

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada penelitian ini, sampel *fly ash* yang digunakan merupakan produk samping (*by-product*) kegiatan pembakaran batubara yang didapat dari *fly ash silo* PT. Komipo Pembangkitan Jawa Bali, sebagai perusahaan O/M (*operator and maintenance*) Unit 3 dan 4 PLTU Tanjung Jati B, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Dimana selanjutnya sampel *fly ash* tersebut diaktivasi dengan metode alkali hidrotermal menggunakan NaOH guna mengubah struktur permukaannya menjadi lebih potensial sebagai adsorben serta dilakukan enkapsulasi terhadap *fly ash* hasil aktivasi menggunakan tepung pati suweg (*Amorphophallus campunalatus*). Informasi karakteristik dari masing-masing adsorben tersebut akan dirincikan pada sub-bab pembahasan selanjutnya.

Proses adsorpsi terhadap *methylene blue* dilakukan terhadap *fly ash* sebelum diaktivasi (RFA), *fly ash* setelah aktivasi (AFA), serta *fly ash* hasil enkapsulasi (AFA-Suweg). Kemudian hasil yang didapat dari ketiga adsorben tersebut dibandingkan. Adapun seluruh proses persiapan adsorben, pembuatan dan enkapsulasi adsorben proses adsorpsi, dan pengujian sampel setelah proses pengujian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia dan Laboratorium Terpadu, Universitas Islam Indonesia.

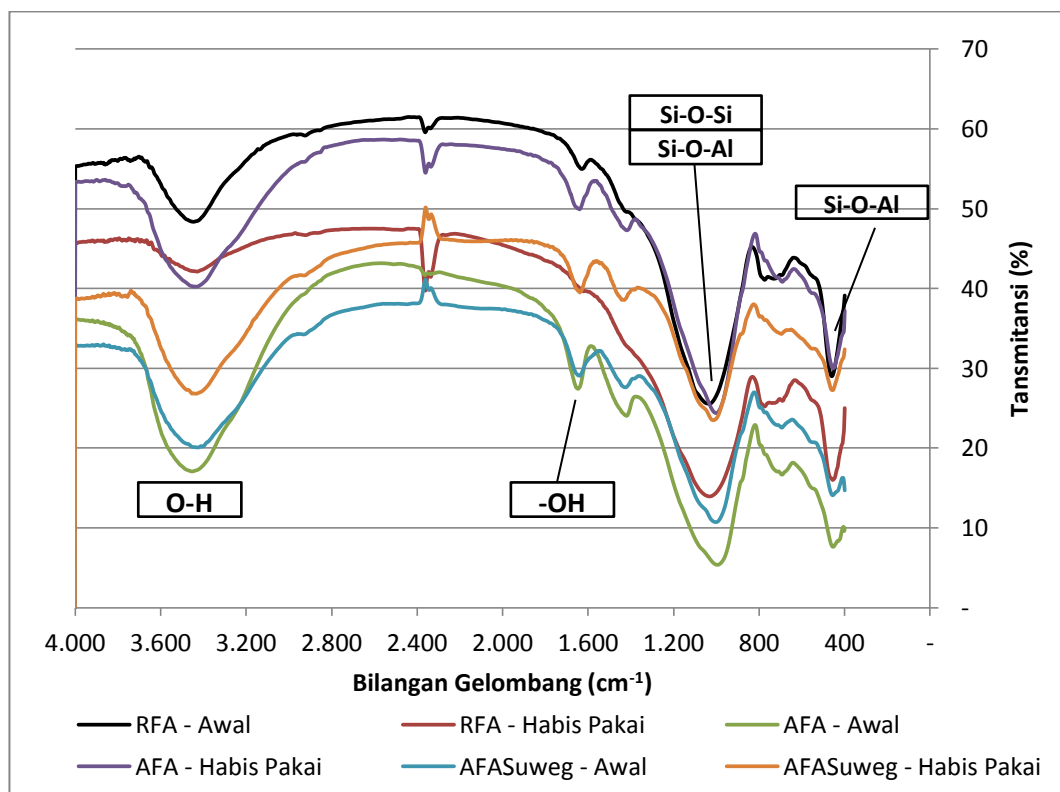
4.2 Karakterisasi Adsorben

Pengujian terhadap karakterisasi adsorben dilakukan terhadap ketiga jenis adsorben; RFA, AFA dan AFA-Suweg, sekaligus ketiga jenis adsorben tersebut yang sudah digunakan dalam proses adsorpsi sebagai pembanding. Dalam rangkaian pengujian karakterisasi ini dilakukan analisa terhadap gugus fungsi

adsorben dan analisa penampang permukaan adsorben. Karakterisasi gugus fungsi dilakukan dengan instrumen FTIR *Analyzer*, sedangkan karakteristik visual terhadap penampang permukaan adsorben dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

4.2.1 Hasil Analisis FTIR

Hasil spektroskopi infra merah terhadap semua sampel adsorben yaitu RFA-Awal (*Raw Fly Ash Awal*), RFA-HP (*Raw Fly Ash Habis Pakai*), AFA-Awal (*Activated Fly Ash Awal*), AFA-HP (*Activated Fly Ash Habis Pakai*), AFASuweg-Awal (*Activated Fly Ash Suweg Awal*), dan AFASuweg-HP (*Activated Fly Ash Suweg Habis Pakai*) dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut :

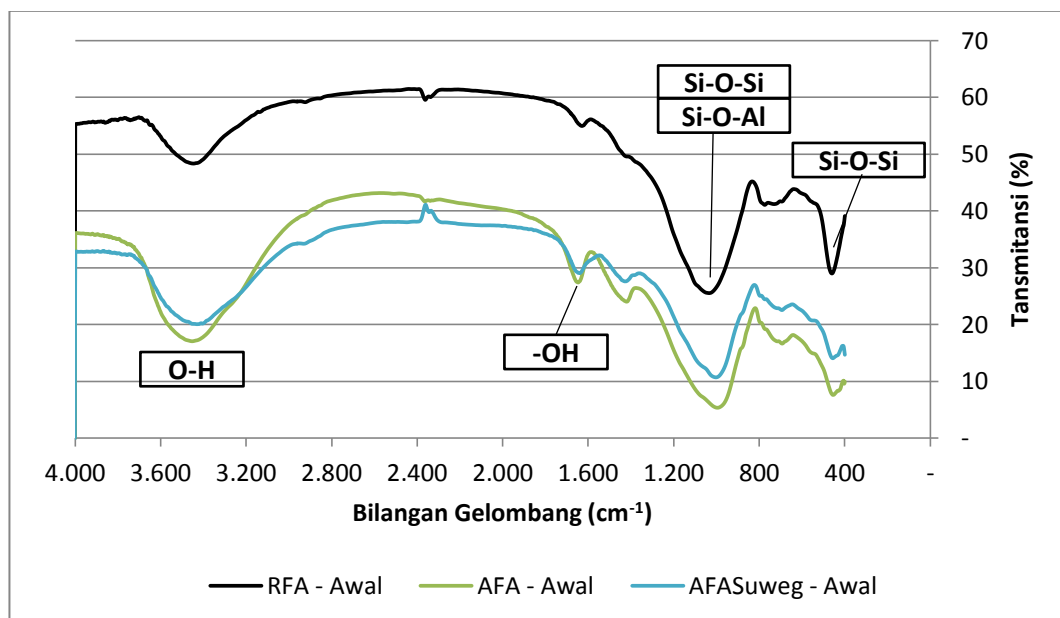


Gambar 4.1 – Spektre IR Semua Jenis Adsorben Awal dan Habis Pakai

Sumber : Data Primer, 2018

a. Pengaruh Aktivasi dan Enkapsulasi Terhadap Gugus Fungsi

Hasil spektra infra merah untuk *fly ash* tanpa aktivasi (RFA), *fly ash* dengan aktivasi menggunakan sodium hidroksida 3M (AFA) dan AFA dengan enkapsulasi pati glikomanan suweg dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut :



Gambar 4.2 – Spektra IR Semua RFA-Awal, AFA-Awal dan AFASuweg-Awal
Sumber : Data Primer, 2018

Diamati sekilas, pola spektra infra merah dari ketiga jenis adsorben di atas menunjukkan jumlah dan letak puncak grafik yang relatif sama. Pada spektra AFA dan AFASuweg hanya menunjukkan satu puncak baru yang terbentuk, yaitu pada kisaran bilangan gelombang 1400 cm^{-1} . Namun selebihnya pola grafik menunjukkan tren yang sama. Dengan demikian diketahui bahwa selama proses aktivasi *fly ash* menggunakan sodium hidroksida 3M terbentuk satu gugus fungsi baru pada kisaran bilangan gelombang $1418\text{-}1431\text{ cm}^{-1}$. Adapun gugus fungsi dengan bilangan gelombang tersebut diasosiasikan sebagai gugus alkana. Secara umum, aktivasi tidak membentuk senyawa baru, namun hanya berfungsi untuk

menghilangkan bahan-bahan dan senyawa pengotor untuk mengoptimalkan pori-pori dari SiO_2 dan Al_2O_3 (Nurhayati dan Yuli, 2013).

Dari ketiga grafik spektra, terdapat puncak-puncak serapan yang masing-masing terletak pada kisaran bilangan gelombang 3400 cm^{-1} , (tepatnya 3447 cm^{-1} untuk RFA, 3452 cm^{-1} untuk AFA dan 3430 cm^{-1} untuk AFASuweg), 1600 cm^{-1} (tepatnya 1628 cm^{-1} untuk RFA, 1646 cm^{-1} untuk AFA dan 1639 cm^{-1} untuk AFASuweg), 1000 cm^{-1} (tepatnya 1034 cm^{-1} untuk RFA, 994 cm^{-1} untuk AFA dan 1002 cm^{-1} untuk AFASuweg) dan 450 cm^{-1} (tepatnya 459 cm^{-1} untuk RFA, 454 cm^{-1} untuk AFA dan 455 cm^{-1} untuk AFA-Suweg). Puncak serapan pada kisaran 3400 cm^{-1} menunjukkan vibrasi bengkokan untuk gugus O-H. Sedangkan serapan pada kisaran bilangan gelombang 1600 cm^{-1} diasosiasikan sebagai vibrasi regangan untuk gugus -OH (Bakkali dkk, 2016). Sedangkan pada serapan 450 cm^{-1} diasosiasikan sebagai serapan vibrasi bengkokan dari gugus Si-O-Si, serta puncak lainnya pada serapan $1050\text{-}944\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan keberadaan gugus Si-O-Si dan juga Si-O-Al pada vibrasi rentangan (Bakkali dkk, 2016). Hal tersebut sejalan dengan yang diutarakan oleh Haryanti (2015), jika komponen utama dari *fly ash* batubara yang berasal dari pembakaran PLTU antara lain adalah silikat (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3). Berdasarkan komposisi tersebut, abu layang merupakan sumber yang dapat digunakan dalam pembuatan zeolit melalui proses alkali hidrotermal (Jumaeri dkk, 2007).

