole</i>	A	mg/L	2	6	10
Dos karbon teraktif	B	mg	10	30	50
Masa interaksi	C	min	10	65	120

PENJERAPAN *SULFAMETHOXAZOLE* (SMX)

Uji kaji ini dijalankan dengan tujuan untuk mengenal pasti keupayaan karbon teraktif dalam menyingkirkan SMX dalam air. Uji kaji yang dilakukan adalah berdasarkan 20 set uji kaji yang telah dijana oleh perisian. Lekur penentukuran bagi larutan SMX disediakan terlebih dahulu bagi memudahkan proses penentuan kepekatan larutan SMX daripada nilai serapan yang diperoleh daripada analisis menggunakan spektrometer ultralembayung-nampak (UV-Vis). Peratus penyingkiran SMX ($R\%$) dan kapasiti penjerapan (q_e) dihitung menggunakan persamaan (2) dan (3):

$$R\% = \left(\frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \times 100\%, \quad (2)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}, \quad (3)$$

dengan C_0 dan C_e adalah kepekatan asal dan akhir (mg/L) larutan SMX; V adalah isi padu larutan (0.05 L); dan m adalah jisim karbon teraktif.

PENGOPTIMUMAN

Pengoptimuman parameter yang mempengaruhi peratus penyingkiran *sulfamethoxazole* (SMX) dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh keadaan yang optimum atau terbaik supaya peratus penyingkiran SMX yang maksimum dapat dicapai. Proses pengoptimuman dilakukan dengan menggunakan kaedah gerak balas permukaan (RSM) berdasarkan reka bentuk komposit berpusat muka (FCCCD) dan dianalisis menggunakan perisian *Minitab Statistical*.

PENJERAPAN ISOTERMA DAN KINETIK PENJERAPAN ISOTERMA

Kajian penjerapan isoterma pula dilakukan dengan

memasukkan sebanyak 10 mg karbon teraktif terpilih ke dalam setiap kelalang yang berisi 50 mL larutan *sulfamethoxazole* pelbagai kepekatan (2-10 mg/L). Campuran tersebut dikacau selama 120 minit menggunakan pengacau magnetik pada kelajuan 200 rpm. Kepekatan akhir larutan *sulfamethoxazole* dianalisis menggunakan spektroskopi ultralembayung-nampak (UV-Vis) pada jarak gelombang antara 200 - 300 nm. Kapasiti penjerapan dihitung menggunakan persamaan (3).

Kajian diteruskan dengan memadamkan data uji kaji yang diperoleh ke dalam model penjerapan isoterma yang dipilih iaitu model Langmuir dan juga model Freundlich. Model Langmuir diperoleh dengan menggunakan persamaan (4). Plot bagi model Langmuir adalah C_e/q_e melawan C_e . Nilai Q_m dan k_L diperoleh daripada kecerunan plot dan juga pintasan plot tersebut.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{k_L Q_m}, \quad (4)$$

dengan q_e adalah kapasiti penjerapan keseimbangan dan C_e adalah kepekatan keseimbangan. Manakala Q_m adalah kapasiti penjerapan maksimum dan k_L adalah pemalar Langmuir.

Seterusnya, model Freundlich diperoleh dengan menggunakan persamaan (5) di bawah. Plot bagi Freundlich adalah $\log q_e$ melawan $\log C_e$. Nilai k_F dan $1/n$ diperoleh daripada pintasan dan juga kecerunan plot.

$$\log q_e = \log k_F + \frac{1}{n} (\log C_e), \quad (5)$$

dengan q_e adalah kapasiti penjerapan keseimbangan dan C_e adalah kepekatan keseimbangan. Manakala $1/n$ adalah keamatan penjerapan dan k_F adalah pemalar Freundlich.

PENJERAPAN KINETIK

Kajian penjerapan kinetik dijalankan dengan memasukkan 10 mg karbon teraktif terpilih (AC30) ke dalam kelalang yang berisi 50 mL larutan *sulfamethoxazole* berkepekatan 2 ppm. Campuran tersebut kemudiannya dikacau menggunakan pengacau magnetik pada kelajuan 200 rpm selama 120 minit. Sampel diambil untuk dianalisis pada setiap selang masa 20 minit. Kepekatan akhir larutan *sulfamethoxazole* dianalisis menggunakan spektroskopi ultralembayung-nampak (UV-Vis) pada jarak gelombang antara 200 - 300 nm. Peratus penyingkiran *sulfamethoxazole* (R%) serta kapasiti penjerapan (q_e) dihitung menggunakan persamaan (2) dan (3).

Kajian ini diteruskan dengan memadamkan data uji kaji ke dalam model penjerapan kinetik yang dipilih iaitu model tertib pertama pseudo dan model tertib kedua pseudo. Tertib pertama pseudo diperoleh dengan menggunakan persamaan (6). Nilai k_1 diperoleh melalui plot $\log(q_e - q_t)$ menentang t .

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t, \quad (6)$$

dengan q_e dan q_t adalah kapasiti penjerapan keseimbangan (mg/g) dan kapasiti penjerapan mengikut masa (mg/g). Manakala t adalah masa penjerapan (min) dan k_1 adalah pemalar kadar kinetik (min^{-1}).

