

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Sekam Padi Sebagai Adsorben

Adsorben abu sekam padi sebelum bisa digunakan untuk mengadsorpsi suatu senyawa yang diinginkan tentunya harus melewati beberapa perlakuan yang mampu memperbaiki sifat penyerapannya. Sekam padi yang ingin digunakan sebagai adsorben pertama harus dibersihkan dan dicuci untuk meminimalisir pengotor yang terbawa karena sekam padi diambil dari tempat pengolahan padi. Setelah pencucian sekam padi di keringkan dulu dan kemudian dibakar di tempat pembakaran yang disediakan hingga dirasa sekam padi sudah menjadi abu semua, pembakaran dimaksudkan untuk menghilangkan senyawa karbon dari sekam padi, dan juga untuk memperkecil ukuran sekam padi secara otomatis. Abu sekam padi yang didapatkan diayak menggunakan ayakan 150 mesh untuk mendapatkan ukuran abu yang seragam dan untuk memisahkan sekam padi yang benar-benar sudah menjadi abu dan masih dalam bentuk karbon, serta untuk memisahkan pengotor yang terbawa dalam proses pembakaran.

Abu sekam padi kemudian dicuci menggunakan aquades selanjutnya dicuci kembali dengan HCl 1M selama 15 menit. Hal ini dimaksudkan untuk melarutkan senyawa yang menempel pada abu sekam padi yang tidak mampu dilarutkan oleh air. Setelah dicuci menggunakan HCl abu sekam padi kemudian dicuci kembali menggunakan aquades sampai pH 7 supaya pada preparasi selanjutnya tidak mempengaruhi proses. Selanjutnya abu dikeringkan di dalam oven.

Abu sekam padi yang telah dicuci di modifikasi menggunakan NaOH dan disintesis didalam *microwave* dengan daya 600 watt selama 5 menit. Reaksi NaOH dengan SiO₂ akan menghasilkan natrium silikat yang larut dalam air. Degradasi sebagian SiO₂ tersebut akan menghasilkan pori sehingga struktur SiO₂ menjadi semakin amorf. Abu sekam padi yang telah direaksikan dengan NaOH didalam *microwave* kemudian dicuci kembali dengan aquades hingga pH 7. Pencucian ini dimaksudkan agar pada saat uji adsorpsi kondisi keasaman pada

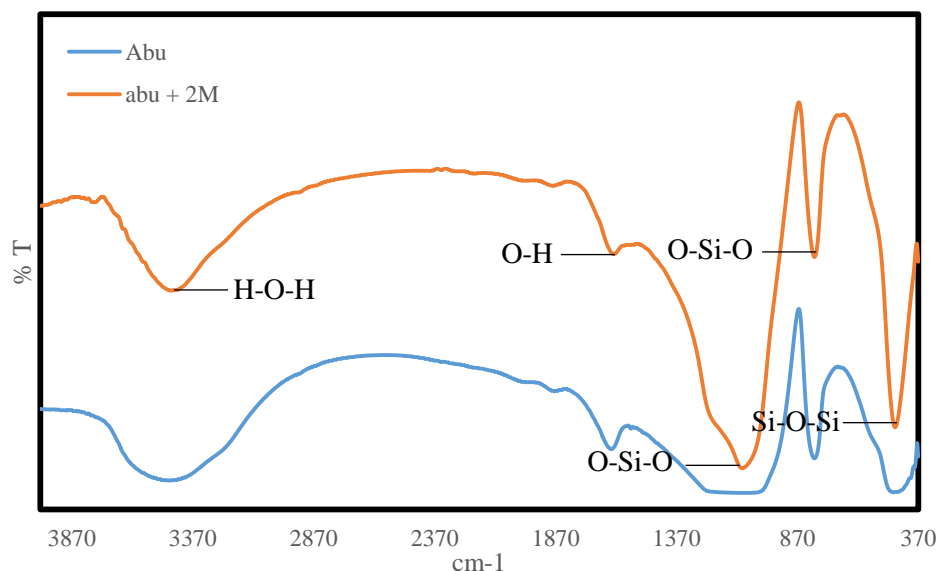
adsorben sendiri tidak mempengaruhi sistem adsorpsi yang nantinya terjadi. Abu yang telah dicuci kemudian dikeringkan. Abu yang telah kering kemudian di karakterisasi dan dilakukan uji adsorpsi.

4.2 Karakterisasi Abu Sebelum Dan Sesudah Modifikasi

Abu sekam padi sebelum dan sesudah dimodifikasi menggunakan NaOH dapat diketahui karakteristiknya dengan melakukan beberapa analisis diantaranya yaitu analisis gugus fungsi, morfologi permukaan, luas permukaan spesifik dan distribusi ukuran pori.

4.2.1 Analisa Gugus Fungsi

Abu sekam padi sebelum dan sesudah diaktivasi dengan NaOH dianalisis menggunakan spektrum inframerah / *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui ketersediaan gugus fungsi. Analisis gugus fungsi dilakukan pada panjang gelombang $4000-400\text{ cm}^{-1}$. Hasil spektra abu sekam padi tersaji pada Gambar 4.1. Adanya puncak serapan yang lebar pada $3460,17\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya air yang berasal dari gugus H-O-H. Puncak serapan pada $1629,49\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus alkohol O-H. Sementara adanya gugus O-Si-O, O-Si-O, dan Si-O-Si berturut-turut ditunjukkan oleh serapan $1098,07$, $799,18$, dan $465,76\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 4.1 Kurva spektrum FTIR abu sekam padi termodifikasi NaOH 2M dan tanpa modifikasi

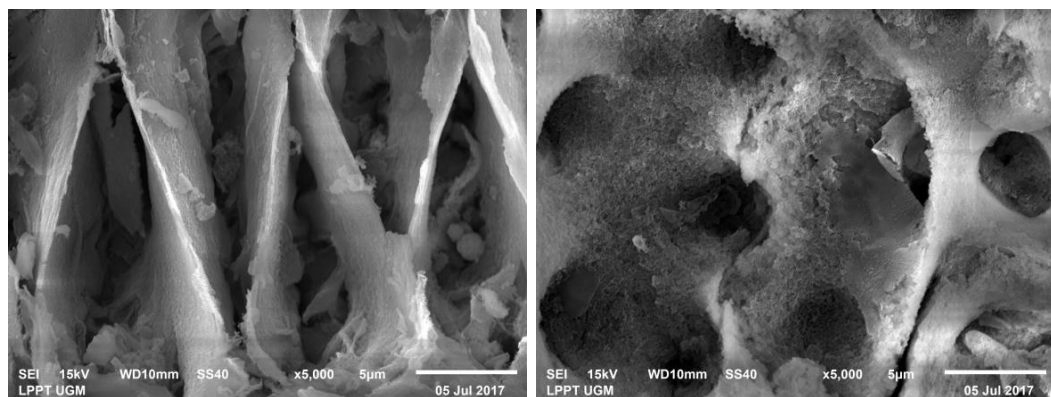
Pada Gambar 4.1 juga terlihat penurunan serapan pada bilangan gelombang 1098,07 dan 465,76. Berkurangnya intensitas puncak serapan pada bilangan gelombang 1098,07 yang merupakan puncak gugus O-Si-O kemungkinan disebabkan oleh adanya reaksi antara sebagian Si dengan NaOH, sesuai dengan reaksi berikut:



H₂O yang terbentuk oleh reaksi SiO₂ dengan NaOH terlihat nyata saat aktivasi berlangsung, yaitu pada dinding reaktor. Namun karena adanya panas dari microwave, H₂O perlahan-lahan menguap. Adanya reaksi antara sebagian SiO₂ dengan NaOH mengakibatkan permukaan pori abu sekam padi mulai terkikis, sebagaimana terlihat pada hasil uji SEM. Berkurangnya gugus O-Si-O yang ditunjukkan oleh puncak serapan pada bilangan gelombang 1098,07 kemungkinan disebabkan oleh adanya sebagian gugus Si yang bereaksi dengan NaOH dan larut dalam air.