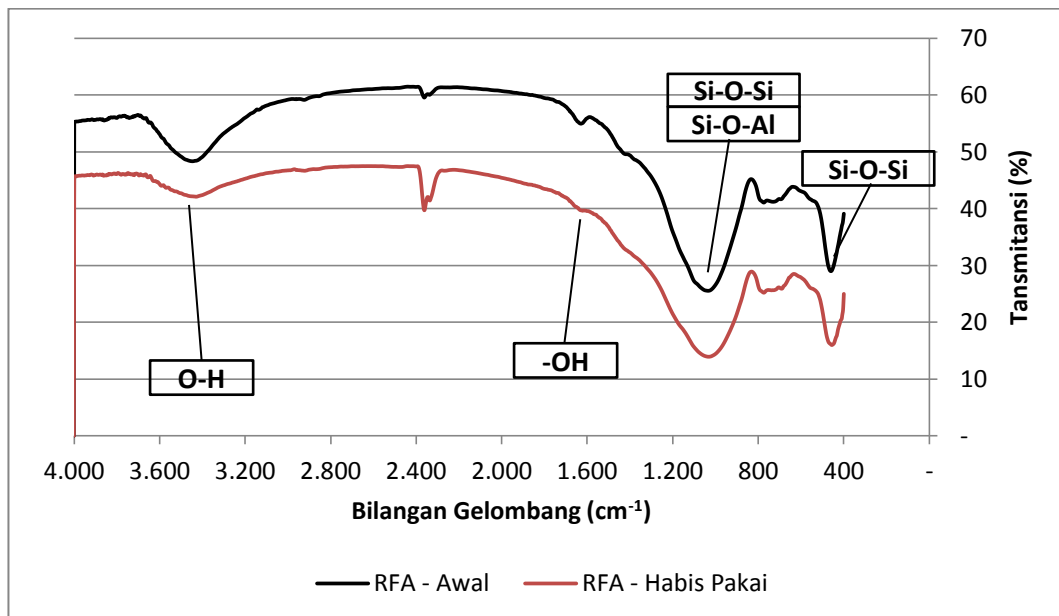
Sedang apabila melihat persen transmitansi dari grafik RFA dibandingkan AFA, penurunan nilai transmitansi terjadi pada semua puncak serapan yang terbentuk. Hal ini menunjukkan kandungan gugus yang ada meningkat. Sebagai contoh puncak serapan untuk vibrasi bengkokan gugus O-H yang sebelum aktivasi mencatatkan nilai transmitansi 48,34%, turun menjadi 17,07%. Hal ini mengindikasikan bahwa setelah aktivasi menunjukkan peningkatan jumlah ikatan hidroksil,

dimana ini adalah parameter adsorpsi untuk penyerapan air (Lestari dkk, 2016).

Kemudian, setelah AFA dienkapsulasi, persen transmitansi dari semua gugus kembali berubah. Perubahan terjadi naik, namun kenaikan tidak terlalu signifikan. Dengan demikian gugus fungsi yang ada pada enkapsulat memiliki banyak kesamaan dengan AFA murni. Pati suweg memiliki karakteristik yang mirip dengan zeolit serta adsorben berbasis massa lainnya (Lestari dkk, 2016).

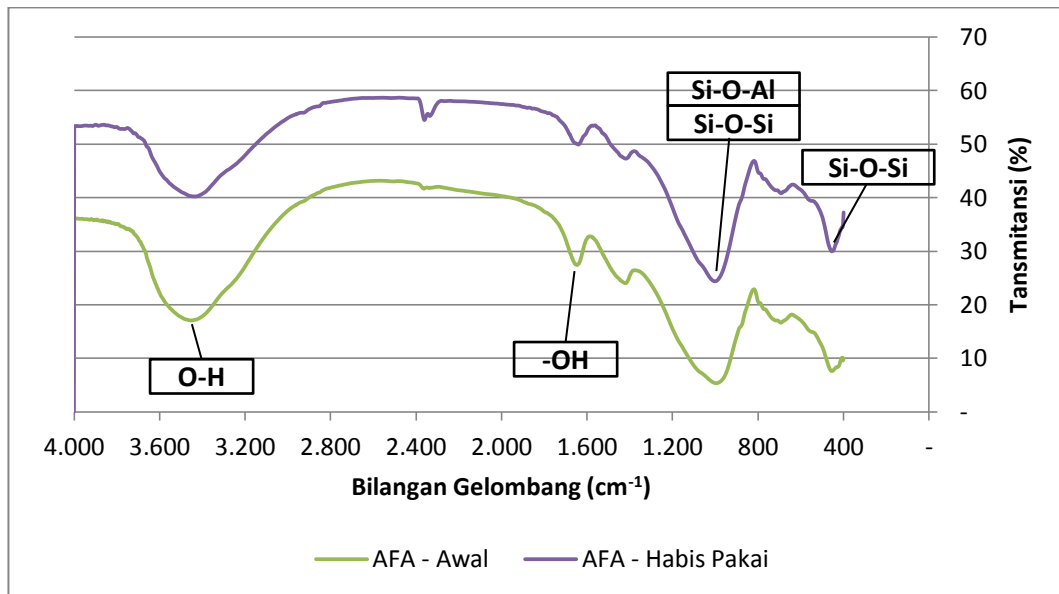
b. Analisa Gugus Fungsi Adsorben Setelah Proses Adsorpsi

Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 berikut, berturut-turut menunjukkan sektra infra merah dari perbandingan RFA, AFA dan AFASuweg sebelum dan sesudah digunakan adsorpsi :

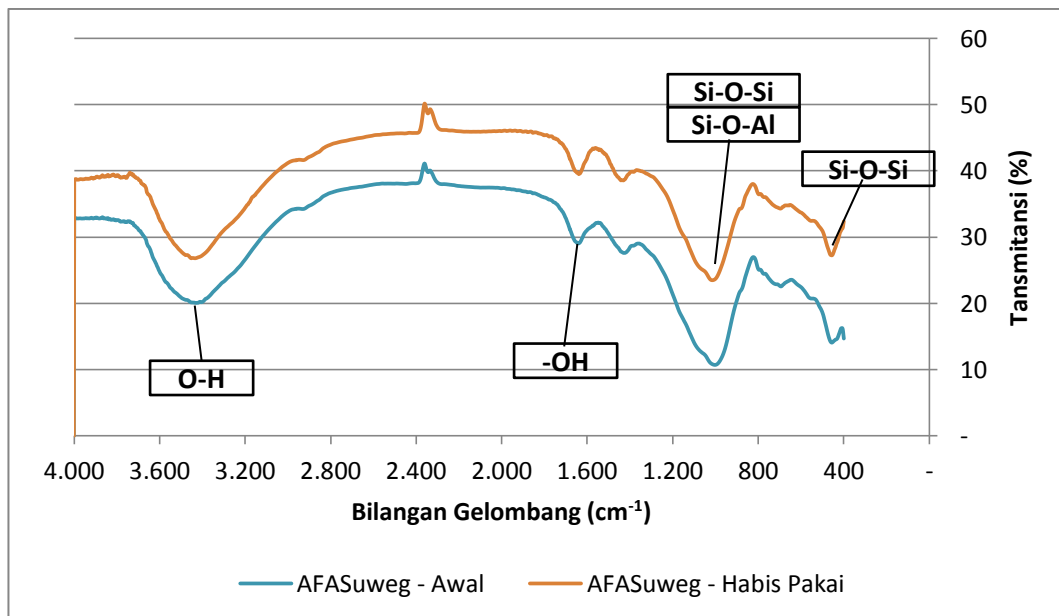


Gambar 4.3 – Spektra IR RFA-Awal dan RFA-HP

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.4 – Spektra IR AFA-Awal dan AFA-HP
 Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.5 – Spektra IR AFASuweg-Awal dan AFASuweg-HP
 Sumber : Data Primer, 2018

Dari ketiga grafik di atas, tren kurva yang terjadi pada sektra adsorben sebelum dan sesudah penggunaan adsorpsi untuk masing-masing jenis adsorben hampir terlihat tidak ada perbedaan tren grafik. Puncak-

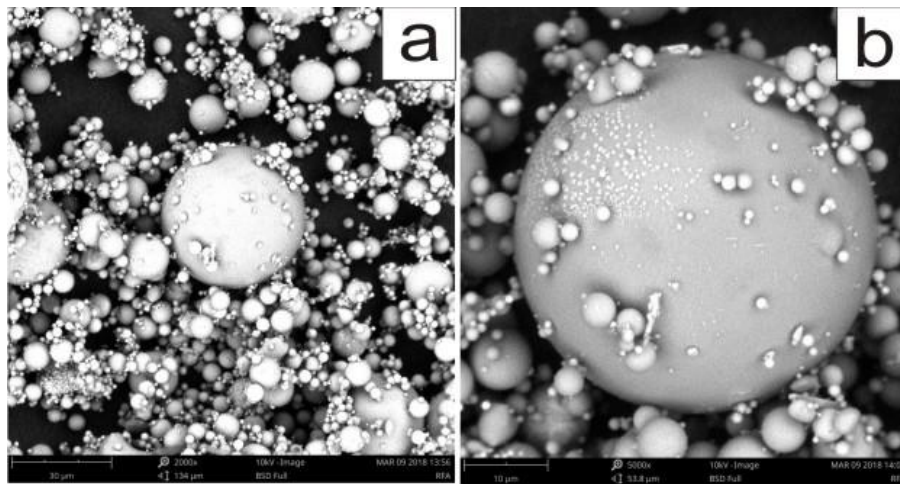
puncak yang terbentuk cenderung mirip dan pada posisi yang sama. Hal ini menunjukkan setelah proses adsorpsi tidak ada pembentukan gugus fungsional baru pada adsorben.

Pada spektra RFA terlihat persen transmitansi dari semua puncak mengalami penurunan yang artinya intensitasnya meningkat. Hal ini dimungkinkan karena adsorbat yang menempel pada adsorben yang kurang kaya akan gugus fungsi akan membentuk gugus-gugus fungsi baru yang jenisnya sama dengan gugus-gugus fungsi yang sudah ada sehingga jumlahnya semakin banyak setelah proses adsorpsi terjadi. Sebaliknya dengan spektra AFA dan AFA-Suweg yang menunjukkan persen transmitansi yang lebih besar setelah digunakan untuk adsorpsi. Hal itu dimungkinkan karena gugus-gugus fungsi reaktif yang semula ada dalam AFA dan AFA-Suweg sudah berikatan dengan senyawa adsorbat, sehingga jumlah gugus fungsi aktif menjadi berkurang pada adsorben yang sudah digunakan untuk adsorpsi.

4.2.2 Hasil Analisis SEM

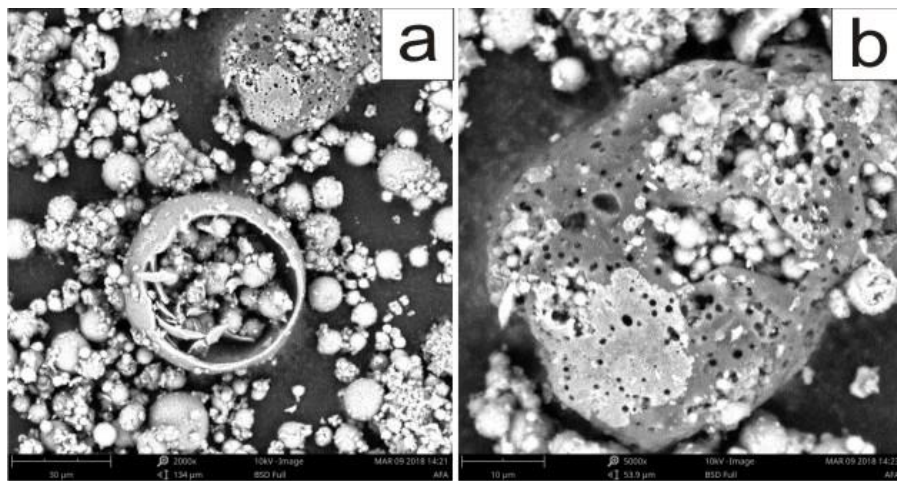
4.2.2.1 Adsorben Awal

Gambar 4.6, Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 berikut menunjukkan citra pengamatan dengan SEM berturut-turut adsorben awal untuk RFA, AFA dan AFA-Suweg :