Model kinetik tertib kedua pseudo pula diperoleh dengan menggunakan persamaan (7).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{(k_2 q_e^2)} + \frac{1}{q_e} (t), \quad (7)$$

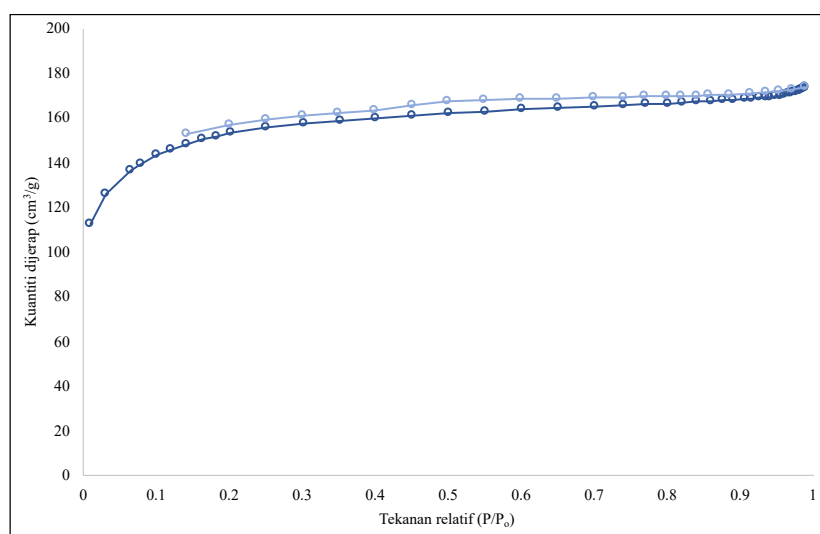
dengan q_e dan q_t adalah kapasiti penjerapan keseimbangan (mg/g) dan kapasiti penjerapan mengikut masa (mg/g). Manakala t adalah masa penjerapan (min) dan k_2 adalah pemalar kadar kinetik (min^{-1}).

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

PENCIRIAN KARBON TERAKTIF

Brunauer-Emmet-Teller (BET)

Rajah 1 menunjukkan isoterma penjerapan-penyahjerapan nitrogen bagi karbon teraktif yang diaktifkan oleh asid fosforik, H_3PO_4 berkepekatan 30% (AC30). Daripada Rajah 1, lengkung isoterma bagi AC30 menunjukkan gabungan isoterma jenis I dan IV. Bahagian permulaan lengkung tersebut dikelaskan sebagai isoterma jenis I. Ia menunjukkan penjerapan lapisan mono (Rahman et al. 2019). Lengkung tersebut membuktikan bahawa AC30 mempunyai ciri-ciri bahan liang mikro (Misran et al. 2020). Namun begitu, apabila tekanan relatif semakin meningkat, lengkung isoterma tersebut dikelaskan sebagai isoterma jenis IV yang mempunyai gelung histeresis. Gelung histeresis menunjukkan kehadiran liang meso dan makro pada karbon teraktif yang dihasilkan (Bachrun et al. 2016). Akhir sekali didapati kaedah pengaktifan yang digunakan dalam kajian ini (pengaktifan kimia) berupaya untuk menghasilkan karbon teraktif yang mempunyai S_{BET} (476.59 m^2/g) tinggi apabila perbandingan dilakukan terhadap kajian yang dijalankan oleh Peñafiel et al. (2019) ($S_{\text{BET}} = 1.22 \text{ m}^2/\text{g}$).

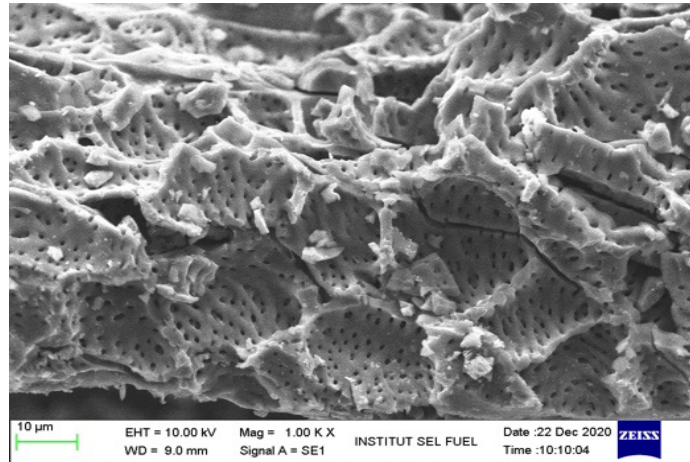


RAJAH 1. Isotherma penjerapan-penyahjerapan nitrogen bagi karbon teraktif yang diaktifkan oleh H_3PO_4 berkepekatan 30% (AC30)

Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM)

Rajah 2 adalah imej morfologi permukaan karbon teraktif yang diaktifkan oleh H_3PO_4 pada magnifikasi 1.00k x. Imej tersebut menunjukkan karbon teraktif yang dihasilkan mempunyai liang dan menyerupai sarang lebah serta mempunyai lubang yang tidak sekata. Imej morfologi yang diperoleh ini adalah serupa dengan hasil kajian yang diperoleh oleh Zhang et al. (2018) yang

mana hasil kajian mereka turut menyatakan bahawa karbon teraktif yang dihasilkan daripada tongkol jagung mempunyai struktur liang yang menyerupai sarang lebah. Kajian daripada Sun dan Webley (2010) menyatakan bahawa penghasilan liang adalah disebabkan oleh tindak balas antara bahan pengaktif kimia dengan rangka karbon semasa proses pengaktifan yang membawa kepada pembentukan liang yang bagus.



RAJAH 2. Imej SEM bagi karbon teraktif yang diaktifkan oleh H_3PO_4 pada magnifikasi 1.00 k x

Model Fitting dan Analisis Varian

Jadual 2 menunjukkan set reka bentuk uji kaji FCCCD berserta dengan peratus penyingkiran SMX. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan data-data yang telah direkodkan dalam Jadual 2. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan analisis varian (*ANOVA*). Tujuan analisis ini adalah untuk mengesahkan kebolehpercayaan alat diagnosis RSM ini (Affam 2020). Antara model yang sesuai untuk digunakan adalah linear, faktorial dua interaksi, kuadratik dan juga kubik. Ooi et al. (2018) menyatakan sesuatu model tersebut adalah sesuai apabila nilai p kurang daripada 0.05 ($p < 0.05$). Untuk kajian ini, didapati model yang sesuai adalah kuadratik kerana nilai $p < 0.05$ (< 0.0001). Persamaan regresi (8) adalah untuk mengenal pasti perkaitan kepekatan asal larutan SMX (A), dos karbon teraktif (B) dan masa interaksi (C) terhadap peratus penyingkiran SMX.