4.2.2 Analisis Morfologi Permukaan

Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan abu sekam padi dan abu sekam padi termodifikasi NaOH. Hasil analisis SEM dengan perbesaran 5000 kali tersaji pada Gambar 4.2.



(a)

(b)

Gambar 4.2 Morfologi abu sekam padi (a) Termodifikasi NaOH (b)

Pada Gambar 4.2 (a) terlihat bahwa abu sekam padi sudah memiliki pori, namun masih dengan ukuran yang kecil dan juga masih tertutup layer-layer dari senyawa silika yang masih memiliki gugus yang rapi serta masih banyak senyawa yang menutupi pori yang terlihat didalam layer-layer. Sedangkan pada abu sekam padi termodifikasi (Gambar 4.2 b) ukuran pori yang terbentuk terlihat lebih besar, dan juga layer-layer yang menutupi pori terlihat terbuka bahkan hilang, serta pori lebih bersih dari pengotor dan terlihat terbuka ke dalam, hal ini sesuai dengan fungsi NaOH pada saat aktivasi. Struktur silika akan mengalami kerusakan ketika bereaksi dengan NaOH, dikarenakan adanya silika yang berikatan dengan natrium, akibatnya struktur pada abu sekam padi termodifikasi lebih amorf. Permukaan luar abu sekam padi termodifikasi yang terlihat terkikis dan lebih lebar disebabkan oleh adanya reaksi antara sebagian SiO_2 dengan NaOH. Hal ini berdampak pada ukuran abu sekam padi termodifikasi yang semakin kecil dan memperkecil luas permukaannya namun akan memperluas volume pori dan memperlebar ukuran pori dari abu sekam padi termodifikasi itu sendiri.

4.2.3 Analisis Luas Permukaan Spesifik

Identifikasi luas permukaan dilakukan melalui fisisorpsi gas N pada 77 K menggunakan NOVA 1200 microanalyzer (quantachrome), dengan metode Brunaur Emmet Teller (BET). Berdasarkan analisis tersebut diketahui abu sekam padi memiliki luas permukaan spesifik $56,83 \text{ m}^2/\text{g}$, sedangkan abu sekam padi termodifikasi memiliki luas permukaan spesifik $49,099 \text{ m}^2/\text{g}$. Hal ini menunjukkan bahwa dengan aktivasi menggunakan NaOH, luas permukaan abu sekam padi termodifikasi semakin kecil, karena terkikisnya permukaan abu sekam padi akibat ikatan silika dengan natrium. Hasil ini sesuai dengan hasil analisis morfologi permukaan.

4.2.4 Analisis Distribusi Ukuran Pori

Distribusi ukuran pori dapat dianalisis menggunakan beberapa metode misalnya, Barret Joyner Halenda (BJH), Dollimore Radushkevich (DR), Dollimore Astakhov (DA), Horvath Kawazoe (HK), dan Saito Foley (SF). Masing-masing metode mempunyai kelebihan dan kekurangan, dan sangat

tergantung pada jenis adsorben yang akan digunakan, dalam hal ini bentuk dan ukuran pori.

Pengukuran *pore size distribution* pada material berpori untuk mikropori dan mesopori biasanya dilakukan dengan metode adsorpsi pada tekanan rendah dan medium sedangkan adsorpsi pada makropori hanya signifikan pada tekanan yang sangat tinggi. Adsorpsi nitrogen pada normal boiling point 77 K menjadi standar dalam pendekatan ini. Mesopori pada umumnya ditentukan dengan metode adsorpsi fisik. Diameter mesopori biasanya dihitung berdasarkan persamaan Kelvin yang menggunakan asumsi adsorpsi nitrogen 77 K pada pori berbentuk silinder. Metode lain untuk menghitung distribusi mesopori kebanyakan didasarkan pada persamaan Kelvin yang menggunakan prinsip kondensasi kapiler dengan beberapa modifikasi seperti metode BJH. Sementara untuk menentukan ukuran mikropori terdapat beberapa metode seperti DR methods dan HK methods. Perbedaan menghitung *pore size distribution* untuk mikropori dan mesopori disebabkan adanya mekanisme adsorpsi yang berbeda, dimana pada mesopori terjadi *surface layering adsorption* sedangkan pada mikropori terjadi *filling micropore adsorption*. Hasil analisis ukuran pori abu sekam padi tanpa modifikasi dan termodifikasi ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Ukuran Pori Abu Sekam Padi Tanpa Modifikasi Dan Termodifikasi NaOH.

Metode	Abu sekam padi	Abu sekam padi termodifikasi
BJH	1,850 nm	1,887 nm
HK	0,215 nm	0,963 nm
SF	0,226 nm	1,822 nm
DA	1,100 nm	1,170 nm

Dari hasil ukuran pori yang diperoleh, bisa disimpulkan bahwa pori abu sekam padi tanpa modifikasi dan termodifikasi adalah mikropori karena kurang dari 2 nm. Dan dari hasil analisis BET rentang pori abu sekam padi tanpa modifikasi maupun termodifikasi berada pada rentang 0,2 nm – 15 nm. Karena rentang pori abu sekam padi tanpa modifikasi dan termodifikasi besar dan bervariasi, maka dapat disimpulkan bahwa porinya heterogen. Dengan hasil yang didapatkan maka metode yang paling sesuai adalah DA karena metode DA merupakan metode yang bisa digunakan untuk pengukuran mikropori dan memperhatikan

heterogenitas ukuran pori. Dengan demikian, hasil analisa sesuai dengan hasil penelitian sehingga abu sekam padi termodifikasi dapat digunakan untuk menjerap methyl violet yang memiliki ukuran molekul 0,11 nm.

4.3 Uji Kemampuan Adsorpsi Zat Warna *Methyl Violet*

Untuk mengetahui kemampuan adsorpsi abu sekam padi, maka dilakukan uji adsorpsi menggunakan zat warna kation yaitu methyl violet.

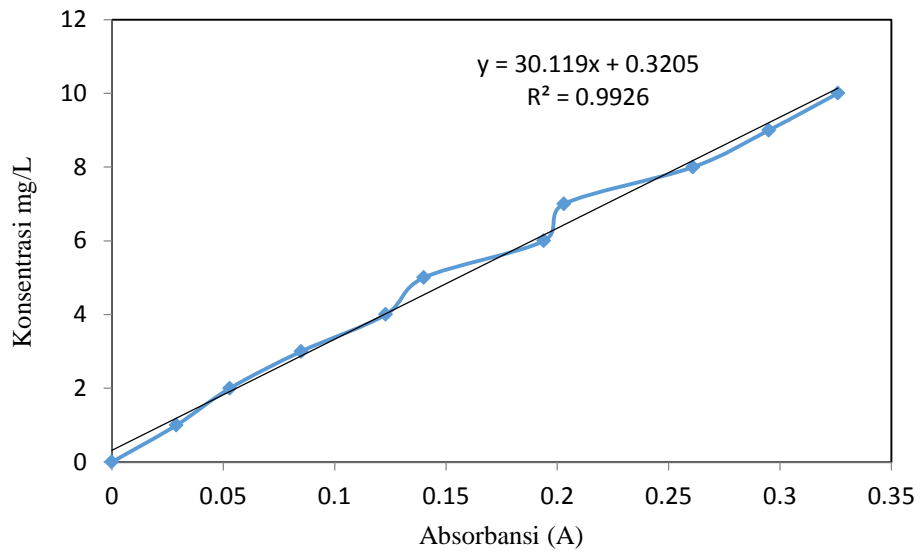
4.3.1 Pembuatan kurva standar zat warna *methyl violet*