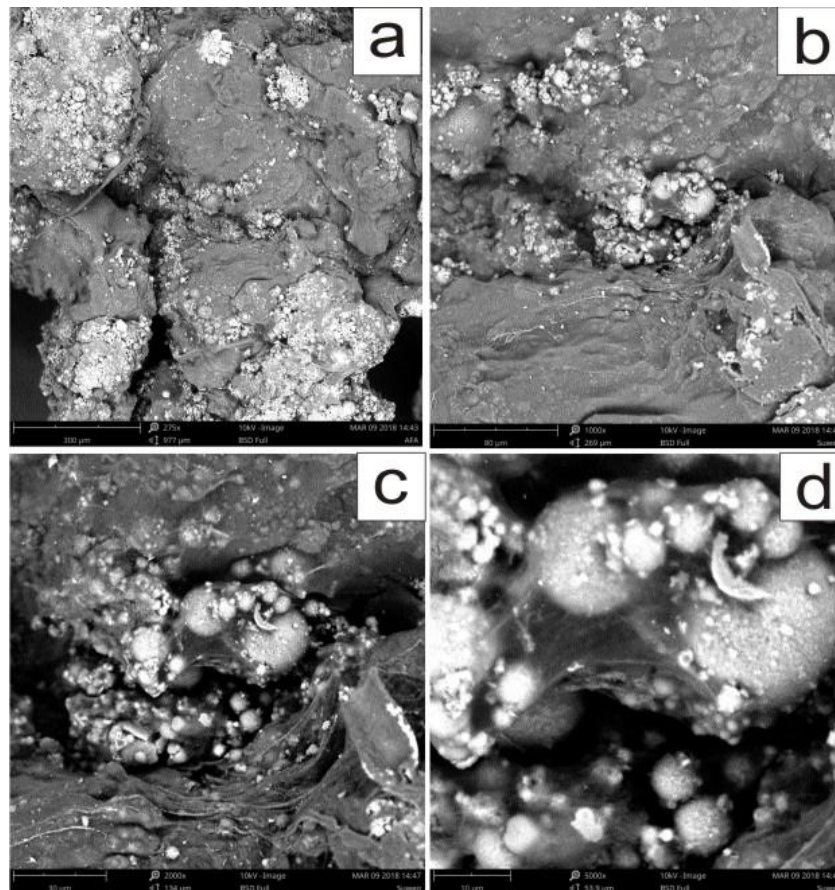
Gambar 4.6 – Citra SEM untuk RFA (a)Perbesaran 2000 kali, (b) Perbesaran 5000 kali

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.7 – Citra SEM untuk AFA (a)Perbesaran 2000 kali, (b) Perbesaran 5000 kali

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.8 – Citra SEM untuk AFA-Suweg Awal (a) Perbesaran 275 kali, (b) Perbesaran 1000 kali, (c) Perbesaran 2000 kali dan (d) Perbesaran 5000 kali

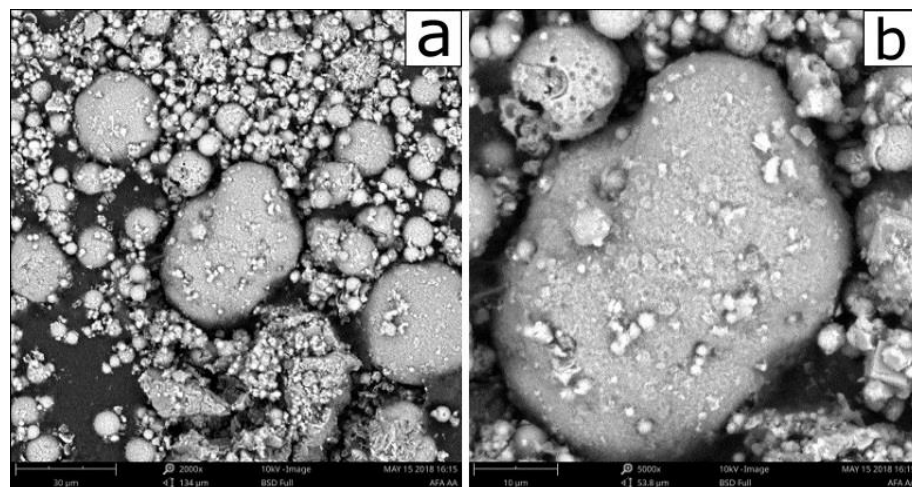
Sumber : Data Primer, 2018

Citra SEM adsorben RFA pada Gambar 4.6 menampilkan partikulat *fly ash* yang belum diaktivasi. Partikulat-partikulat RFA berbentuk bola sempurna dengan permukaan yang cenderung rata tidak berpori. Hingga perbesaran 5000 kali, masih terindikasi partikulat RFA tersebut memiliki permukaan yang halus dan tidak berpori. Setelah RFA diberikan perlakuan aktivasi dengan NaOH 3M, permukaan *fly ash* terlihat bentuknya lebih kasar bahkan rusak. Pada Gambar 4.7, pada perbesaran 2000 kali dapat dilihat partikulat AFA yang mayoritas semula berbentuk bola dengan permukaan yang halus menjadi pecah dan bentuknya tidak beraturan. Pada perbesaran 5000 kali terlihat partikulat AFA yang permukaannya terdapat pori-pori. Pori-pori tersebut membuat luas permukaan total dari *fly ash* hasil aktivasi lebih luas dari *fly ash* sebelum diaktivasi. Fenomena ini

memunculkan hipotesa bahwa produk adsorben AFA akan dapat lebih banyak mengadsorpsi adsorbat *methylene blue* ketimbang produk RFA ketika digunakan dalam proses adsorpsi nantinya. Karena semakin adsorben memiliki permukaan yang luas, maka semakin banyak pula zat yang dapat teradsorpsi (Syauqiah dkk, 2011).

Pada Gambar 4.8 yang merupakan citra SEM dari AFA hasil enkapsulasi menjadi AFA-Suweg, pada perbesaran 2000 kali dan 5000 kali, terlihat butir-butir partikulat AFA terikat diantara suspensi glikomanan suweg. Ikatan tersebut membuat AFA yang semula berbentuk bubuk menjadi tidak mudah terdispersi, sehingga lebih mudah digunakan apabila adsorben diterapkan di lapangan. Namun hal tersebut akan menjadi faktor terjadinya pelambatan proses adsorpsi yang dilakukan oleh AFA-Suweg. Hal itu terjadi karena situs adsorpsi pada adsorben yang dienkapsulasi tertutup oleh enkapsulat (Safa dkk, 2012). Sehingga adsorbat memerlukan lebih banyak waktu untuk dapat teradsorpsi ke permukaan AFA di dalam material suweg.

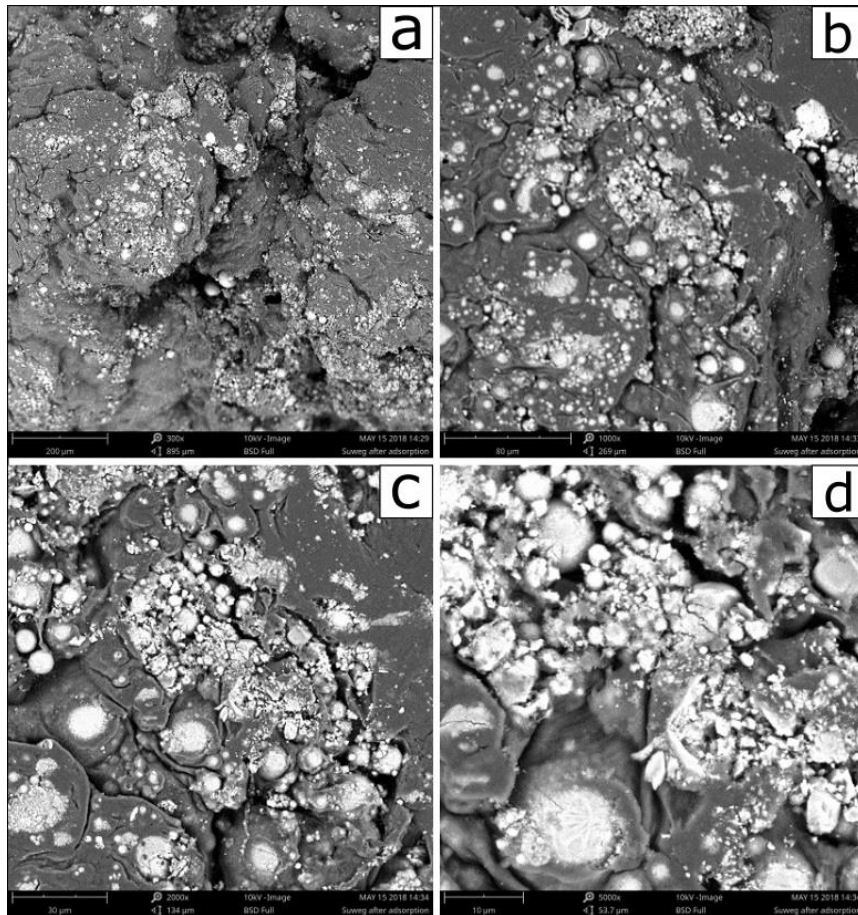
4.2.2.1 Adsorben Habis Pakai



Gambar 4.9 – Citra SEM untuk AFA Habis Pakai (a) Perbesaran 2000 kali, (b) Perbesaran 5000 kali

Sumber : Data Primer, 2018

Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 berikut menunjukkan citra pengamatan dengan SEM berturut-turut adsorbent setelah digunakan untuk mengadsorpsi *methylene blue* untuk AFA dan AFA-Suweg :



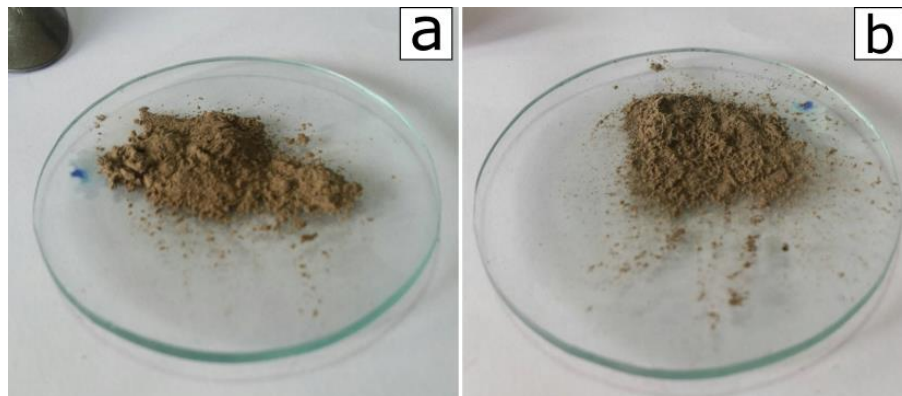
Gambar 4.10 – Citra SEM untuk AFA-Suweg Habis Pakai (a) Perbesaran 275 kali, (b) Perbesaran 1000 kali, (c) Perbesaran 2000 kali dan (d) Perbesaran 5000 kali

Sumber : Data Primer, 2018

Melihat citra SEM untuk AFA setelah digunakan untuk proses adsorpsi (AFA Habis Pakai) pada Gambar 4.9 dan membandingkannya dengan citra SEM untuk AFA awal pada Gambar 4.7, terlihat AFA pada perbesaran 5000 kali yang semula pada permukaan adsorbennya pori-porinya terbuka dan terlihat jelas menjadi tertutup dan permukaannya lebih rata tanpa pori setelah digunakan untuk mengadsorpsi *methylene blue*. Hal ini mengindikasikan *methylene blue* yang teradsorpsi benar-benar mengisi pori-pori dari AFA.

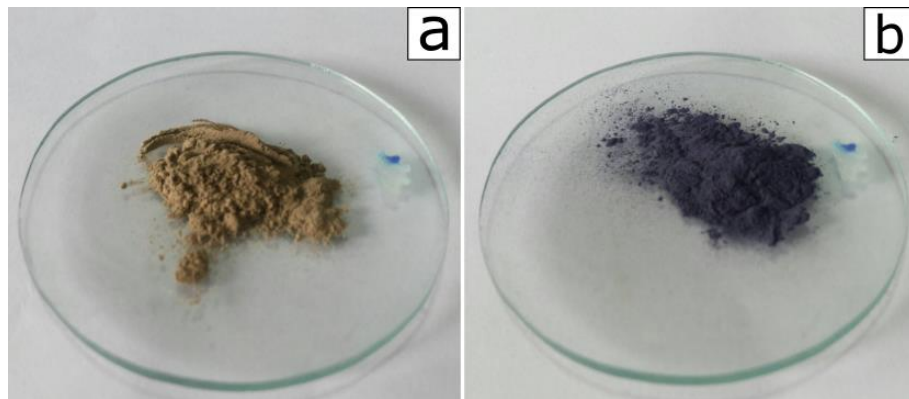
Sedangkan citra SEM untuk AFA-Suweg setelah digunakan untuk proses adsorpsi (AFA-Suweg Habis Pakai) pada Gambar 4.10 cenderung kurang dapat dibandingkan dengan citra SEM untuk AFA-Suweg awal pada Gambar 4.8. Citra SEM dari kedua produk adsorben sebelum dan sesudah digunakan tersebut cenderung mirip. Hal tersebut membuat sulitnya dilakukan pembahasan berdasarkan citra SEM. Namun secara kasat mata, AFA-Suweg awal yang berwarna abu-abu kecokelatan warnanya menjadi biru setelah digunakan untuk mengadsorpsi *methylene blue*. Sejalan dengan *methylene blue* yang juga berwarna biru, hal ini menunjukkan bahwa *methylene blue* benar dapat teradsorpsi oleh produk *fly ash* meskipun ia terenkapsulasi matriks suweg seperti yang terlihat pada gambar 4.13 di bawah ini.