$$\text{Penyingkiran (\%)} = +98.29 + 0.8800 A + 16.98 B + 8.73 C - 3.23 A^*A - 11.23 B^*B - 6.38 C^*C - 2.25 A^*B + 1.37 A^*C - 6.05 B^*C \quad (8)$$

Ringkasan model yang telah dijana oleh perisian menunjukkan bahawa nilai R^2 untuk kajian ini adalah agak tinggi iaitu 0.9681. Selain itu nilai R^2 ini juga hampir dengan R^2 -dilaraksan, R^2_{adj} ($R^2_{adj} = 0.9394$)

dan ini menunjukkan kelinearan model kuadratik ini (Hassan et al. 2020). Nilai R^2 yang tinggi ini ($R^2 > 0.9$) membuktikan bahawa nilai uji kaji dan nilai ramalan bagi kajian ini mempunyai kolerasi yang tinggi (Seo, Lee & Han 2013).

Jadual 3 menunjukkan analisis varians (*ANOVA*) bagi model kuadratik untuk penyingkiran SMX dalam air. Nilai F untuk model ini adalah 33.73 yang mana ia membuktikan bahawa model ini adalah signifikan. Kashefi, Borghei dan Mahmoodi (2019) menyatakan bahawa hanya 0.01% kebarangkalian untuk hingar menjadi penyebab nilai F model menjadi besar. Nilai p bagi model ini pula adalah < 0.0001 . Sesebuah model tersebut adalah signifikan secara statistik apabila nilai p kurang atau sama dengan 0.05 ($p \leq 0.05$) (Affam 2020). Pemboleh ubah B, C dan interaksi dos karbon dan masa interaksi (BC) memberi kesan signifikan terhadap peratus penyingkiran SMX kerana nilai p kurang daripada 0.05 ($p < 0.05$).

Seterusnya, nilai p bagi padanan kurang tepat bagi model ini adalah tidak signifikan secara statistik kerana $p > 0.05$ ($p = 0.076$). Padanan kurang tepat yang tidak signifikan adalah bagus dan membuktikan bahawa sesuatu model tersebut adalah padan (Kashefi, Borghei & Mahmoodi 2019). Kesimpulannya, model kuadratik merupakan model yang sesuai untuk dipadankan dengan data yang diperoleh dalam kajian ini.

JADUAL 2. Set uji kaji FCCCD dan peratus penyingkiran SMX

Set	Kepekatan asal SMX (mg/L)	Dos karbon teraktif (mg)	Masa interaksi (min)	Penyingkiran (%)
1	6	30	65	96.9
2	6	30	65	99.2
3	6	30	65	99.0
4	10	10	120	79.4
5	6	10	65	77.3
6	6	30	120	98.0
7	10	10	10	44.8
8	2	50	120	99.0
9	2	50	10	94.1
10	6	30	65	92.0
11	10	50	120	99.4
12	6	30	10	88.9
13	6	30	65	97.8
14	10	50	10	89.4
15	2	30	65	96.9
16	2	10	120	69.6
17	6	30	65	98.7
18	10	30	65	96.3
19	2	10	10	40.9
20	6	50	65	99.9

JADUAL 3. Analisis varian (*ANOVA*) bagi model kuadratik bagi penyingkiran SMX dalam air

Pemboleh ubah	DF	Jumlah hasil kuasa dua	Min kuasa dua	Nilai F	Nilai P
Model	9	5657.69	628.63	33.71	0.000
A	1	7.74	7.74	0.42	0.534
B	1	2883.20	2883.20	154.60	0.000
C	1	762.13	762.13	40.87	0.000
A ²	1	28.64	28.64	1.54	0.244
B ²	1	346.64	346.64	18.59	0.002
C ²	1	111.84	111.84	6.00	0.034
AB	1	40.50	40.50	2.17	0.171
AC	1	15.13	15.13	0.81	0.389
BC	1	292.82	292.82	15.70	0.003
Padanan kurang tepat	5	149.54	29.91	4.05	0.076
Ralat tulen	5	36.95	7.39		
Jumlah	19	5844.18			