Pembuatan kurva standar dimaksudkan untuk mencari hubungan antara adsorbansi (Y) dan konsentrasi zat warna (X) yang memberikan nilai persamaan garis. Kurva standar methyl violet dibuat dengan cara mengukur absorbansi larutan standar methyl violet dengan konsentrasi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 mg/L menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum methyl violet yaitu pada 581 nm. Data absorbansi larutan zat warna methyl violet pada berbagai konsentrasi ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Absorbansi Larutan Zat Warna *Methyl Violet* berbagai Konsentrasi

Konsentrasi (mg/L)	Adsorbansi (A)
10	0,326
9	0,295
8	0,261
7	0,203
6	0,194
5	0,14
4	0,123
3	0,085
2	0,053
1	0,029
0	0

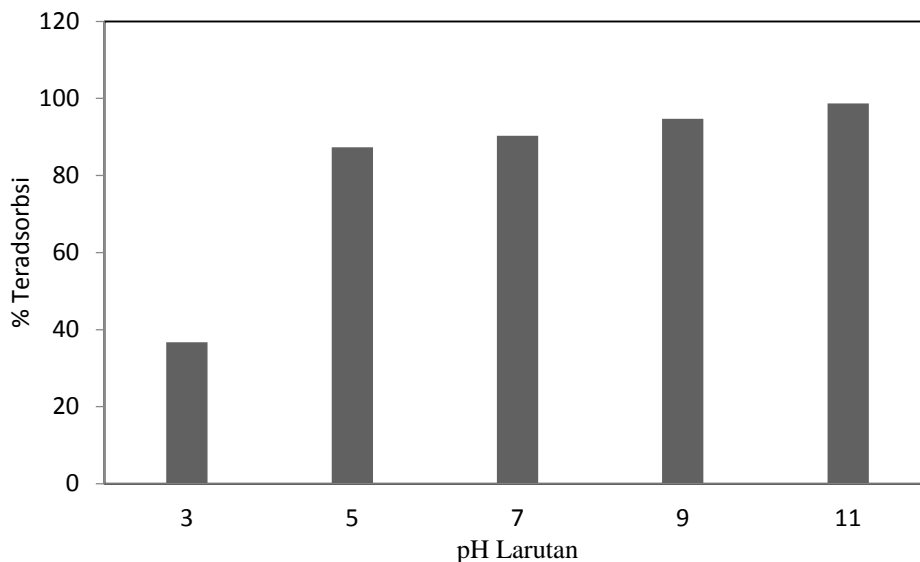
Dari data yang diperoleh dibuat kurva standar larutan zat warna methyl violet antara konsentrasi larutan zat warna methyl violet terhadap absorbansi. Dari kurva standar larutan zat warna methyl violet diperoleh persamaan garis dengan nilai $y = 30,119x + 0,3205$ dan $R^2 = 0,9926$. Persamaan ini digunakan untuk menentukan konsentrasi zat warna yang di adsorpsi oleh abu sekam padi setelah diaktivasi dengan NaOH (adsorben). Kurva standar larutan zat warna methyl violet dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kurva standar larutan zat warna *methyl violet*

4.3.2 Pengaruh pH

Pengaruh pH larutan terhadap adsorpsi *methyl violet* dipelajari pada variasi pH 3, 5, 7, 9 dan 11 sebagaimana terlihat pada Gambar 4.4. Pengaruh pH menyebabkan perubahan muatan pada adsorben dan adsorbat yang lebih lanjut akan mempengaruhi interaksi elektrostatis antara adsorben dan zat warna *methyl violet*.

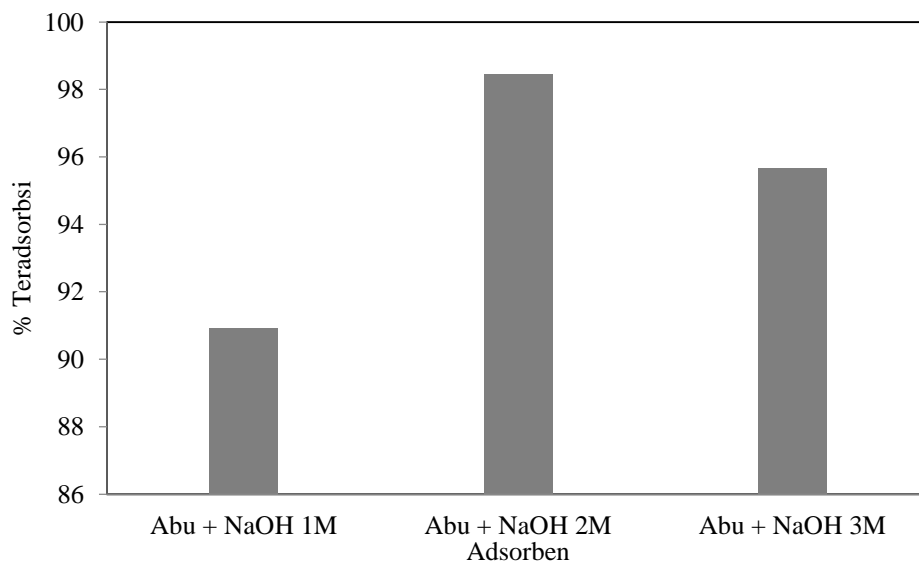


Gambar 4.4 Hubungan pH terhadap persentase *methyl violet* teradsorpsi (konsentrasi larutan 50 mg/L, waktu kontak 1 jam, dosis abu sekam padi termodifikasi 0,05 gram/50 mL larutan)

Data pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada pH 11 jumlah zat warna yang teradsorpsi mencapai angka tertinggi (98,67%). Adsorben cenderung terprotonasi pada pH rendah sehingga situs aktif cenderung bermuatan positif. Hal ini menyebabkan adanya gaya tolak-menolak antara situs aktif tersebut dengan methyl violet yang juga bermuatan positif sehingga adsorpsi sulit terjadi. Semakin tinggi pH, maka jumlah situs aktif yang terprotonasi berkurang bahkan situs aktif cenderung menjadi bermuatan negatif, sehingga interaksi elektronifikasi antara situs aktif dengan methyl violet yang merupakan zat warna kation semakin baik dan jumlah methyl violet yang teradsorpsi semakin besar. Namun saat kondisi pH lebih dari 11 terjadi pembentukan soluble hidroxy kompleks antara situs aktif dengan methyl violet sehingga pori pada adsorben kembali tertutup. Jadi dapat disimpulkan bahwa pH optimum adsorpsi methyl violet oleh abu sekam padi termodifikasi adalah pada pH 11.

4.3.3 Pengaruh Molaritas NaOH

Pengaruh molaritas NaOH terhadap adsorpsi *methyl violet* dilakukan dengan menambahkan abu sekam padi termodifikasi NaOH 1M, 2M, dan 3M sebanyak 0,05 gram pada larutan *methyl violet* sebanyak 50 ml, 50 ppm, pH 11. Penurunan konsentrasi *methyl violet* dapat dilihat pada gambar 4.5.