Gambar 4.11 hingga 4.13 berikut menampilkan foto kasat mata RFA, AFA, dan AFA-Suweg sebelum dan sesudah digunakan dalam proses adsorpsi.



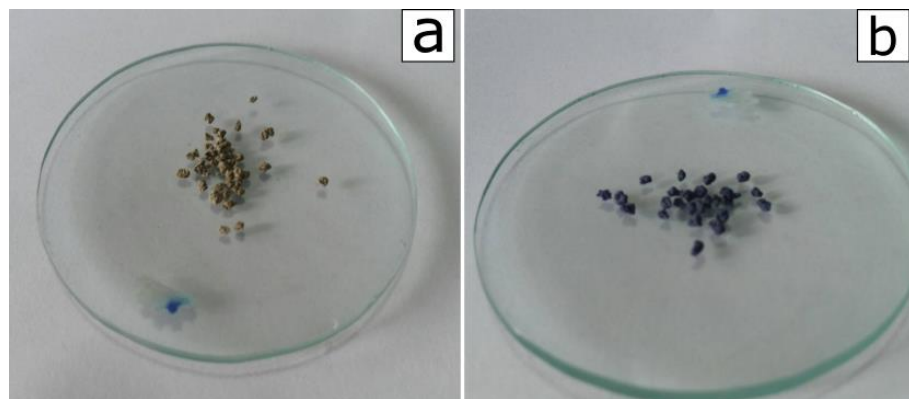
Gambar 4.11 – Kasat Mata RFA (a) Awal, (b) Habis Pakai

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.12 – Kasat Mata AFA (a) Awal, (b) Habis Pakai

Sumber : Data Primer, 2018



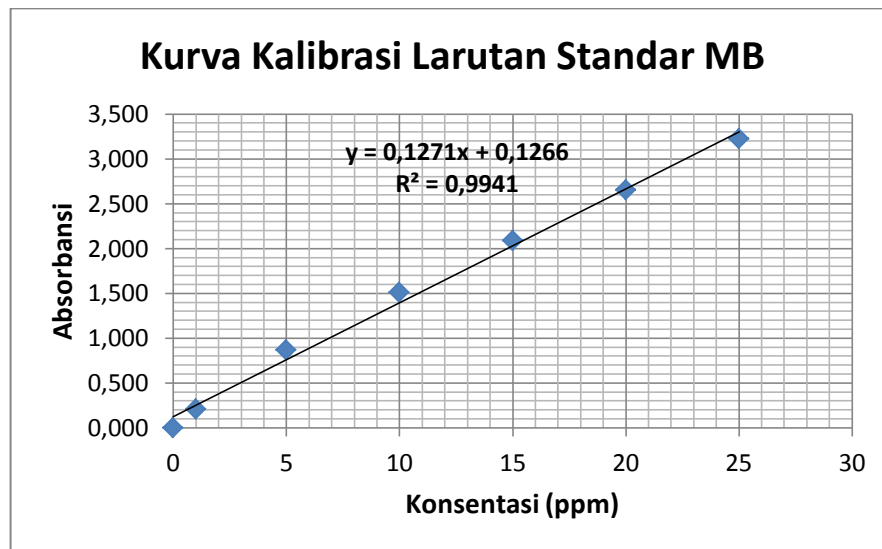
Gambar 4.13 – Kasat Mata AFA-Suweg (a) Awal, (b) Habis Pakai

Sumber : Data Primer, 2018

Begitu pula penampakan kasat mata untuk AFA Habis Pakai pada Gambar 4.12 yang terlihat berwarna biru dari yang semula berwarna abu-abu kecokelatan. Sama halnya dengan AFA-Suweg, AFA murni juga benar dapat mengadsorpsi *methylene blue* hingga AFA Habis Pakai berwarna selaras dengan warna adsorbat. Namun tidak demikian dengan tampak RFA Awal dan RFA Habis Pakai pada Gambar 4.11 yang cenderung tidak dapat dibandingkan perbedaannya. Hal ini mengindikasikan sedikit atau bahkan tidak adanya *methylene blue* yang dapat teradsorpsi pada produk adsorben RFA.

4.3 Larutan Standar *Methylene Blue* (MB)

Larutan standar *methylene blue* dibuat dari bubuk *methylene blue* murni yang kemudian diracik menjadi larutan induk. Larutan induk selanjutnya diencerkan menjadi 6 larutan guna menjadi sampel standar kalibrasi, masing-masing 1 mg/L, 5 mg/L, 10 mg/L, 15mg/L, 20 mg/L, dan 25 mg/L. Larutan standar kemudian diuji dengan spektrofotometer menggunakan panjang gelombang 650 nm. Adapun kurva kalibrasi hasil pengukuran larutan standar dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut :



Gambar 4.14 – Kurva Kalibrasi Larutan Standar *Methylene Blue*

Sumber : Data Primer, 2018

Dari perhitungan terhadap data larutan standar, didapatkan persamaan regresi linear $y = 0,1271x + 0,1266$ dan nilai $R^2 = 0,9941$. Persamaan regresi linear dari uji kalibrasi ini selanjutnya digunakan untuk mencari nilai konsentrasi larutan adsorbat pada pengujian-pengujian selanjutnya.

4.4 Proses Adsorpsi (Penentuan Kadar Optimum)

Penentuan kadar optimum dilakukan untuk mengetahui kadar optimum dari faktor-faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi. Sehingga pada

pengujian dapat dilakukan adsorpsi dengan kondisi-kondisi optimum sehingga proses adsorpsi berjalan optimum. Adapun untuk menguji faktor-faktor tersebut dilakukan uji terhadap variasi massa adsorben (dosis), derajat keasaman (pH) larutan, waktu kontak, serta konsentrasi adsorbat.

4.4.1 Pengujian Variasi Massa (Dosis) Adsorben

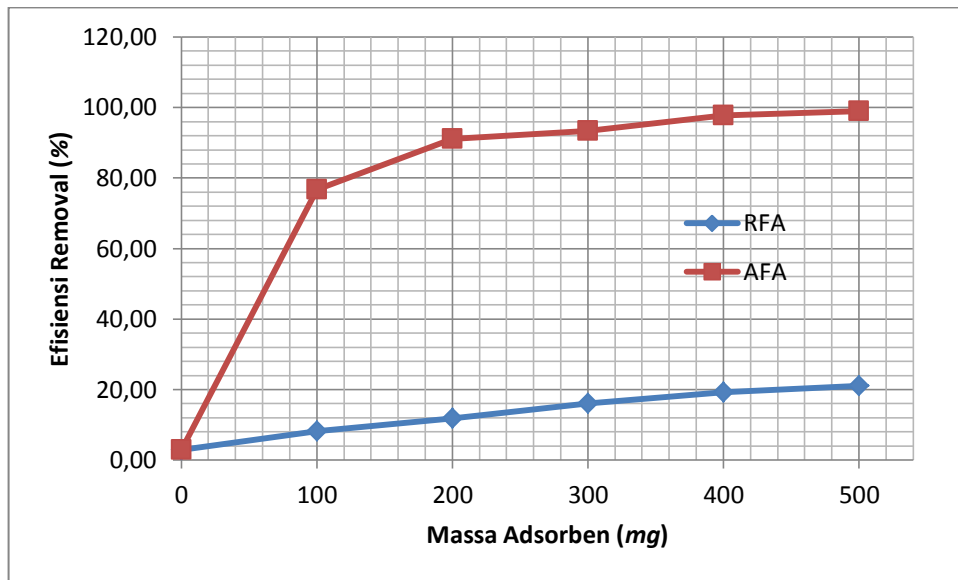
Pengujian variasi massa adsorben ditujukan untuk menemukan dosis adsorben yang paling optimal kapasitas adsorpsinya sekaligus yang memiliki efisiensi removal tinggi. Pengujian variasi massa ini dilakukan terhadap adsorben AFA serta RFA sebagai pembanding kemampuan adsorpsi antara *fly ash* tanpa aktivasi dengan *fly ash* dengan aktivasi. Berikut merupakan data hasil pengujian variasi massa adsorben :

Tabel 4.1 – Data Variasi Massa Adsorben

Dosis (mg)	RFA			AFA		
	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)
0 (Blangko)	19,42	-	2,92	19,42	-	2,92
100	18,35	0,82	8,25	4,65	7,68	76,75
200	17,64	0,59	11,81	1,79	4,55	91,07
300	16,80	0,53	16,00	1,32	3,11	93,41
400	16,15	0,48	19,26	0,44	2,44	97,78
500	15,79	0,42	21,03	0,20	1,98	99,00

Sumber : Data Primer, 2018

Data di atas menunjukkan hubungan antara efisiensi removal dalam persen dengan penambahan massa adsorben. Adapun Gambar 4.15 berikut menunjukkan plot data ke dalam grafik.



Gambar 4.15 – Hubungan Efisiensi Removal MB dengan Variasi Massa

Sumber : Data Primer, 2018

Melihat dari data tabel terlampir, diketahui kapasitas adsorpsi dari adsorben paling besar adalah pada dosis 100 mg dengan 7,68 mg *methylene blue* per 1 gr adsorben, diikuti dosis 200 mg dengan kapasitas adsorpsi sebesar 4,55 mg/gr. Namun demikian, walaupun pada dosis 100 mg kapasitasnya paling besar, efisiensi removal pada dosis tersebut hanya sebesar 76,75% saja. Sedangkan pada dosis 200 mg efisiensi removalnya bisa menyentuh lebih dari 90%, yaitu 91,07%. Maka dengan kapasitas adsorpsi yang masih cukup besar, sebesar 4,55 mg/g, dosis 200 mg dianggap sebagai dosis yang paling optimum dan efisien. Dengan demikian, pengujian selanjutnya akan menggunakan massa sebesar 200 mg adsorben sebagai dosis tetapnya.

Melihat grafik pada Gambar 4.15, diketahui persentase adsorpsi meningkat bersamaan dengan ditambahkan dosis adsorben. Meningkatnya persentase tersebut berhubungan dengan bertambahnya situs aktif yang tersedia pada permukaan adsorben. Semakin banyak situs aktif yang tersedia, akan membuat kontak antar adsorben dan adsorbat semakin besar. Sehingga terjadi peningkatan persentase adsorpsi (Hidayati dkk, 2016).

Membandingkan dengan data yang didapatkan dari pengujian RFA, diketahui bahwa selisihnya sangat jauh dibandingkan hasil dari pengujian AFA. Dapat dilihat, dengan dosis 200 mg RFA, adsorben hanya dapat meremoval adsorbat sebesar 11,81%. Jauh dibandingkan AFA yang mampu meremoval hingga 91,08%. Sedangkan pada dosis 500 mg, AFA dapat meremoval adsorbat hingga 99,00%, sedangkan RFA hanya mampu meremoval 21,03% dari *methylene blue* yang terkandung. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa perlakuan aktivasi RFA menjadi AFA berhasil dilakukan dan sangat signifikan meningkatkan kapasitas adsorpsi dan efisiensi persentase removalnya. Hal ini selaras dengan hasil karakterisasi yang didapatkan pada sub-bab sebelumnya, pori-pori yang terbentuk akibat aktivasi memperluas total luas penampang dari produk adsorben sehingga tersedia lebih banyak situs aktif bagi adsorbat untuk menempel dan membuat kemampuan adsorpsinya meningkat. Sejalan dengan yang diutarakan oleh Syauqiah dkk (2011), bahwa semakin adsorben memiliki permukaan yang luas, maka semakin banyak pula zat yang dapat teradsorpsi.

4.4.2 Pengujian Variasi Derajat Keasaman (pH) Larutan

Pengujian variasi derajat keasaman ditujukan untuk menemukan kondisi keasaman lingkungan yang optimal bagi proses adsorpsi yang berlangsung. Adapun dosis yang digunakan dalam uji variasi ini adalah dosis atau massa optimum yang didapatkan pada pengujian variasi massa adsorben sebelumnya, yaitu sebesar 200 mg.