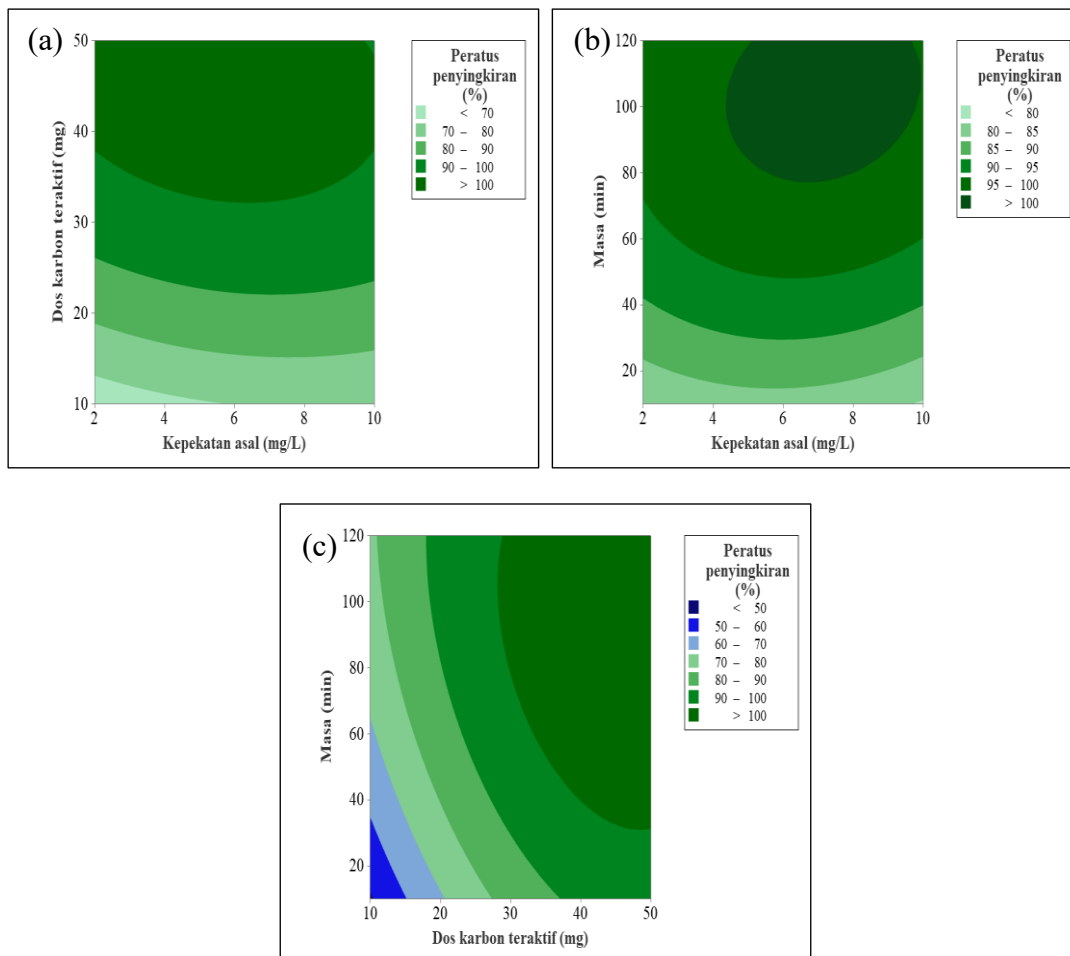
KESAN PEMBOLEH UBAH TERHADAP PERATUS
PENYINGKIRAN SMX

Rajah 3 menunjukkan plot-plot kontur kesan interaksi pemboleh ubah terhadap peratus penyingkiran SMX. Berdasarkan Rajah 3(a), peratus penyingkiran SMX yang maksimum (>100%) dapat dicapai apabila dos karbon teraktif antara 38 mg hingga 50 mg manakala kepekatan asal larutan pula antara 2 hingga 10 mg/L. Meskipun dos karbon teraktif adalah tinggi, peratus penyingkiran menurun kepada 90% - 100% apabila kepekatan asal larutan melebihi 10 mg/L. Hal ini kerana, pada kepekatan asal larutan yang rendah dan dos karbon yang tinggi, luas permukaan dan ketersediaan tapak penyerapan adalah tinggi yang mana ia memudahkan sesuatu bahan jerapan tersebut untuk disingkirkan. Namun begitu, apabila kepekatan asal adalah tinggi, jumlah tapak jerapan yang tersedia adalah terhad hingga mengakibatkan peratus penyingkiran sesuatu bahan jerapan menurun (Wang, Wang & Ma 2010).

Berdasarkan Rajah 3(b) pula, peratus penyingkiran yang maksimum iaitu melebihi 100% dapat dicapai

apabila kepekatan asal larutan adalah pada 4 mg/L hingga 10 mg/L manakala masa interaksi pula berada antara 80 min - 120 min. Namun begitu, peratus penyingkiran SMX menurun ke 95% - 100% apabila kepekatan asal larutan melebihi 10 mg/L dan pada minit ke 80 hingga 120. Penurunan peratus penyingkiran menurun apabila kepekatan asal meningkat adalah disebabkan oleh tapak aktif yang tersedia telah dipenuhi dengan molekul bahan jerapan.

Akhir sekali, kesan dos karbon teraktif dan masa terhadap peratus penyingkiran SMX boleh dilihat pada Rajah 3(c). Apabila dos karbon teraktif berada antara 35 mg - 50 mg dan masa interaksi antara 35 min - 120 min, peratus penyingkiran SMX yang melebihi 100% diperoleh. Manakala peratus penyingkiran adalah antara 90% - 100% apabila dos karbon teraktif 30 mg ke atas dan masa interaksi 10 min ke atas. Kecekapan penyerapan meningkat dengan cepat apabila masa meningkat manakala ia secara beransur-ansur apabila dos karbon teraktif meningkat. Kadar penyerapan meningkat disebabkan oleh ketersediaan luas permukaan

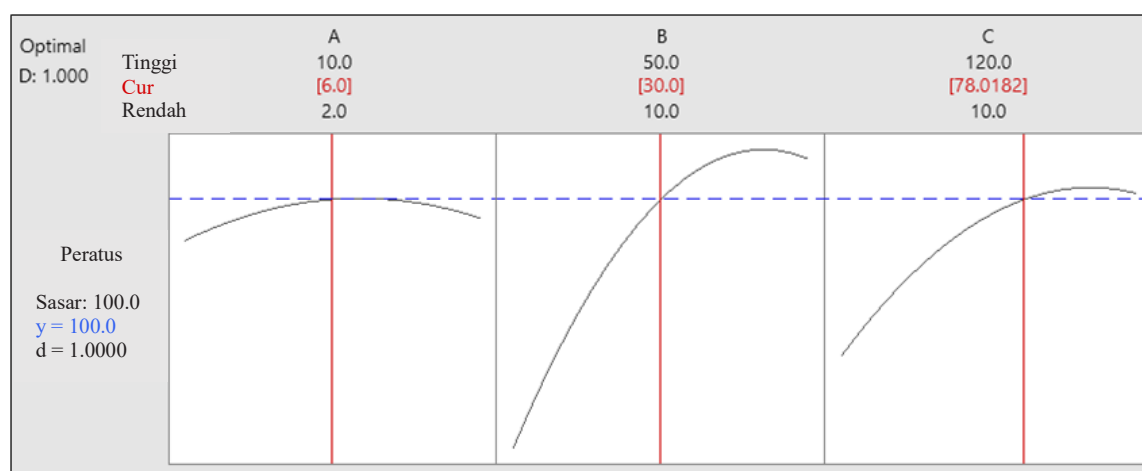


RAJAH 3. Plot kontur kesan (a) kepekatan asal SMX dan dos karbon teraktif, (b) kepekatan asal SMX dan masa dan (c) dos karbon teraktif dan masa terhadap peratus penyingkiran SMX

penjerap yang tidak disekat oleh bahan jerapan (Ani et al. 2019). Secara kesimpulannya, daripada Rajah 3, dapat dilihat bahawa dos karbon teraktif dan masa adalah lebih signifikan dalam memberi kesan terhadap peratus penyingkiran SMX berbanding dengan kepekatan asal larutan SMX.