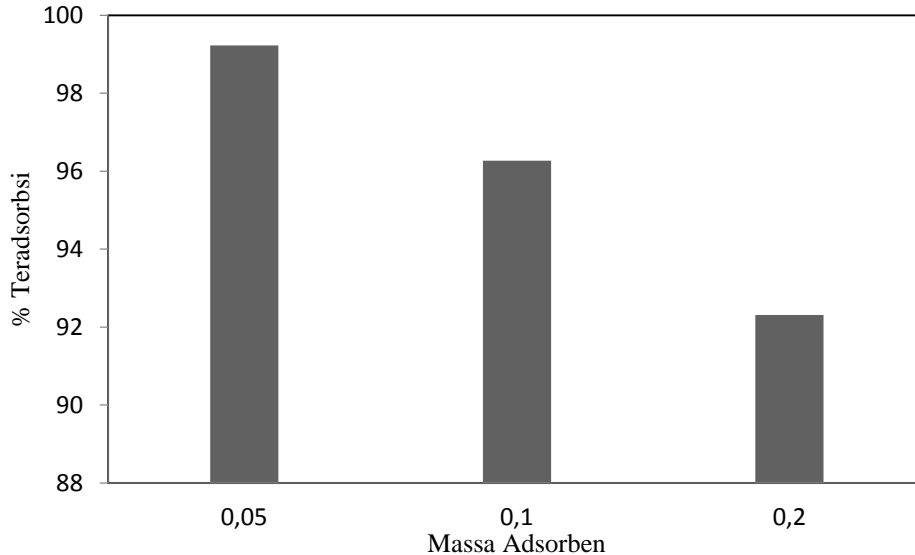


Gambar 4.5 Pengaruh konsentrasi NaOH pada adsorpsi Methyl violet

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa persentase jumlah methyl violet teradsorpsi paling banyak pada abu sekam padi + NaOH 2M dengan nilai 98,46%. Hal ini dikarenakan NaOH bertugas untuk merusak struktur kristal SiO₂ menjadi amorf, apabila NaOH terlalu besar maka SiO₂ akan habis membentuk natrium silikat yang larut dalam air, sedangkan NaOH dengan konsentrasi yang tepat akan membuka situs aktif pada abu sekam padi, namun untuk konsentrasi NaOH yang terlalu kecil juga tidak mampu membuka situs aktif pada abu sekam padi dan menyebabkan pori masih tetap tertutup. Sehingga dapat disimpulkan bahwa molaritas NaOH yang ditambahkan pada abu sekam padi paling optimum adalah 2 molar.

4.3.4 Pengaruh dosis adsorben

Pengaruh dosis adsorben abu sekam padi yang diberikan pada adsorpsi methyl violet dilakukan dalam beberapa variasi massa yaitu 0,05, 0,1, dan 0,2 gram. Pengaruh massa adsorben abu sekam padi yang diberikan terhadap kapasitas adsorpsi zat warna methyl violet dapat dilihat pada Gambar 4.6.



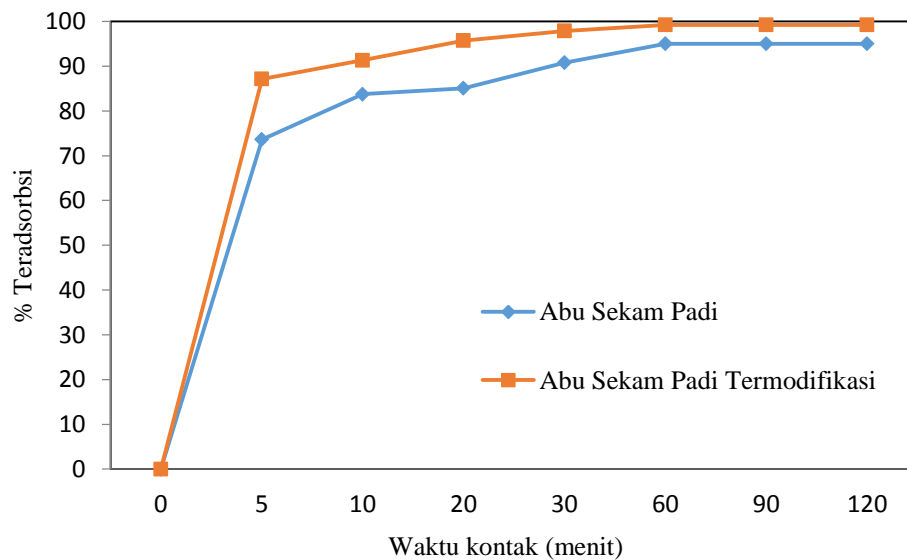
Gambar 4.6 Hubungan massa adsorben terhadap persentase methyl violet teradsorpsi (pH 11, konsentrasi larutan 50 mg/L, waktu kontak 1 jam)

Data dari gambar 4.6 menunjukkan bahwa penggunaan adsorben dengan massa 0,05 gram pada adsorpsi methyl violet mampu mengadsorb zat warna methyl violet paling tinggi yaitu sebesar 99,27%. Pada kondisi ini menunjukkan bahwa

penggunaan adsorben yang melebihi angka 0,05 gram justru akan berdampak negatif terhadap kinerja adsorben untuk menjerap zat warna methyl violet, hal ini dikarenakan penggunaan adsorben yang berlebihan menyebabkan terjadinya aglomerasi dan pori pada adsorben akan tertutup sehingga pada proses adsorpsi berlangsung terjadinya penjerapan zat warna methyl violet pada adsorben abu sekam padi tidak berlangsung secara maksimal.

4.3.5 Pengaruh waktu kontak adsorpsi

Pengaruh waktu kontak adsorpsi methyl violet oleh abu sekam padi dan abu sekam padi hasil reaksi dengan NaOH dilakukan dengan beberapa variasi waktu, yaitu 5, 10, 20, 30, 60, 90, dan 120 menit. Pengaruh lama waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi zat warna methyl violet dapat dilihat pada Gambar 4.7.



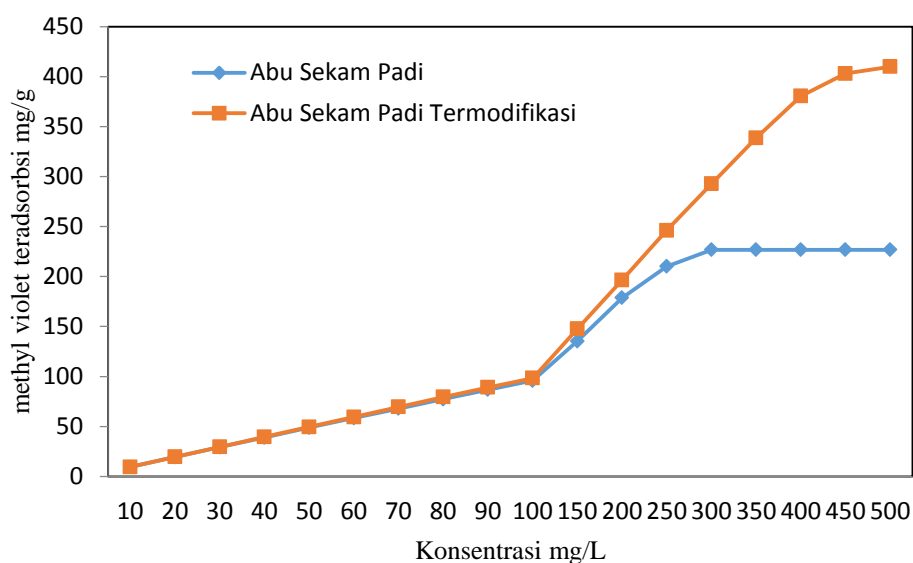
Gambar 4.7 Hubungan waktu kontak terhadap % methyl violet teradsorpsi (konsentrasi larutan 50 mg/L, pH 11, dosis adsorben 0,05 gram/50 mL larutan)

Grafik 4.7 menunjukkan pada waktu kontak 5 menit pertama terjadi peningkatan tajam dengan presentasi methyl violet teradsorpsi sebesar 73,65 % untuk abu sekam padi dan presentasi methyl violet teradsorpsi sebesar 87,16 % untuk abu sekam padi termodifikasi. Menurut Owamah (2013), hal ini disebabkan oleh masih banyaknya situs aktif yang kosong pada awal adsorpsi, sehingga kecenderungan molekul methyl violet terjerap ke adsorben masih cukup tinggi.

persentasi methyl violet teradsorpsi terus mengalami peningkatan hingga 60 menit, yaitu menjadi 95,02 % untuk abu sekam padi dan 99,24 % untuk abu sekam padi termodifikasi. Sedangkan pada waktu kontak di atas 60 menit jumlah methyl violet teradsorpsi cenderung tetap. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu kontak maka semakin banyak situs aktif yang sudah menjerap zat warna methyl violet hingga mencapai titik jenuh dan kesetimbangan terjadi. Pada gambar 4.7 juga menunjukkan bahwa jumlah *methyl violet* yang teradsorpsi oleh abu sekam padi termodifikasi lebih besar dibandingkan jumlah *methyl violet* yang teradsorpsi oleh abu sekam padi.