Dalam proses adsorpsi yang dilakukan, pH larutan dikontrol pada menit ke 10 dan 30. Kontrol pH dilakukan hingga menit ke-30 tersebut karena dianggap pada menit tersebut pH lingkungan larutan sudah mencapai kesetimbangan. Sehingga perubahan pH pada menit selanjutnya tidak akan signifikan.

Berikut merupakan data hasil pengujian adsorpsi AFA beserta RFA sebagai pembanding :

Tabel 4.2 – Data Variasi pH Larutam

pH	RFA			AFA		
	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)
3	18,94	0,26	5,30	5,95	3,51	70,24
4	17,53	0,62	12,34	3,83	4,04	80,86
5	16,77	0,81	16,16	2,45	4,39	87,77
6	16,54	0,86	17,30	2,37	4,41	88,14
7	16,25	0,94	18,75	2,11	4,47	89,46
8	16,38	0,90	18,08	2,12	4,47	89,42
9	15,62	1,10	21,92	2,10	4,47	89,50
10	15,70	1,08	21,52	1,94	4,51	90,29

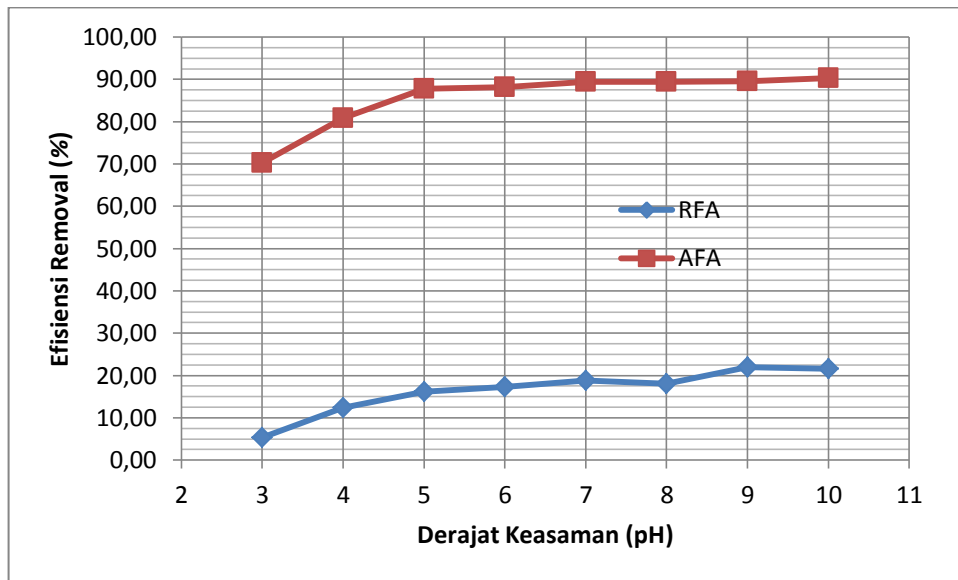
Sumber : Data Primer, 2018

Tabel 4.3 – Data pH pada Variasi pH Larutam

No.	pH Awal	pH			
		RFA		AFA	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir
1.	3	3,1	4,1	3,3	3,7
2.	4	4,2	5,0	4,1	5,8
3.	5	4,8	5,6	5,0	6,7
4.	6	6,2	7,4	5,8	7,2
5.	7	7,1	8,0	7,0	7,6
6.	8	8,1	8,2	7,8	8,7
7.	9	8,8	9,0	8,9	9,2
8.	10	9,6	9,4	10,1	10,2

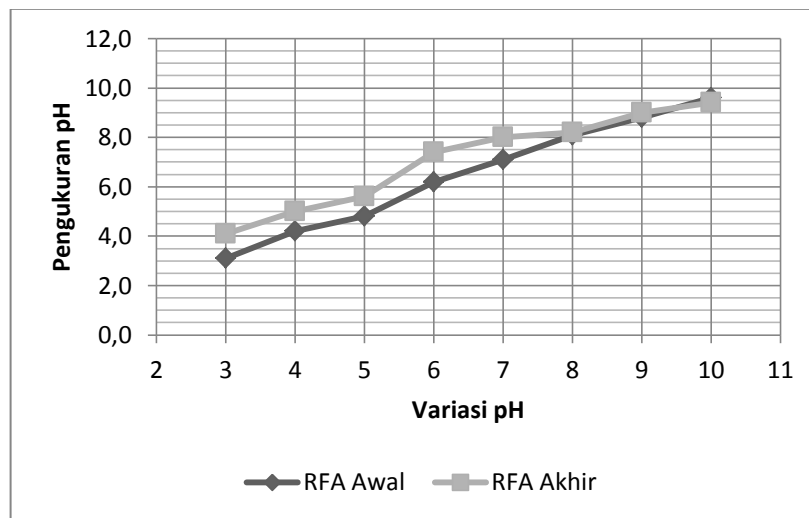
Sumber : Data Primer, 2018

Data di atas menunjukkan hubungan antara efisiensi removal dalam persen dengan penambahan tingkat derajat keasaman larutan. Adapun Gambar 4.16 berikut menunjukkan plot data ke dalam grafik, serta Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 yang menunjukkan plot pengukuran pH ke dalam grafik:



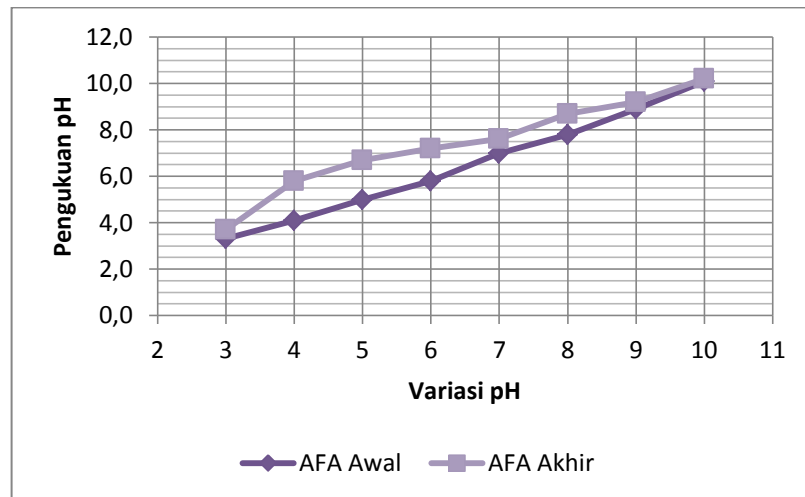
Gambar 4.16 – Hubungan Efisiensi Removal MB dengan Variasi pH

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.17 – Pengukuran pH Awal dan Akhir pada Variasi pH untuk RFA

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.18 – Pengukuran pH Awal dan Akhir pada Variasi pH untuk AFA

Sumber : Data Primer, 2018

Berdasarkan data yang didapatkan, melihat data kapasitas adsorpsi dan efisiensi persen removal adsorben RFA dan AFA, pada kondisi pH larutan yang asam yaitu pada pH 4 dan pH 3, nilai kapasitas adsorpsi dan efisiensi persen removal kedua adsorben tersebut merupakan nilai terendah. Untuk AFA, pada pH 3 dan pH 4 efisiensi removalnya hanya berkisar 70 hingga 80% saja. Sedangkan ketika pH dinaikkan ke pH 5, efisiensi meningkat senilai 87,77%. Peningkatan efisiensi terus meningkat hingga pH 7, yaitu seharga 89,46%. Namun penambahan pH pada kondisi basa, yaitu pH 8, pH 9 dan pH 10, peningkatan efisiensi persen removal tidak terjadi secara signifikan dan cenderung setabil pada nilai 89 hingga 90%.

Tren data yang cenderung sama juga terjadi pada data RFA. Pada pH 3, efisiensi persen removal RFA merupakan yang terendah yaitu senilai 5,30%. Ketika terjadi penambahan pH pada larutan, efisiensi persen removalnya mengalami peningkatan nilai hingga pH 7, yaitu senilai 18,75%. Sedangkan pada pH basa ke pH 8, pH 9 dan pH 10, nilai efisiensinya berkuat pada kisaran 18 hingga 21%.

Kedua hasil tersebut menunjukkan pada pH rendah kapasitas adsorpsi terhadap *methylene blue* lebih rendah dibanding pada keadaan netral atau basa.

Fenomena tersebut terjadi karena terkandungnya banyak ion H^+ dalam larutan adsorbat, sedangkan permukaan adsorben bermuatan negatif. Dengan demikian, rendahnya adsorpsi pada pH rendah diakibatkan oleh banyaknya ion H^+ yang berebut situs adsorpsi pada permukaan adsorben dengan kation pada *methylene blue* (Nasuha dkk, 2010). Demikian pula yang disampaikan oleh Safa dkk (2012), apabila pada pH rendah, konsentrasi H^+ akan tinggi dan dengan begitu proton menjadi pesaing adsorbat untuk menempel pada situs adsorpsi.

Dalam pengujian variasi waktu kontak dan variasi konsentrasi adsorbat akan digunakan pH adsorbat yang bernilai netral ataupun basa. Hal ini karena pada kedua kondisi tersebut data efisiensi persen removal menunjukkan data paling optimal dan cenderung stabil mulai pH 7 hingga 10. Untuk itu, pada penelitian ini di tentukan untuk menggunakan pH 7 pada pengujian-pengujian selanjutnya.

4.4.3 Pengujian Variasi Waktu Kontak

Pengujian variasi waktu kontak yang dilakukan melibatkan RFA, AFA, dan AFA-Suweg sebagai adsorben. Kondisi pH larutan adsorbat menggunakan pH optimal yang didapatkan pada pengujian variasi pH sebelumnya, yaitu pH 7. Variasi waktu kontak untuk RFA dan AFA adalah 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 24 jam. Sedangkan untuk AFA-Suweg variasi waktu kontak adalah 1 jam, 2 jam, 3 jam, 6 jam, 12 jam, dan 24 jam. Variasi waktu kontak untuk AFA-Suweg masing-masing cenderung lebih berjangka panjang karena dimungkinkan enkapsulat yang menyelimuti adsorben akan memperlambat adsorbat menempel pada adsorben di dalamnya. Sehingga variasi waktu kontak dibuat lebih berjangka panjang untuk memberi waktu agar adsorpsi dapat terjadi optimal.

Berikut merupakan data hasil dari pengujian variasi waktu kontak :

Tabel 4.4 – Data Variasi Waktu Kontak untuk RFA dan AFA

Waktu Kontak	RFA			AFA		
	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)
15 menit	17,72	0,57	11,38	3,41	4,15	82,93
30 menit	17,69	0,58	11,55	3,28	4,18	83,60
60 menit	17,68	0,58	11,61	2,66	4,33	86,69
90 menit	17,43	0,64	12,85	2,77	4,31	86,16
120 menit	17,31	0,67	13,44	2,82	4,29	85,90
24 jam	15,94	1,01	20,29	2,54	4,36	87,28

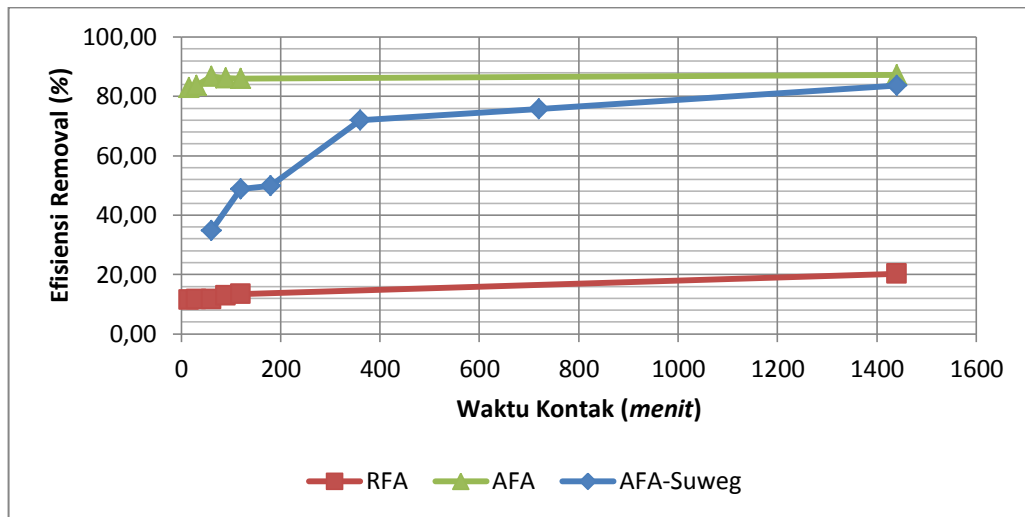
Sumber : Data Primer, 2018

Tabel 4.5 – Data Variasi Waktu Kontak untuk AFA-Suweg

Waktu Kontak	AFA-Suweg		
	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)
1 jam	13,05	1,74	34,76
2 jam	10,24	2,44	48,82
3 jam	10,02	2,50	49,91
6 jam	5,60	3,60	72,01
12 jam	4,86	3,78	75,69
24 jam	3,26	4,18	83,70