KEADAAN OPTIMUM PEMBOLEH UBAH TINDAK BALAS
Rajah 4 menunjukkan keadaan optimum pemboleh ubah yang diperoleh melalui kaedah RSM. Untuk

mencapai peratus penyingkiran SMX sebanyak 100%, keadaan optimum parameter yang telah dicadangkan oleh RSM adalah $A = 6 \text{ mg/L}$, $B = 30 \text{ mg}$ dan $C = 78.02 \text{ min}$ (A: kepekatan asal larutan SMX, B: dos karbon teraktif dan C: masa interaksi). Pengesahan telah dilakukan secara uji kaji dan peratus penjerapan yang diperoleh daripada uji kaji tersebut adalah 99.65%. Nilai sisihan antara peratus penjerapan uji kaji dan peratus penjerapan ramalan adalah sebanyak 0.35. Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa keadaan optimum yang dicadangkan oleh RSM dalam kajian ini boleh digunakan.



RAJAH 4. Keadaan optimum pemboleh ubah yang dicadangkan oleh RSM

PENJERAPAN ISOTERMA DAN KINETIK

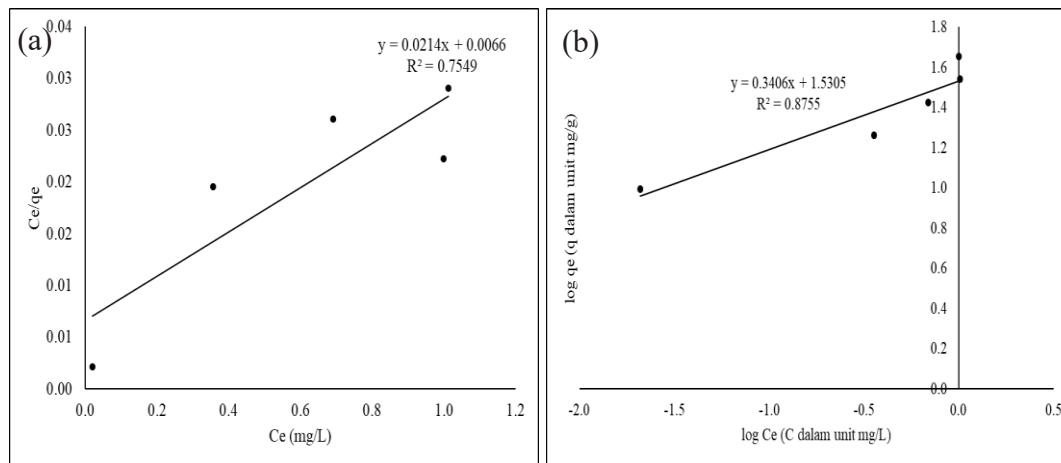
Penjerapan Isotherma

Kajian penjerapan isoterma dilakukan dalam kajian ini dengan tujuan untuk mengenal pasti interaksi antara *sulfamethoxazole*, SMX (bahan jerapan) dan karbon teraktif. Interaksi antara bahan jerapan dan penjerap tersebut boleh diterangkan oleh pelbagai jenis model isoterma penjerapan. Shejale et al. (2020) menyatakan bahawa model isoterma Langmuir dan Freundlich merupakan model yang paling banyak digunakan untuk menerangkan tentang interaksi antara karbon teraktif dan antibiotik. Oleh itu, kajian ini menggunakan kedua-dua model tersebut (Langmuir dan Freundlich) untuk mengenal pasti interaksi antara karbon teraktif dan SMX.

Model Langmuir menerangkan mengenai proses penjerapan lapisan mono yang mana penjerapan ini hanya boleh berlaku di tapak setempat (Edet & Ifeiebuegu 2020; Saruchi & Kumar 2019). Selain itu, Nor Hidayatika, Mohamad Azuwa dan Siti Fairus (2020) menyatakan bahawa tapak penjerapan bagi

model isoterma Langmuir adalah sama dan mempunyai tenaga yang setara. Seterusnya, menurut Saruchi dan Kumar (2019), model Freundlich merupakan model yang menerangkan penjerapan tidak ideal dan berbalik. Proses penjerapan ini tidak hanya terhad kepada pembentukan lapisan mono yang mana model ini digunakan untuk penjerapan berbilang lapisan pada permukaan heterogen.

Rajah 5 menunjukkan plot bagi model isoterma Langmuir dan Freundlich. Berdasarkan nilai R^2 bagi kedua-dua plot tersebut, didapati R^2 bagi model Freundlich (0.8755) adalah lebih tinggi apabila dibandingkan dengan model Langmuir (0.7549). Oleh itu, penjerapan SMX pada permukaan karbon teraktif adalah lebih sesuai dijelaskan dengan menggunakan model Freundlich. Melalui model ini, penjerapan SMX pada permukaan karbon teraktif dianggap berlaku secara berbilang lapisan. Jadual 4 menunjukkan parameter isoterma penjerapan SMX pada permukaan AC30 yang telah direkodkan.