4.3.6 Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Zat Warna Methyl Violet

Pengaruh konsentrasi awal larutan dilakukan dengan beberapa variasi konsentrasi larutan yaitu 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, dan 500 mg/L. Jumlah methyl violet teradsorpsi oleh abu sekam padi tanpa modifikasi dan termodifikasi pada konsentrasi 10 mg/L hingga konsentrasi 500 mg/L mengalami peningkatan sebanding dengan meningkatnya konsentrasi larutan zat warna sebagaimana terlihat pada Gambar 4.8. Hal ini terjadi karena semakin tinggi konsentrasi larutan zat warna maka kekuatan gaya dorong (*driving force*) juga semakin besar. Gaya dorong ini mempercepat pergerakan molekul-molekul zat warna, sehingga laju perpindahan massa (*difusi permukaan*) dari fasa solut (*adsorbat*) ke adsorben semakin cepat (Zou, dkk., 2013). Jumlah methyl violet teradsorpsi pada konsentrasi awal larutan 500 mg/L adalah 226,79 mg/g untuk abu sekam padi tanpa modifikasi, dan mencapai 409,92 mg/g untuk abu sekam padi termodifikasi. Grafik hubungan pengaruh konsentrasi awal larutan zat warna methyl violet terhadap jumlah methyl violet teradsorpsi tersaji pada Gambar 4.8.

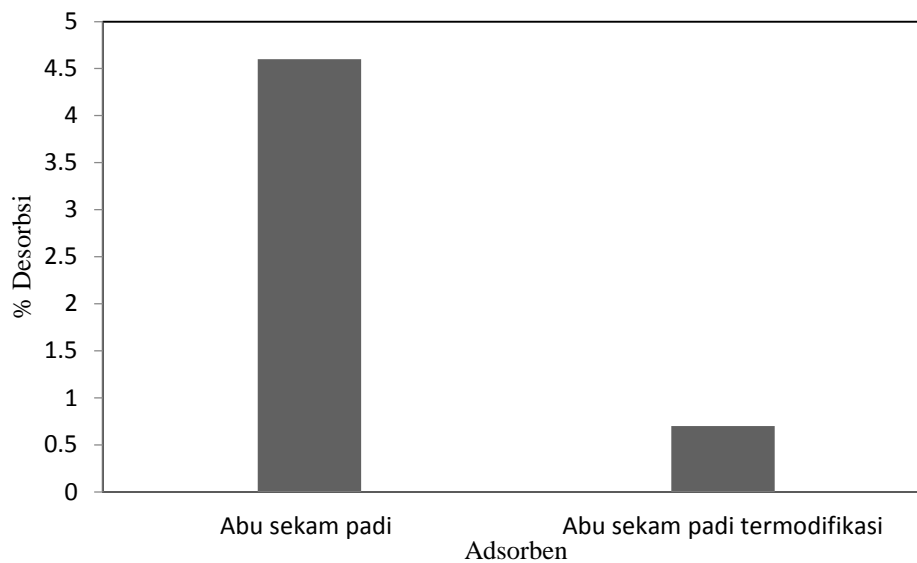


Gambar 4.8 Hubungan konsentrasi awal larutan methyl violet vs jumlah methyl violet teradsorpsi (pH 9, waktu kontak 60 menit, dosis 0,05 gram/50 mL larutan)

Pada titik konsentrasi 300 mg/L methyl violet teradsorpsi oleh abu sekam padi sama dengan titik berikutnya yaitu 226,79 mg/g sedangkan pada titik konsentrasi 500 mg/L methyl violet yang teradsorpsi oleh abu sekam padi termodifikasi masih mengalami peningkatan yang semakin kecil dengan nilai pada titik konsentrasi 500 mg/L yaitu 409,92 mg/g, hal ini menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi mencapai batasnya yaitu 226,79 mg/g methyl violet teradsorpsi per 0,05 abu sekam padi dan 409,92 mg/g methyl violet teradsorpsi per 0,05 abu sekam padi termodifikasi.

4.3.7 Desorpsi

Desorpsi dilakukan untuk mengetahui jenis ikatan yang terjadi pada interaksi fisik ataupun kimia yang mendominasi antara kation zat warna methyl violet dengan adsorben abu sekam padi tanpa modifikasi dan termofifikasi. Proses desorpsi ini dilakukan dengan cara mengontakan kembali adsorben yang telah digunakan untuk menyerap zat warna methyl violet dengan akuades. Alberty (1997) menyebutkan bahwa jika methyl violet dapat didesorpsi kembali oleh akuades maka adsorpsi yang terjadi merupakan fisisorpsi (interaksi fisik). Hasil penelitian desorpsi zat warna methyl violet oleh adsorben abu sekam padi tanpa modifikasi dan termodifikasi terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Persentase *methyl violet* terdesorpsi oleh abu sekam padi tanpa modifikasi dan termodifikasi

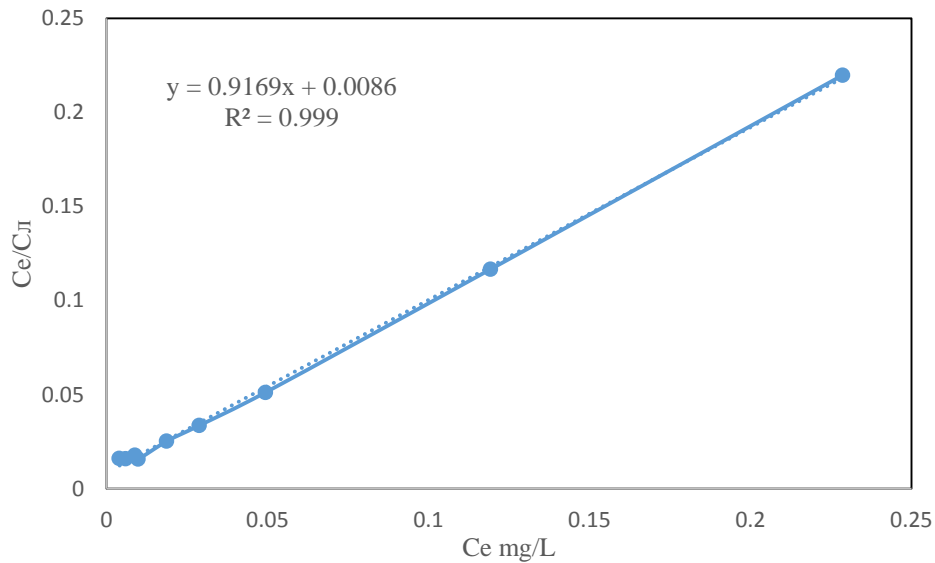
Gambar 4.9 menunjukkan bahwa jumlah *methyl violet* yang dapat terdesorpsi kurang dari 5%. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi yang terjadi didominasi oleh ikatan kemisorpsi, dimana adsorpsi terjadi melalui interaksi elektrostatis. Namun demikian, Gambar 4.9 juga menunjukkan bahwa jumlah *methyl violet* yang terdesorpsi oleh abu sekam padi tanpa modifikasi lebih besar dari pada abu sekam padi yang termodifikasi NaOH yaitu sebesar 4,62%. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh ukuran molekul adsorbat yang tergolong besar. Pada proses adsorpsi oleh abu sekam padi, molekul adsorbat kemungkinan hanya terjepit di pori bagian luar dan tidak terikat kuat di dalam pori sehingga molekul adsorbat ini mudah lepas dari abu sekam padi (terdesorpsi). Hal ini dapat dipahami, karena pada ukuran pori yang sama, volume pori pada abu sekam padi termodifikasi jauh lebih besar dari pada volume pori pada abu sekam padi tanpa modifikasi.