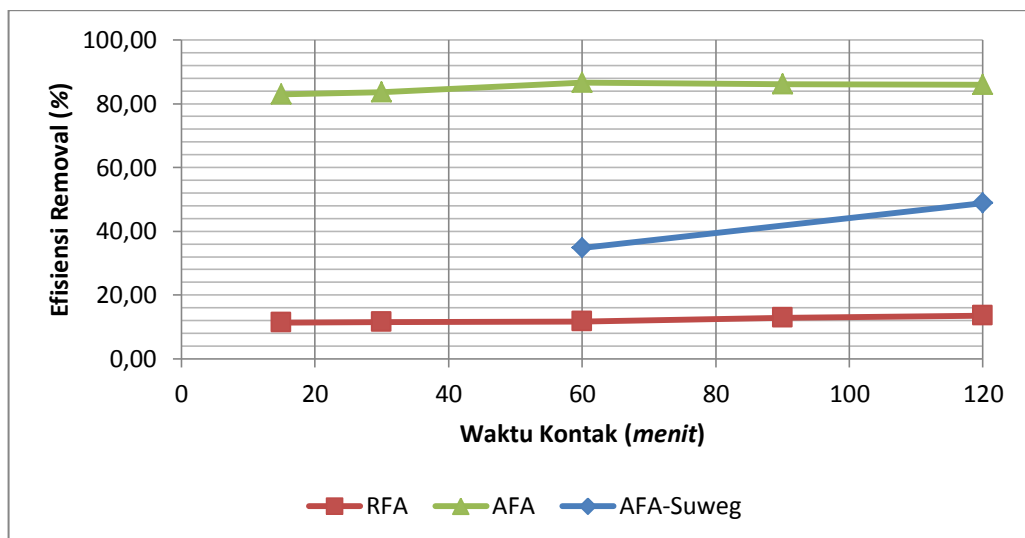
Sumber : Data Primer, 2018

Tabel data di atas menunjukkan hubungan antara kapasitas adsorpsi, efisiensi removal dalam persen dengan penambahan waktu kontak. Adapun Gambar 4.19 berikut menunjukkan plot data Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 ke dalam grafik.



Gambar 4.19 – (a) Hubungan Efisiensi Removal MB dengan Variasi Waktu Kontak (0-1440 menit)

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.19 – (b) Hubungan Efisiensi Removal MB dengan Variasi Waktu Kontak (0-120 menit)

Sumber : Data Primer, 2018

Berdasarkan data yang didapatkan untuk semua jenis adsorben, penambahan waktu kontak linear dengan bertambahnya efisiensi persen removal. Untuk adsorben RFA data yang didapatkan masih tidak terlalu baik. Meskipun

proses pengadukan dilakukan hingga 24 jam, efisiensi persen removalnya hanya dapat mencapai kisaran 20%. Sedangkan untuk adsorben AFA, nilai efisiensi terbaik yang tercatat adalah antara 86 hingga 87%. Peningkatan efisiensi persen removal terus bertambah seiring penambahan waktu kontak dari 15 menit, 30 menit, hingga 60 menit yaitu sebesar 86,69%. Sedangkan pada penambahan waktu berikutnya tidak terjadi peningkatan efisiensi persen removal. Hingga penambahan waktu pengadukan mencapai 24 jam, data mulai stabil dan hanya mencatatkan nilai 87,28%.

Pada pengujian terhadap AFA-Suweg, efisiensi persen removal paling baik yang tercatat adalah sebesar 83,70%. Nilai tersebut seharga efisiensi persen removal yang didapatkan pada data AFA. Namun untuk mencapai angka tersebut AFA-Suweg membutuhkan waktu pengadukan hingga 24 jam. Berbeda dengan data AFA yang cenderung stabil pada penambahan waktu kontak lebih dari 60 menit, data AFA-Suweg terus mengalami peningkatan yang signifikan mulai dari variasi waktu kontak 1 jam hingga 24 jam. Pada variasi waktu kontak 1 jam, data diperoleh sebesar 34,76%. Pada data 2 jam dan 3 jam didapatkan 48,82% dan 49,91%. Data terus meningkat pada data 6 jam dan 12 jam yang ada pada kisaran 80% dan berakhir lebih dari 80% pada data 24 jam.

Data AFA 1 jam hasilnya sangat berbeda dengan AFA-Suweg 1 jam yang jauh lebih kecil. Maka, diketahui bahwa AFA-Suweg mampu memiliki kemampuan adsorpsi setara AFA murni namun dengan waktu kontak yang lebih lama. Fenomena tersebut terjadi karena untuk zat terlarut (adsorbat) dapat menempel pada situs aktif adsorben, zat terlarut perlu melalui tiga jenis transport massa pada proses adsorpsinya. Zat terlarut pertama-tama akan terdifusi pada film permukaan enkapsulat, selanjutnya zat terlarut bergerak secara difusi pada tingkat pori di dalam matriks enkapsulat, hingga akhirnya teradsorp pada situs aktif adsorben. Sehingga membutuhkan waktu kontak yang lebih lama dibanding produk tanpa enkapsulasi (Hassan dkk, 2014). Fakta tersebut sebanding dengan hasil karakterisasi pada morfologi produk adsorben AFA-Suweg dengan SEM pada Gambar 4.8. Matriks glukomannan suweg jelas mengisi ruang diantara *fly*

ash yang terperangkap di antaranya. Sehingga untuk menempel pada situs aktif *fly ash*, adsorbat perlu menembus matriks glukomannan suweg yang menyelubunginya. Hal itu membuat laju kinetik adsorpsinya membutuhkan waktu yang lebih lama. Dinilai dari segi efisiensi waktu proses, produk adsorben AFA-Suweg jauh kurang efisien dibandingkan produk adsorben AFA. Karena untuk mendapatkan waktu kontak optimal, produk adsorben AFA-Suweg membutuhkan 24 kali lebih lama ketimbang produk AFA-Suweg.

Dari hasil pengujian di atas, diketahui pada data AFA 1 jam, efisiensi removalnya sudah dapat mencapai 86,69% dan penambahan waktu selanjutnya tidak terlalu efektif meningkatkan nilai tersebut. Sehingga pada pengujian selanjutnya, digunakan waktu kontak 1 jam untuk pengujian adsorben RFA dan AFA. Sedangkan waktu kontak adsorben AFA-Suweg untuk pengujian selanjutnya dipilih lama pengadukan 24 jam. Hal itu karena AFA Suweg membutuhkan waktu hingga 24 jam untuk memiliki efisiensi removal setara dengan adsorben AFA murni.

4.4.4 Pengujian Variasi Konsentrasi Adsorbat

Pengujian variasi konsentrasi adsorbat ditujukan untuk mengetahui kemampuan masing-masing adsorben AFA dan AFA-Suweg pada berbagai variasi konsentrasi *methylene blue*. Pengujian terhadap RFA juga dilakukan sekadar sebagai data pembandingan. Untuk mengetahui konsentrasi paling optimal, analisa dilakukan terhadap data kapasitas adsorpsi yang didapatkan dalam satuan *mg/g*. Kondisi pH larutan adsorbat, massa adsorben, dan waktu kontak adsorpsi sesuai dengan kondisi optimum yang sudah didapatkan pada tiga pengujian sebelumnya. Derajat keasaman pada pH 7, dosis adsorben 200 mg, serta waktu kontak 60 menit untuk RFA dan AFA, dan 24 jam untuk AFA-Suweg.

Berikut merupakan data yang didapatkan dari pengujian variasi konsentrasi adsorbat untuk RFA dan AFA, serta AFA-Suweg :

Tabel 4.6 – Data Variasi Konsentrasi Adsorbat untuk RFA dan AFA

Konsentrasi Adsorbat Awal (C) (mg/L)	RFA			AFA		
	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)
10	7,86	0,53	21,37	0,86	2,29	91,43
20	16,21	0,95	18,93	2,55	4,36	87,24
40	34,71	1,32	13,22	9,94	7,51	75,14
50	44,30	1,42	11,40	15,23	8,69	69,54
60	53,47	1,63	10,89	20,86	9,79	65,23
80	73,39	1,65	8,27	42,23	9,44	47,21
100	93,06	1,73	6,94	62,40	9,40	37,60

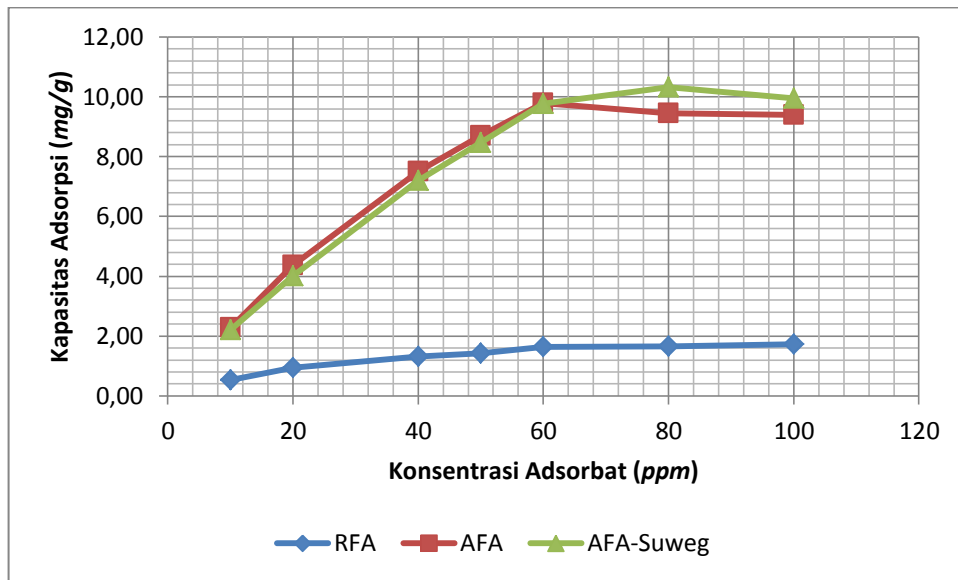
Sumber : Data Primer, 2018

Tabel 4.7 – Data Variasi Konsentrasi Adsorbat untuk AFA-Suweg

Konsentrasi Adsorbat Awal (C) (mg/L)	AFA-Suweg		
	Konsentrasi Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)
10	1,16	2,21	88,36
20	3,96	4,01	80,22
40	11,16	7,21	72,11
50	16,10	8,47	67,80
60	20,92	9,77	65,13
80	38,71	10,32	51,62
100	60,23	9,94	39,77

Sumber: Data Primer, 2018

Data di atas menunjukkan hubungan antara kapasitas adsorpsi dalam mg/g dengan penambahan konsentrasi adsorbat. Adapun Gambar 4.20 berikut menunjukkan plot data ke dalam grafik.