RAJAH 5. Plot bagi model isoterma (a) Langmuir dan (b) Freundlich

JADUAL 4. Parameter isoterma bagi penjerapan SMX pada AC30

Model	Persamaan	Plot	Pekali	Nilai
Langmuir	$y = 0.0214x + 0.0066$	C_e/q_e vs C_e	Q_m	46.7290
			k_L	3.2425
			R^2	0.7549
			$1/n$	0.3406
Freundlich	$y = 0.3406x + 1.5305$	$\log q_e$ vs $\log C_e$	k_F	33.9235
			R^2	0.8755

$1/n$ merujuk kepada keamatan penjerapan dan ia memainkan peranan dalam penentuan kesesuaian proses penjerapan. Dalam Jadual 4, nilai $1/n$ yang diperolehi adalah 0.3406 dan ia membuktikan bahawa penjerapan ini adalah sesuai. Kajian daripada Saruchi dan Kumar (2019) menyatakan bahawa proses penjerapan tersebut adalah sesuai apabila nilai $1/n$ terletak antara kosong dan satu ($0 < 1/n < 1$). Selain itu, nilai $1/n$ yang kecil membuktikan kehadiran lebih banyak permukaan heterogen (Edet & Ifelebuegu 2020) dan proses penjerapan yang berlaku adalah secara jerapan kimia (Saruchi & Kumar 2019). Namun begitu, apabila nilai $1/n$ melebihi satu, proses penjerapan yang berlaku adalah secara koperasi (Saruchi & Kumar 2019). Seperti yang dapat dilihat dari Jadual 4, nilai $1/n$ yang diperolehi dalam kajian ini adalah kurang daripada satu ($1/n < 1$, $1/n = 0.3406$). Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa proses penjerapan SMX pada permukaan AC30 adalah secara

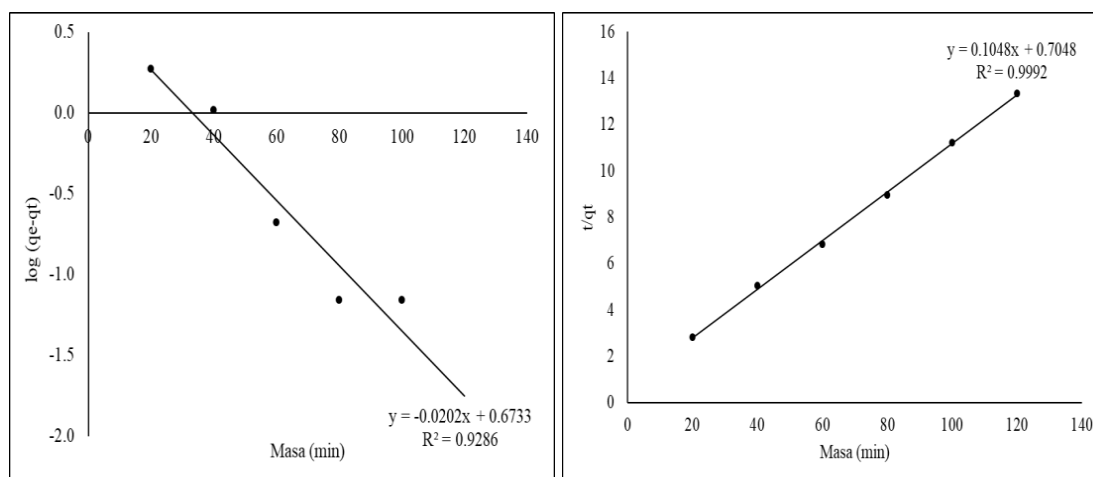
jerapan kimia dan dianggap berlaku secara berbilang lapisan pada permukaan heterogen.

Penjerapan Kinetik

Kajian penjerapan kinetik dijalankan untuk menentukan masa yang diperlukan untuk mencapai penjerapan maksimum. Berdasarkan kajian lepas, terdapat dua model kinetik yang boleh digunakan untuk menjelaskan kadar penjerapan SMX ke atas permukaan karbon teraktif iaitu model tertib pertama pseudo dan model tertib kedua pseudo. Model tertib pertama pseudo menerangkan hubungan antara kadar tapak serapan penjerap yang telah dipenuhi dengan jumlah tapak yang tidak dipenuhi (Edet & Ifelebuegu 2020). Manakala model tertib kedua pseudo pula menerangkan berkenaan kebergantungan kapasiti penjerapan bahan penjerap terhadap masa (Edet & Ifelebuegu 2020).

Rajah 6 menunjukkan plot bagi model kinetik tertib pertama pseudo model kinetik tertib kedua pseudo. Daripada kedua-dua plot model tersebut, nilai R^2 bagi model kinetik tertib pertama pseudo (0.9286) adalah

rendah berbanding dengan nilai R^2 bagi model kinetik tertib kedua pseudo (0.9992). Parameter kinetik seperti pekali penentuan (R^2), k_1 , k_2 , q_e dari plot graf ($q_{e,plot}$) dan q_e daripada uji kaji ($q_{e,eks}$) direkodkan dalam Jadual 5.



RAJAH 6. Plot bagi model kinetik (a) tertib pertama pseudo dan (b) tertib kedua pseudo bagi penjerapan SMX

JADUAL 5. Parameter kinetik bagi penjerapan SMX pada karbon teraktif

Model	Persamaan	Plot	Pekali	Nilai
Tertib pertama pseudo	$y = -0.0202x + 0.6733$	$\log(q_e - q_i)$ vs t	k_1	0.0017
			q_e	-30.6748
			R^2	0.9286
Tertib kedua pseudo	$y = 0.1048x + 0.7048$	t/q_i vs t	k_2	0.0324
			q_e	9.1912
			R^2	0.9992

Seterusnya, Jadual 6 menunjukkan perbandingan nilai kapasiti penjerapan $q_{e,plot}$ daripada kedua-dua model dengan nilai kapasiti penjerapan yang diperoleh secara uji kaji $q_{e,eks}$. Nilai $q_{e,plot}$ yang diperoleh daripada persamaan garis lurus bagi model kinetik tertib kedua pseudo adalah lebih hampir dengan nilai $q_{e,eks}$ iaitu 8.9860 jika hendak dibandingkan dengan model kinetik tertib pertama pseudo. Hasil perbandingan nilai pekali

penentuan, R^2 dan kapasiti penjerapan, q_e menunjukkan bahawa penjerapan kinetik SMX pada karbon teraktif lebih sesuai dijelaskan menggunakan model kinetik tertib kedua pseudo. Akhir sekali, mekanisme penjerapan bagi penjerapan yang diwakili oleh model kinetik tertib kedua pseudo adalah jerapan kimia (Nor Hidayatika, Mohamad Azuwa & Siti Fairus 2020).