4.4 Isoterm adsorpsi

Model isoterm adsorpsi diperoleh dari pengolahan data variasi konsentrasi awal larutan *methyl violet* yang diadsorpsi menggunakan adsorben abu sekam padi termodifikasi. Isoterm adsorpsi yang sering digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi fase cair adalah persamaan Langmuir dan persamaan Freundlich.

4.4.1 Isoterm Langmuir

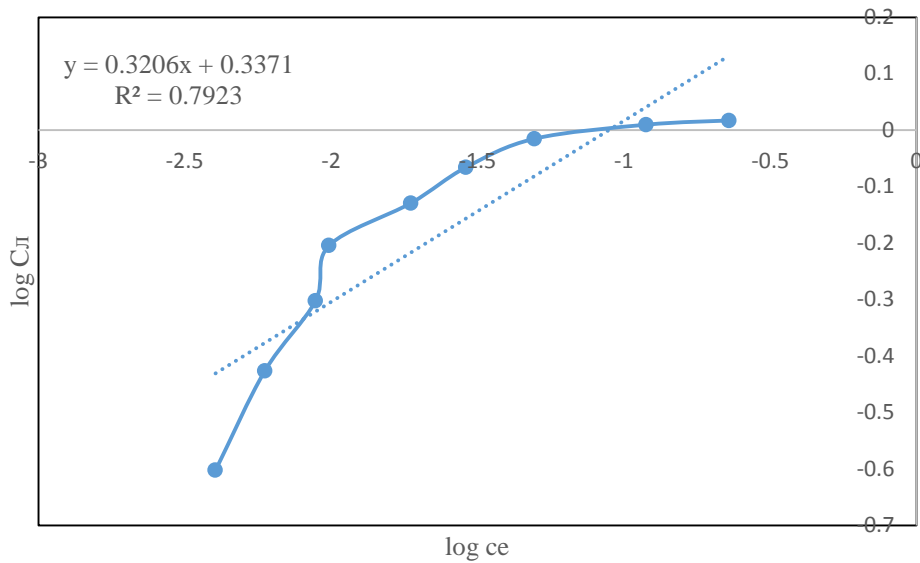
Penentuan isoterm Langmuir dilakukan dengan cara membuat grafik hubungan $\frac{C_e}{C_\mu}$ versus C_e yang hasilnya tersaji pada Gambar 4.10. Kurva linear persamaan Langmuir membentuk persamaan garis $y = 0,9169x + 0,0086$. Dari persamaan tersebut diperoleh tetapan $C_{\mu m} = 1,090631476$ mmol/g dan $K = 106,6162791$ L/mmol.



Gambar 4.10 Isoterm Langmuir adsorpsi *methyl violet* oleh Adsorben abu sekam padi termodifikasi

4.4.2 Isoterm freundlich

Isoterm Freundlich ditentukan dengan cara membuat grafik hubungan antara $\log C_\mu$ dan $\log C$ sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 4.10. Kurva linear yang terbentuk menghasilkan persamaan garis $y = 0,3206x + 0,3371$ sehingga didapatkan konstanta isoterm Freundlich dengan nilai $n = 3,119151591$ dan nilai $k_F = 2,173201519$.



Gambar 4.11 Isoterm Freundlich adsorpsi *methyl violet* oleh adsorben abu sekam padi termodifikasi

Dari Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 terlihat bahwa isoterm Langmuir memiliki nilai korelasi (R^2) lebih besar dibandingkan isoterm Freundlich. Namun demikian, sebagai perbandingan, perhitungan dengan metode nonlinier juga dilakukan dan menghasilkan nilai parameter-parameter isotermal. Berdasarkan nilai korelasi R^2 disimpulkan bahwa isoterm Langmuir lebih mendekati data eksperimen dibandingkan dengan isoterm Freundlich seperti tersaji pada Tabel 4.3

Untuk mengevaluasi kesalahan data konstanta isoterm pada regresi nonlinear digunakan dua fungsi, yaitu sum of the square errors (SSE) dan sum of the absolute errors (SAE) yang ditunjukkan oleh persamaan 4.2 dan 4.3.

$$SSE = \sum (C_{\mu, model} - C_{\mu, data})^2 \quad (4.2)$$

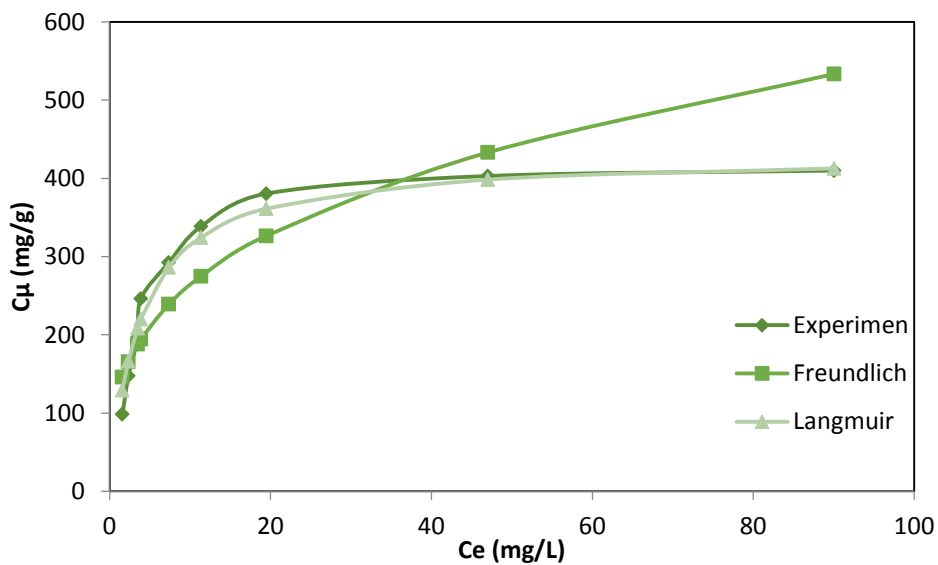
$$SAE = \sum |C_{\mu, model} - C_{\mu, data}| \quad (4.3)$$

Hasil perhitungan kedua jenis kesalahan tersaji pada Tabel 4.3,

Tabel 4.3 Parameter dan Analisis Kesalahan Model Isoterm adsorpsi methyl violet oleh adsorben abu sekam padi

		% eror	K	$C_{j,maks}$	N
Freundlich	Linier	19,4154	2,173201519		3,119151591
	SSE	0,159054			
	SAE	0,930366	1,545455463		5,102886668
Langmuir	Linier	8,218443	106,6162791	1,090631476	
	SSE	0,016568	98,11302412		
	SAE	0,325562		1,11031745	