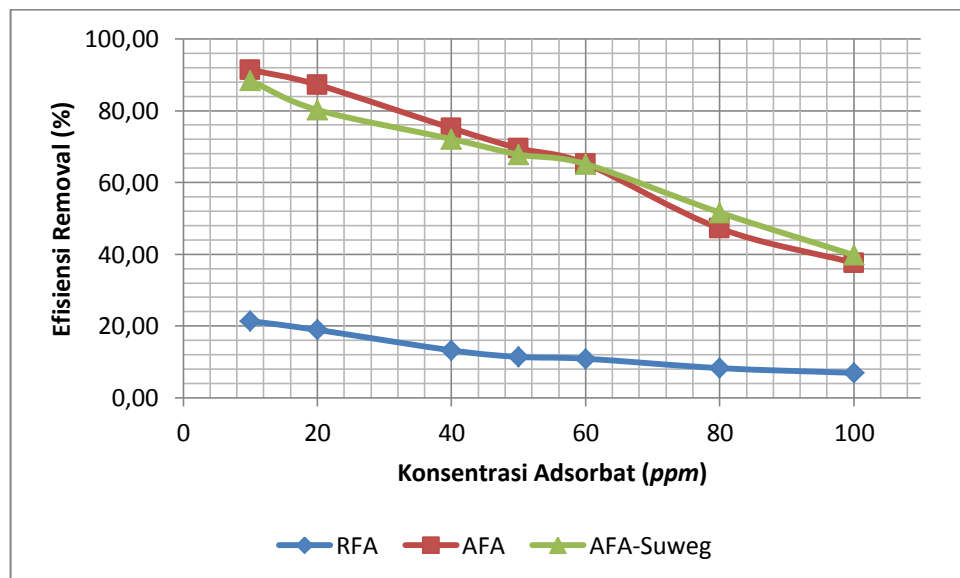
Gambar 4.20 – Hubungan Kapasitas Adsorpsi dengan Variasi Konsentrasi Adsorbat

Sumber : Data Primer, 2018

Melihat besar kapasitas adsorpsi terhadap penambahan konsentrasi adsorbat Tabel 4.6 dan 4.7 serta grafik pada Gambar 4.20, terlihat tren data dan grafik pada AFA dan AFA-Suweg cenderung mirip dan tidak berbeda terlalu signifikan untuk setiap variasi konsentrasi adsorbatnya. Data untuk kedua adsorben tersebut masih menunjukkan peningkatan kapasitas adsorpsi pada konsentrasi adsorbat 10 mg/L hingga 60 mg/L. Pada konsentrasi 10 mg/L, untuk adsorben AFA kapasitas adsorpsinya mencapai 2,29 mg/g, sedang untuk adsorben AFA-Suweg kapasitas adsorpsinya sebesar 2,21 mg/g. Selisih kapasitas adsorpsi antara AFA dan AFA-Suweg yang tipis tersebut juga terjadi untuk variasi konsentrasi adsorbat 20 mg/L, 40 mg/L, 50 mg/L, hingga 60 mg/L. Pada konsentrasi 60 mg/L, untuk AFA kapasitas adsorpsinya senilai 9,79 mg/g dan untuk AFA-Suweg kapasitas adsorpsinya sebesar 9,77 mg/g. Sedangkan tren data dan grafik pada konsentrasi 80 mg/L dan 100 mg/L untuk kedua adsorben tersebut cenderung stabil dan hanya berkutat dikisaran nilai 9,70 mg/g mendekati data hasil pada konsentrasi 60 mg/L.

Senada halnya dengan AFA dan AFA-Suweg, tren data dari RFA juga serupa. Nilai kapasitas adsorpsi pada konsentrasi 10 mg/L hingga 50 mg/L terus meningkat dan mulai stabil pada variasi konsentrasi 60 mg/L, 80 mg/L, dan 100 mg/L. Data kapasitas adsorpsi untuk ketiga jenis adsorben tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan bahwasanya semakin besar konsentrasi larutan, semakin banyak jumlah zat terlarut yang dapat diadsorpsi hingga tercapai kesetimbangan tertentu (Handayani dan Sulistyono, 2009).

Gambar 4.21 berikut menggambarkan hubungan peningkatan konsentrasi awal adsorbat dan persen efisiensi removalnya :



Gambar 4.21 – Hubungan Efisiensi Removal dengan Variasi Konsentrasi Adsorbat

Sumber : Data Primer, 2018

Melihat kapasitas adsorpsi dan efisiensi removal untuk data ketiga jenis produk adsorben tersebut terjadi fenomena penurunan persen removal efisiensi sedang kapasitas adsorpsinya meningkat seiring ditambahkan konsentrasi awal adsorbat. Walaupun terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi, yang artinya semakin banyak *methylene blue* yang diadsorpsi, namun dengan keadaan konsentrasi awal yang juga semakin pekat maka jumlah adsorbat yang teradsorpsi semakin tidak berarti dibandingkan adsorbat yang masih tertinggal di dalam larutan. Sehingga

seperti yang tertera pada grafik Gambar 4.21, nilai persen efisiensi removalnya akan semakin menurun karena peningkatan kapasitas adsorpsi tidak sebanding dengan bertambahnya kepekatan konsentrasi awal adsorbat.

4.5 Isoterm Adsorpsi

Analisa dan perhitungan isoterm adsorpsi pada ketiga jenis adsorben, RFA, AFA dan AFA-Suweg dilakukan menggunakan persamaan Langmuir dan Freundlich yang umum digunakan dalam analisa isoterm adsorpsi. Analisa dan penghitungan terhadap metode isoterm adsorpsi tersebut ditujukan untuk mengetahui kecenderungan mekanisme adsorpsi yang terjadi pada RFA, AFA dan AFA-Suweg, apakah bekerja *mono-layer* atau *multi-layer*. Nilai R^2 kurva model Langmuir dan Freundlich yang didapatkan dari pengeplotan data ke dalam grafiklah yang nantinya dibandingkan.

4.5.1 Analisis Isoterm Langmuir

Pengujian isoterm adsorpsi secara Langmuir dilakukan dengan megeplotkan data $1/Q_e$ dibandingkan dengan $1/C_e$ untuk mendapatkan nilai R^2 dari kurva beserta persamaan linear $y = bx + a$ dengan a sebagai titik intersep dan b sebagai *slope* kurva. Apabila dijabarkan dalam persamaan linear Langmuir akan berbentuk seperti pada Persamaan (1).

Dalam pengeplotan data ke grafik model Langmuir, data konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (C_e) dan data kapasitas adsorpsi (Q_e atau X/m) untuk masing-masing variasi konsentrasi pada pengujian variasi konsentrasi diolah menjadi $1/C_e$ dan $1/Q_e$. Selanjutnya kedua data olahan tersebut diplotkan ke dalam grafik $1/C_e$ dibanding $1/Q_e$, kemudian dicari persamaan regresi linear dan nilai R^2 dari kurvanya. Dalam pengeplotan data menjadi grafik serta mencari persamaan regresi linear dan nilai R^2 digunakan aplikasi *Microsoft Excel* yang aplikatif.

Adapun penghitungan $1/C_e$ dan $1/Q_e$ dari data dilampirkan pada Tabel 4.8, Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 berikut :

Tabel 4.8 – Data $1/C_e$ dan $1/Q_e$ untuk RFA

Konsentrasi Adsorbat <i>(mg/L)</i>	Konsentrasi Akhir Adsorbat (Ce) <i>(mg/L)</i>	Kapasitas Adsorpsi (Qe) <i>(mg/g)</i>	$1/C_e$	$1/Q_e$
10	7,863	0,53	0,127	1,872
20	16,214	0,95	0,062	1,057
40	34,710	1,32	0,029	0,756
50	44,300	1,42	0,023	0,702
60	53,465	1,63	0,019	0,612
80	73,385	1,65	0,014	0,605
100	93,061	1,73	0,011	0,576

Sumber : Data Primer, 2018

Tabel 4.9 – Data $1/C_e$ dan $1/Q_e$ untuk AFA

Konsentrasi Adsorbat <i>(mg/L)</i>	Konsentrasi Akhir Adsorbat (Ce) <i>(mg/L)</i>	Kapasitas Adsorpsi (Qe) <i>(mg/g)</i>	$1/C_e$	$1/Q_e$
10	0,857	2,29	1,167	0,437
20	2,553	4,36	0,392	0,229
40	9,944	7,51	0,101	0,133
50	15,231	8,69	0,066	0,115
60	20,860	9,79	0,048	0,102
80	42,230	9,44	0,024	0,106
100	62,403	9,40	0,016	0,106

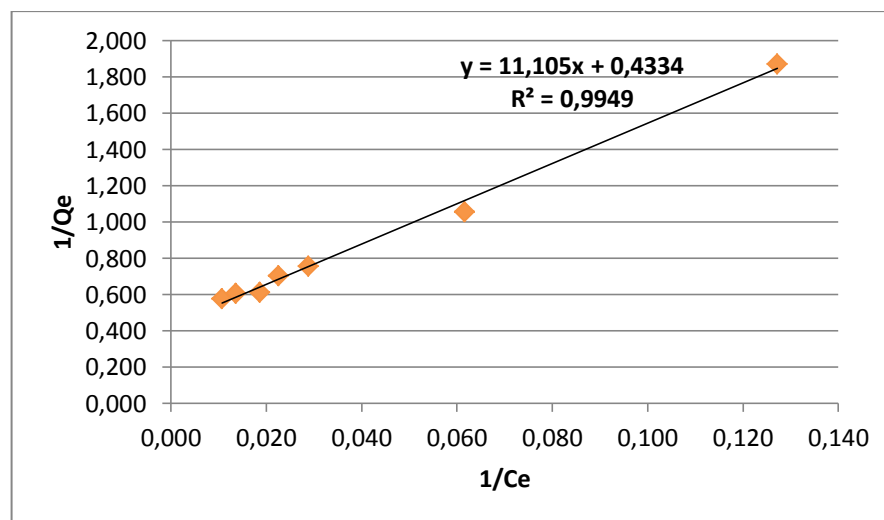
Sumber : Data Primer, 2018

Tabel 4.10 – Data $1/C_e$ dan $1/Q_e$ untuk AFA-Suweg

Konsentrasi Adsorbat (mg/L)	Konsentrasi Akhir Adsorbat (C _e) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Q _e) (mg/g)	1/C _e	1/Q _e
10	1,164	2,21	0,859	0,453
20	3,957	4,01	0,253	0,249
40	11,156	7,21	0,090	0,139
50	16,100	8,47	0,062	0,118
60	20,923	9,77	0,048	0,102
80	38,706	10,32	0,026	0,097
100	60,231	9,94	0,017	0,101

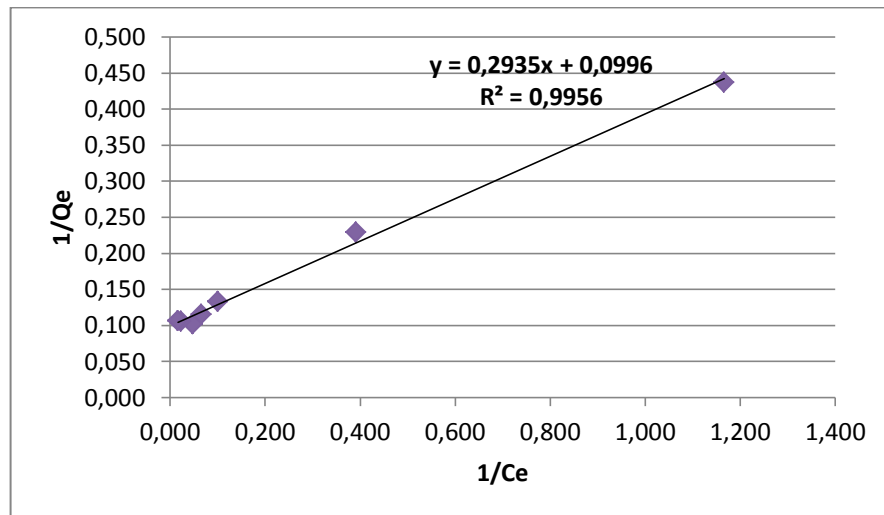
Sumber : Data Primer, 2018

Berikut merupakan plot data $1/C_e$ banding $1/Q_e$ ke dalam grafik :



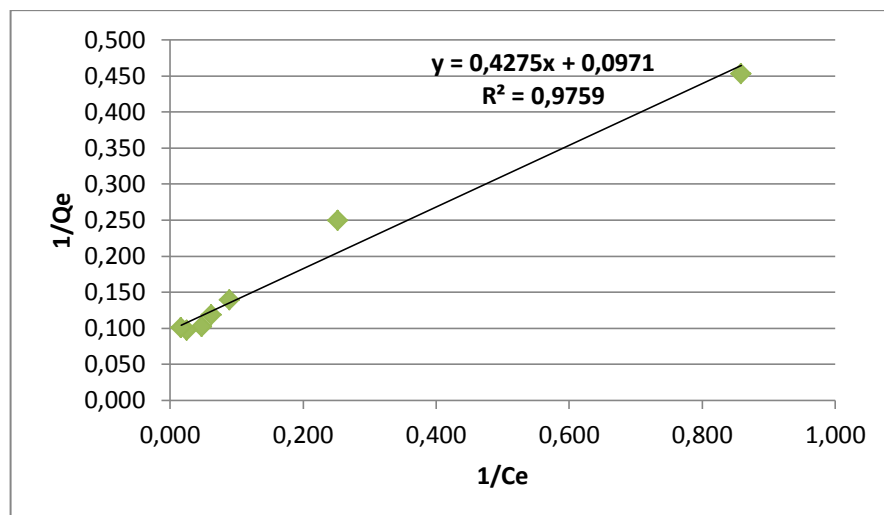
Gambar 4.22 – Kurva Persamaan Langmuir untuk RFA

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.23 – Kurva Persamaan Langmuir untuk AFA

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.24 – Kurva Persamaan Langmuir untuk AFA-Suweg

Sumber : Data Primer, 2018

Nilai R^2 untuk masing-masing jenis adsorben RFA, AFA, dan AFA-Suweg berturut-turut adalah senilai 0,9949; 0,9956 dan 0,9759. Kemudian dari persamaan regresi linear dari masing-masing kurva dan melihat persamaan (1) dalam Cho dkk (2015), maka dapat ditentukan koefisien Langmuir (K_L) dan juga nilai kapasitas maksimum (Q_m) dari ketiga adsorben tersebut.