JADUAL 6. Perbandingan nilai kapasiti penjerapan uji kaji dengan nilai kapasiti penjerapan plot

Model	Nilai $q_{e, \text{plot}}$
Tertib pertama pseudo	-30.6748
Tertib kedua pseudo	9.1912

$q_{e, \text{eks}} = 8.9860$

KESIMPULAN

Secara kesimpulannya, tujuan pengoptimuman parameter yang mempengaruhi proses penjerapan dilakukan adalah supaya peratus penyingkiran SMX yang maksimum dapat dicapai. Proses pengoptimuman dilaksanakan melalui kaedah gerak balas permukaan (RSM) menggunakan reka bentuk komposit berpusatkan muka. Antara parameter yang dikaji adalah kepekatan asal larutan SMX, dos karbon teraktif dan juga masa interaksi. Analisis statistik dijalankan menggunakan ANOVA dan model kuadratik telah dibangunkan dengan nilai R^2 yang agak tinggi iaitu 0.9861. Selain itu, hasil kajian menunjukkan bahawa dos karbon teraktif dan masa interaksi adalah lebih signifikan dalam mempengaruhi peratus penyingkiran SMX berbanding dengan kepekatan asal larutan SMX, interaksi antara kepekatan asal larutan dan dos karbon teraktif serta interaksi antara kepekatan asal larutan dan masa interaksi. Akhir sekali, pengesahan keadaan optimum yang telah dicadangkan oleh RSM dilakukan secara uji kaji dan peratus penyingkiran yang diperoleh adalah sebanyak 99.65%. Nilai sisihan antara peratus ramalan dan peratus uji kaji adalah 0.35 dan ini membuktikan bahawa keadaan optimum yang telah dicadangkan oleh RSM boleh digunakan untuk menambah baik proses penyingkiran SMX dalam air menggunakan karbon teraktif. Akhir sekali, hasil daripada kajian penjerapan isoterma menunjukkan bahawa model Freundlich adalah lebih sesuai berbanding model Langmuir. Nilai $1/n$ yang diperoleh menerangkan bahawa proses penjerapan yang berlaku adalah secara berbalik dan secara kimia. Hasil daripada penjerapan kinetik pula menunjukkan model yang sesuai untuk digunakan adalah model kinetik tertib kedua pseudo. Model ini menjelaskan bahawa penjerapan SMX pada tapak aktif karbon teraktif adalah berkadar terus secara dua kali ganda.

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan ditujukan kepada semua kakitangan makmal Jabatan Sains Kimia, Universiti

Kebangsaan Malaysia, UKM atas bantuan yang telah diberikan sepanjang tempoh kerja penyelidikan ini dijalankan. Projek penyelidikan ini dibiayai oleh geran GGPM-2019-052.

RUJUKAN

- Affam, A.C. 2020. Conventional steam activation for conversion of oil palm kernel shell biomass into activated carbon via biochar product. *Global Journal of Environmental Science and Management* 6(1): 15-30.
- Aksoy, D.O. & Sagol, E. 2016. Application of central composite design method to coal flotation: Modelling, optimization and verification. *Fuel* 183: 609-616.
- Ani, J.U., Okoro, U.C., Aneke, L.E., Onukwuli, O.D., Obi, I.O., Akpomie, K.G. & Ofomatah, A.C. 2019. Application of response surface methodology for optimization of dissolved solids adsorption by activated coal. *Applied Water Science* 9(3). DOI:10.1007/s13201-019-0943-7
- Arneli, Safitri, Z.F., Pangestika, A.W., Fauziah, F., Wahyuningrum, V.W. & Astuti, Y. 2017. The influence of activating agents on the performance of rice husk-based carbon for sodium lauryl sulfate and chrome (Cr) metal adsorption. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 172: 012007.
- Bachrun, S., Ayurizka, N., Annisa, S. & Arif, H. 2016. Preparation and characterization of activated carbon from sugarcane bagasse by physical activation with CO_2 gas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 105(1): 1-8.
- Dastkhooon, M., Ghaedi, M., Asfaram, A., Goudarzi, A., Mohammadi, S.M. & Wang, S. 2017. Improved adsorption performance of nanostructured composite by ultrasonic wave: Optimization through response surface methodology, isotherm and kinetic studies. *Ultrasonics Sonochemistry* 37: 94-105.
- Dias-Ferreira, C., Valente, S. & Vaz, J. 2016. Practices of pharmaceutical waste generation and discarding in households across Portugal. *Waste Management and Research* 34(10): 1006-1013.
- Edet, U.A. & Ifelebuegu, A.O. 2020. Kinetics, isotherms, and thermodynamic modeling of the adsorption of phosphates from model wastewater using recycled brick waste. *Processes* 8(6): 665.