Dimana terlihat bahwa model isoterm Langmuir adalah yang paling tepat untuk sistem adsorpsi methyl violet oleh abu sekam padi termodifikasi. Hal ini sesuai dengan nilai korelasi R^2 dengan metode nonlinear. Perbandingan data penelitian dan perhitungan jumlah methyl violet teradsorpsi abu sekam padi termodifikasi untuk setiap model isoterm dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Perbandingan model isoterm adsorpsi methyl violet oleh adsorben abu sekam padi termodifikasi terhadap data penelitian

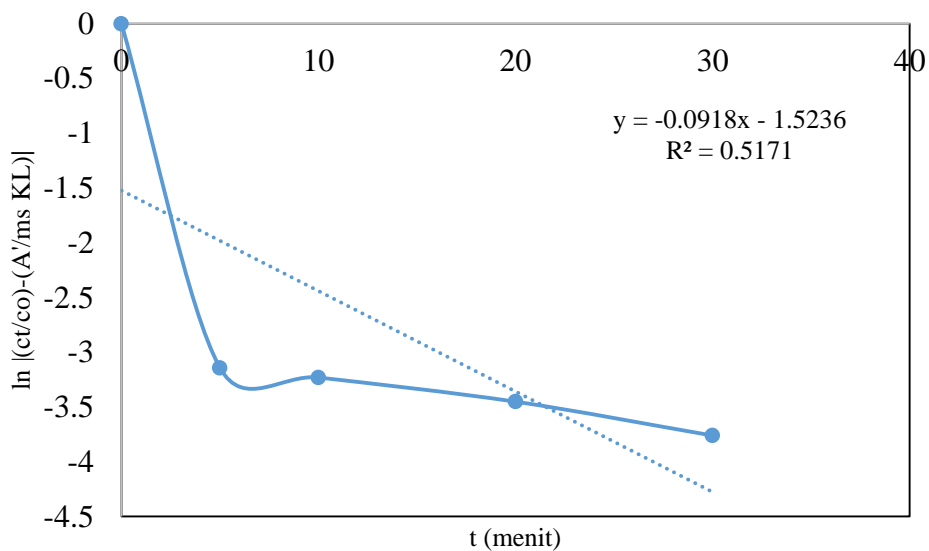
4.5 Kinetika Adsorpsi

Model kinetika diperlukan untuk merancang proses adsorpsi yang efektif dan ekonomis sesuai dengan massa tinggal larutan. Adapun model kinetika yang dipelajari pada penelitian ini meliputi difusi eksternal, difusi internal, dan reaksi permukaan (pseudo first order, pseudo second order).

Penentuan model kinetika adsorpsi diawali dengan menentukan satu model reaksi permukaan yang memenuhi dari dua jenis model yang tersedia. Model reaksi permukaan tersebut selanjutnya dipelajari bersama model difusi eksternal dan difusi internal untuk mendapatkan model yang paling sesuai untuk kinetika adsorpsi methyl violet oleh adsorben abu sekam padi.

4.5.1 Model Difusi Eksternal

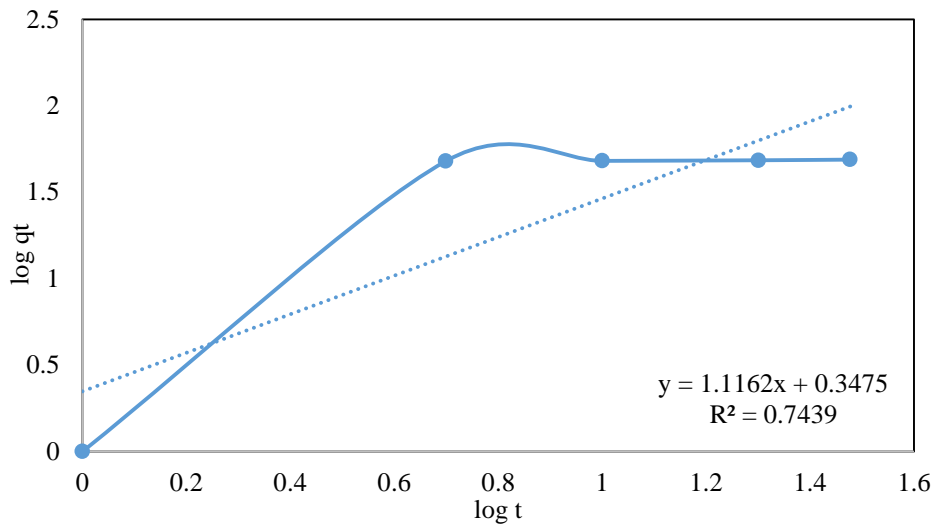
Persamaan untuk difusi eksternal dinyatakan oleh Mc Kay dan Allen, yang secara matematis mengikuti persamaan 2.16 dan menghasilkan kurva linear membentuk persamaan $y = -0,0918x - 1,5236$ dengan nilai $R^2 = 0,5171$ seperti tersaji pada Gambar 4.13. Nilai A' yang diperoleh adalah sebesar 0,2179 dan nilai k_f sebesar 0,000408278 mg/menit.



Gambar 4.13 Model difusi eksternal adsorpsi *methyl violet* oleh abu sekam padi termodifikasi

4.5.2 Model Difusi Internal

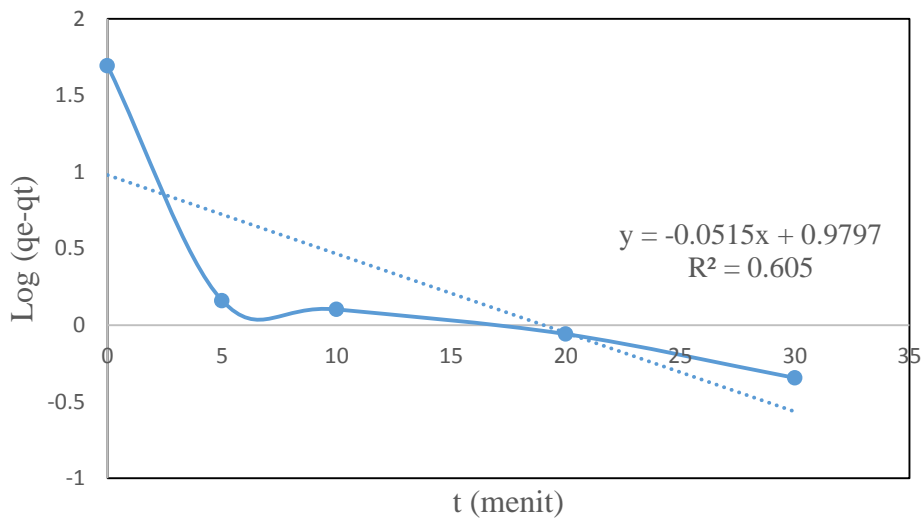
Secara matematis, penentuan model difusi internal mengikuti persamaan 2.15 yang secara linear membentuk persamaan garis $y = 1,1162x + 0,3475$ dengan nilai $R^2 = 0,7439$ seperti terlihat pada Gambar 4.14. Konstanta difusi internal (k_{id}) yang diperoleh adalah sebesar 2,225871.



Gambar 4.14 Model difusi internal adsorpsi methyl violet oleh abu sekam padi termodifikasi

4.5.3 Model reaksi permukaan (pseudo first order)

Persamaan ini sering dinyatakan sebagai persamaan Lagergren, yang secara matematis mengikuti persamaan 2.18 dan menghasilkan kurva linear seperti Gambar 4.15.

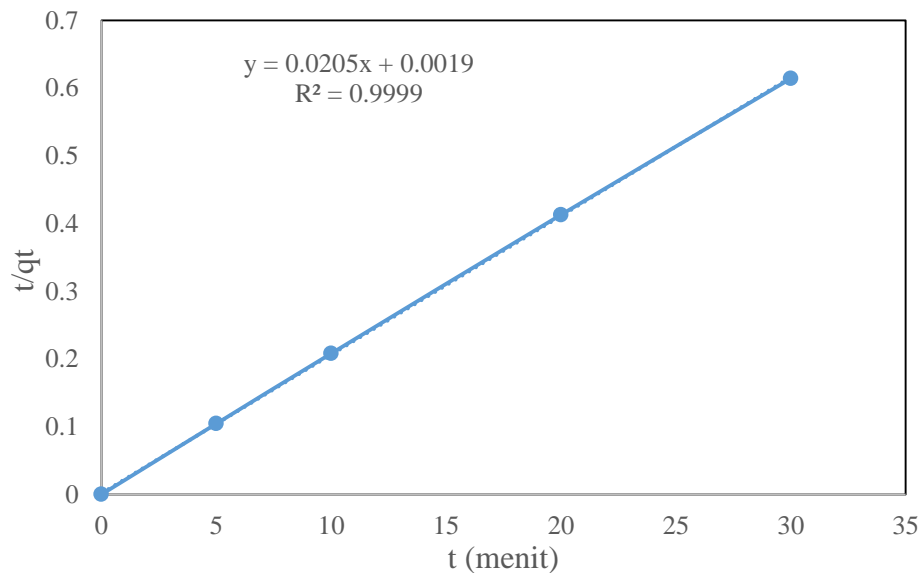


Gambar 4.15 *Pseudo first order* adsorpsi methyl violet oleh abu sekam padi termodifikasi NaOH

Kurva linear pada Gambar 4.15 membentuk persamaan $y = -0,0515x + 0,9797$ dengan nilai R^2 sebesar 0,605 sehingga diperoleh nilai k_1 0,022362136 menit^{-1} .

4.5.4 Model reaksi permukaan (pseudo second order)

Persamaan ini dinyatakan oleh Ho dan Mc Kay, yang secara matematis mengikuti persamaan 2.19 dan menghasilkan kurva linear yang membentuk persamaan $y = 0,0205x + 0,0019$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9999 seperti tersaji pada Gambar 4.16. Nilai k_2 yang diperoleh adalah sebesar $0,221184 \text{ gmg}^{-1}\text{menit}^{-1}$.



Gambar 4.16 *Pseudo second order* adsorpsi *methyl violet* oleh abu sekam padi termodifikasi NaOH

Seperti halnya model kesetimbangan, pada kinetika adsorpsi ini juga dilakukan perhitungan nonlinear sebagai perbandingan yang hasilnya tersaji pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Parameter Kinetika Adsorpsi Reaksi Permukaan

	Linier	Nonlinier
Pseudo first order		
k_1	0,022362136	0,879036743
q_e	9,543331283	48,43026472
R^2	0,605	
Pseudo second order		
k_2	0,221184211	0,198640038
q_e	48,7804878	48,66491849
R^2	0,9999	

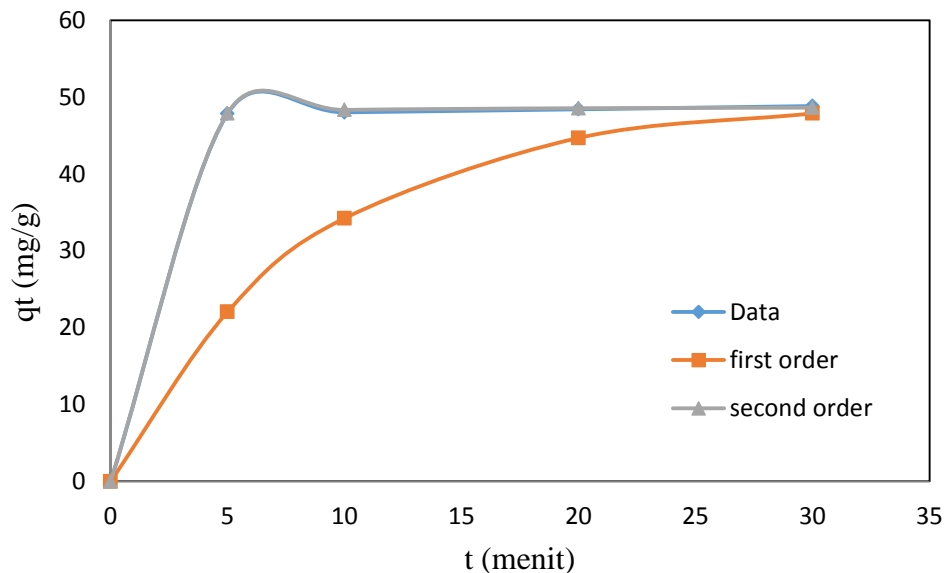
Nilai R^2 persamaan pseudo second order non linear pada Tabel 4.4 lebih besar dari pada persamaan pseudo first order. Hal ini sesuai dengan nilai R^2 pada perhitungan linear, tapi untuk lebih validnya diperlukan analisis kesalahan SSE

dan SAE menggunakan persamaan 4.2 dan 4.3 dan menghasilkan data seperti tersaji pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Analisis Kesalahan Model Kinetika Reaksi Permukaan

	SSE	SAE
Pseudo first order	0,325046	0,831507
Pseudo second order	0,162035	0,645936

Berdasarkan nilai SSE dan SAE pada Tabel 4.5 diketahui bahwa model kinetika adsorpsi pseudo second order memiliki nilai analisis kesalahan terkecil, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model pseudo second order paling mendekati data. Perbandingan data penelitian dan perhitungan jumlah *methyl violet* teradsorpsi abu sekam padi termodifikasi untuk setiap model kinetika reaksi permukaan dapat dilihat pada Gambar 4.17



Gambar 4.17 Perbandingan model kinetika reaksi permukaan adsorpsi *methyl violet* oleh abu sekam padi termodifikasi terhadap data penelitian

Sebagai perbandingan, perhitungan dengan metode nonlinear dilakukan dan menghasilkan parameter kinetika adsorpsi sebagaimana tersaji pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Parameter Kinetika Adsorpsi

	linier	Nonlinier
Pseudo second order		
k_2	0,22184211	0,198640038
R^2	0,9999	
Difusi eksternal		
A'	0,217926	0,217925342
k_f	0,000408278	0,000408287
R^2	0,5171	
Difusi internal		
k_{id}	2,225871045	10,82581172
R^2	0,7439	

Nilai R^2 model pseudo second order nonlinear pada Tabel 4.6 terlihat lebih besar dibandingkan kedua model lainnya, sama dengan nilai R^2 pada perhitungan linear. Namun untuk lebih baiknya tetap diperlukan analisis kesalahan SSE dan SAE menggunakan persamaan 4.2 dan 4.3 yang memberikan hasil perhitungan seperti tersaji pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Analisis Kesalahan Model Kinetika

	SSE	SAE
Pseudo second order	0,162	0,6459
Difusi eksternal	1,5393E-12	2,19314E-06
Difusi internal	858,1377013	47,88296754

Berdasarkan nilai SSE dan SAE pada Tabel 4.7 diketahui bahwa model reaksi permukaan difusi eksternal dan pseudo second order memiliki nilai kesalahan terkecil terhadap data. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model reaksi permukaan pseudo second order paling mendekati data.

Pada dasarnya laju adsorpsi secara keseluruhan dikontrol oleh proses yang berlangsung paling lambat, yang ditandai dengan nilai koefisien/konstanta kinetika terbesar. Difusi eksternal menghasilkan nilai konstanta kinetika terbesar, baik perhitungan dengan metode linear maupun metode nonlinear. Perhitungan analisis kesalahan menunjukkan hasil yang sama, model difusi eksternal memiliki

nilai kesalahan paling kecil terhadap data, sehingga hasil sesuai jika dikatakan model ini mengontrol laju adsorpsi.