- Hassan, S.S., El-Shafie, A.S., Zaher, N. & El-Azazy, M. 2020. Application of pineapple leaves as adsorbents for removal of rose bengal from wastewater: Process optimization operating face-centered central composite design (FCCCD). *Molecules* 25(16): 3752.
- Karimifard, S. & Alavi Moghaddam, M.R. 2018. Application of response surface methodology in physicochemical removal of dyes from wastewater: A critical review. *Science of the Total Environment* 640-641: 772-797.
- Kashefi, S., Borghei, S.M. & Mahmoodi, N.M. 2019. Application of face-centered central composite design (FCCCD) in optimization of enzymatic decolorization of two azo dyes: A modeling vs. empirical comparison. *Prog. Color Colorants Coat* 12: 179-190.
- Luo, Y., Li, D., Chen, Y., Sun, X., Cao, Q. & Liu, X. 2019. The performance of phosphoric acid in the preparation of activated carbon-containing phosphorus species from rice husk residue. *Journal of Materials Science* 54(6): 5008-5021.
- Manikam, M.K., Maizatul Intan Syafinaz, Azhar, A.H. & Marlia, M.H. 2019. Penyingkiran ammonia dan permintaan oksigen kimia daripada air sisa kumbahan menggunakan media penyerap komposit karbon teraktif. *Sains Malaysiana* 48(11): 2529-2539.
- Misran, E., Sarah, M., Irvan, Dina, S.F., Harahap, S.A.A. & Nazar, A. 2020. Activated carbon preparation from bagasse and banana stem at various impregnation ratio. *Journal of Physics: Conference Series* 1542(1): 1-6.
- 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.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C. & Anderson-Cook, C.M. 2016. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Nor Hidayatika, A., Mohamad Azuwa, M. & Siti Fairus, M.Y. 2020. Improved adsorption performance of rubber-based hydrogel: Optimisation through response surface methodology, isotherm, and kinetic studies. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 94(2): 322-334.
- Nurfaizah, A.T., Md. Pauzi, A. & Yang Farina, A.A. 2018. Pengoptimuman kaedah dan analisis farmaseutik dalam air kumbahan dan air sungai. *Sains Malaysiana* 47(5): 931-940.
- Ooi, T.Y., Yong, E.L., Din, M.F.M., Rezanah, S., Aminudin, E., Chelliapan, S., Abdul Rahman, A. & Park, J. 2018. Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using response surface methodology. *Journal of Environmental Management* 228: 13-19.
- Patel, N., Ali Khan, Md.Z., Shahane, S., Rai, D., Chauhan, D., Kant, C. & Chaudhary, V.K. 2020. Emerging pollutants in aquatic environment: Source, effect, and challenges in biomonitoring and bioremediation- A review. *Pollution* 6(1): 99-113.
- Peñafiel, M.E., Matesanz, J.M., Vanegas, E., Bermejo, D. & Ormad, M.P. 2020. Corncobs as a potentially low-cost biosorbent for sulfamethoxazole removal from aqueous solution. *Separation Science and Technology* (Philadelphia) 55(17): 3060-3071.
- Putra, E.K., Pranowo, R., Sunarso, J., Indraswati, N. & Ismadji, S. 2009. Performance of activated carbon and bentonite for adsorption of amoxicillin from wastewater: Mechanisms, isotherms and kinetics. *Water Research* 43(9): 2419-2430.
- Rahman, M.M., Muttakin, M., Pal, A., Shafiullah, A.Z. & Saha, B.B. 2019. A statistical approach to determine optimal models for IUPAC-classified adsorption isotherms. *Energies* 12(23): 1-34.
- Saruchi & Kumar, V. 2019. Adsorption kinetics and isotherms for the removal of rhodamine B dye and Pb +2 ions from aqueous solutions by a hybrid ion-exchanger. *Arabian Journal of Chemistry* 12(3): 316-329.
- Schwindt, A.R., Winkelman, D.L., Keteles, K., Murphy, M. & Vajda, A.M. 2014. An environmental oestrogen disrupts fish population dynamics through direct and transgenerational effects on survival and fecundity. *Journal of Applied Ecology* 51(3): 582-591.
- Seo, Y.H., Lee, I.G. & Han, J.I. 2013. Cultivation and lipid production of yeast *Cryptococcus curvatus* using pretreated waste active sludge supernatant. *Bioresource Technology* 135: 304-308.
- Shejale, K.P., Yadav, D., Patil, H., Saxena, S. & Shukla, S. 2020. Evaluation of water remediation techniques from antibiotic contaminants using activated carbon. *Molecular Systems Design & Engineering* 5(4): 743-756.
- Sodiq, A.O., Oluwatosin, A.A. & Samuel, O.O. 2017. Assessment of the impact of pharmaceutical industry effluents quality of nearby river. *International Journal of Ecological Science and Environmental Engineering* 4(6): 114-118.
- Sun, Y. & Webley, P.A. 2010. Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage. *Chemical Engineering Journal* 162(3): 883-892.
- Verlicchi, P., al Aukidy, M. & Zambello, E. 2012. Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: Removal, Mass load and environmental risk after a secondary treatment - A review. *Science of the Total Environment* 429: 123-155.
- Wang, F.Y., Wang, H. & Ma, J.W. 2010. Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low-cost adsorbent-Bamboo charcoal. *Journal of Hazardous Materials* 177(1-3): 300-306.
- Yu, F., Li, Y., Han, S. & Ma, J. 2016. Adsorptive removal of antibiotics from aqueous solution using carbon materials. *Chemosphere* 153: 365-385.
- Yustiani, Y.M., Nurkanti, M., Suliasih, N. & Novantri, A. 2018. Influencing parameter of self purification process in the urban area of Cikapundung River, Indonesia. *International Journal of Geomate* 14(43): 50-54.

Zhang, X.F., Wang, B., Yu, J., Wu, X.N., Zang, Y.H., Gao, H.C., Su, P.C. & Hao, S.Q. 2018. Three-dimensional honeycomb-like porous carbon derived from corncob for the removal of heavy metals from water by capacitive deionization. *Royal Society of Chemistry* 8(3): 1159-1167.

*Pengarang untuk surat menyurat; email: nfaizah@ukm.edu.my