Nilai K_L didapatkan dari nilai slope atau **b**. Adapun dari Persamaan (1) didapatkan :

$$b = \frac{1}{K_L \cdot Q_m} \dots \dots \dots (4)$$

Maka :

$$K_L = \frac{1}{b \cdot Q_m} \dots \dots \dots (5)$$

Sedangkan nilai Q_m didapatkan dari **a** atau intersep kurva. Dari Persamaan (1), maka:

$$a = \frac{1}{Q_m} \dots \dots \dots (6)$$

Maka

$$Q_m = \frac{1}{a} \dots \dots \dots (7)$$

Tabel 4.11 berikut merangkum nilai R^2 dari kurva serta nilai K_L dan Q_m yang didapatkan dari Persamaan (5) dan (7) :

Tabel 4.11 – Nilai Q_m , K_L dan R^2 Model Langmuir

Jenis Adsorben	Qm	K_L	R^2
	(mg/g)		
RFA	2,307	0,039	0,9949
AFA	10,040	0,339	0,9956
AFA-Suweg	10,299	0,227	0,9759

Sumber : Data Primer, 2018

4.5.2 Analisis Isoterm Freundlich

Pengujian isoterm adsorpsi secara Freundlich dilakukan dengan megeplotkan data Log Q_e dibandingkan dengan Log C_e untuk mendapatkan nilai

R^2 dari kurva beserta persamaan linear $y = bx + a$ dengan a sebagai titik intersep dan b sebagai *slope* kurva. Persamaan linear Freundlich yang digunakan sesuai dengan Persamaan (3).

Dalam pengeplotannya, terlebih dahulu data konsentrasi kesetimbangan (C_e) dan data kapasitas adsorpsi (Q_e atau X/m) untuk masing-masing variasi konsentrasi diolah menjadi nilai $\text{Log } C_e$ dan $\text{Log } Q_e$. Selanjutnya kedua data olahan tersebut diplotkan ke dalam grafik $\text{Log } C_e$ dibanding $\text{Log } Q_e$, kemudian dicari persamaan regresi linear dan nilai R^2 dari kurvanya. Dalam pengeplotan ini juga digunakan aplikasi *Microsoft Excel* yang aplikatif untuk mendapatkan nilai R^2 dan persamaan linearnya.

Adapun penghitungan $\text{Log } C_e$ dan $\text{Log } Q_e$ dari data dilampirkan pada Tabel 4.12, Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 berikut :

Tabel 4.12 – Data Perhitungan Harga $\text{Log } Q_e$ dan $\text{Log } C_e$ untuk RFA

Konsentrasi Adsorbat (C) (mg/L)	Konsentrasi Adsorbat Akhir (C_e) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Q_e) (mg/g)	Log Q_e	Log C_e
10	7,86	0,53	-0,2723	0,8956
20	16,21	0,95	-0,0239	1,2099
40	34,71	1,32	0,1214	1,5405
50	44,30	1,42	0,1538	1,6464
60	53,47	1,63	0,2132	1,7281
80	73,39	1,65	0,2184	1,8656
100	93,06	1,73	0,2392	1,9688

Sumber : Data Primer, 2018

Tabel 4.13 – Data Perhitungan Harga Log Qe dan Log Ce untuk AFA

Konsentrasi Adsorbat (C) (mg/L)	Konsentrasi Adsorbat Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Log Qe	Log Ce
10	0,86	2,29	0,3590	-0,0670
20	2,55	4,36	0,6397	0,4070
40	9,94	7,51	0,8759	0,9976
50	15,23	8,69	0,9391	1,1827
60	20,86	9,79	0,9906	1,3193
80	42,23	9,44	0,9751	1,6256
100	62,40	9,40	0,9731	1,7952

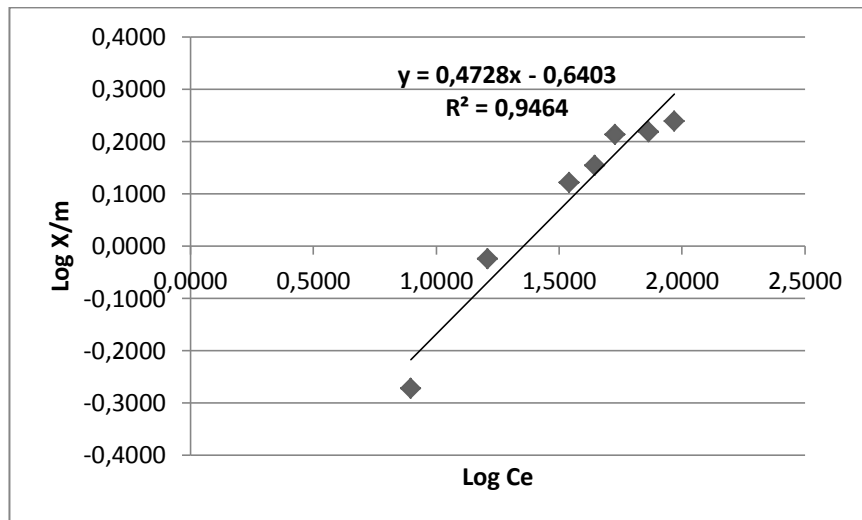
Sumber : Data Primer, 2018

Tabel 4.14 – Data Perhitungan Harga Log Qe dan Log Ce untuk AFA-Suweg

Konsentrasi Adsorbat (C) (mg/L)	Konsentrasi Adsorbat Akhir (Ce) (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Log Qe	Log Ce
10	1,16	2,21	0,3442	0,0659
20	3,96	4,01	0,6032	0,5974
40	11,16	7,21	0,8580	1,0475
50	16,10	8,47	0,9281	1,2068
60	20,92	9,77	0,9899	1,3206
80	38,71	10,32	1,0138	1,5878
100	60,23	9,94	0,9975	1,7798

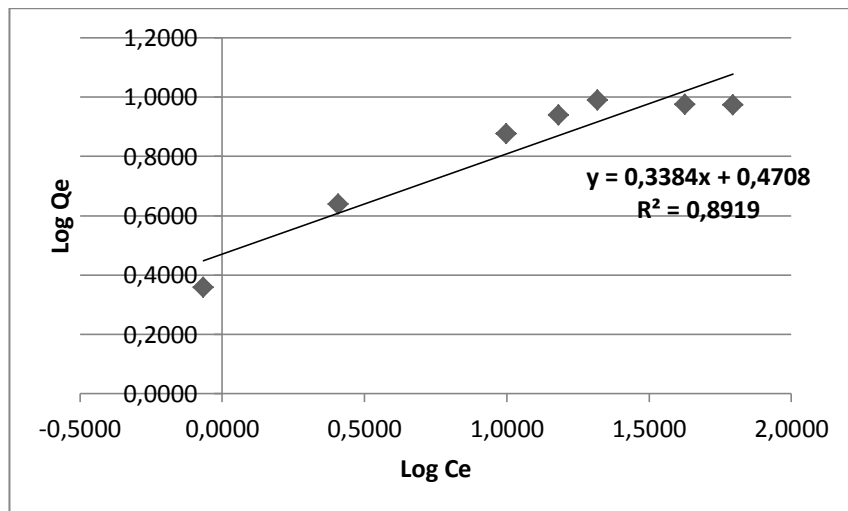
Sumber : Data Primer, 2018

Berikut merupakan plot data Log Ce banding Log Qe ke dalam grafik :



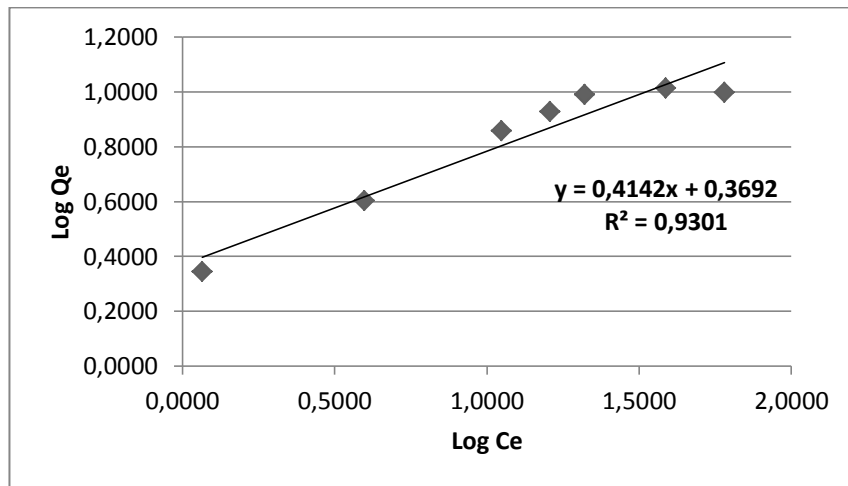
Gambar 4.25 – Kurva Persamaan Isoterm Freundlich untuk RFA

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.26 – Kurva Persamaan Isoterm Freundlich untuk AFA

Sumber : Data Primer, 2018



Gambar 4.27 – Kurva Persamaan Isoterm Freundlich untuk AFA-Suweg

Sumber : Data Primer, 2018

Nilai R^2 untuk masing-masing jenis adsorben RFA, AFA, dan AFA-Suweg berturut-turut adalah senilai 0,9464; 0,8919 dan 0,9301. Kemudian dari persamaan regresi linear dari masing-masing kurva dan melihat persamaan (3) maka dapat ditentukan koefisien Freundlich (K_F) dan juga nilai koefisien intensitas (n) dari ketiga adsorben tersebut.

Nilai K_F didapatkan dari nilai intersep kurva atau **a**. Adapun dari persamaan (3) :

$$a = \text{Log } K_F \dots \dots \dots (8)$$

Maka :

$$K_F = 10^a \dots \dots \dots (9)$$

Sedangkan nilai n didapatkan dari **b** atau *slope*. Dalam persamaan (6) :

$$b = \frac{1}{n} \dots \dots \dots (10)$$

Maka

$$n = \frac{1}{b} \dots \dots \dots (11)$$

Tabel 4.15 berikut merangkum nilai R^2 dari kurva serta nilai K_F dan n yang didapatkan dari Persamaan (9) dan (11) :

Tabel 4.15 – Nilai Q_m , K_L dan R^2 Model Langmuir

Jenis Adsorben	K_F	n	R^2
RFA	4,368	2,169	0,9464
AFA	2,956	9,901	0,8919
AFA-Suweg	2,340	11,086	0,9301

Sumber : Data Primer, 2018

4.5.3 Perbandingan Isoterm Langmuir dan Freundlich

Tabel 4.16 dibawah ini merangkum Tabel 4.11 yang menunjukkan nilai Q_m , K_L , dan R^2 dari kurva Langmuir serta Tabel 4.15 yang menunjukkan nilai n , K_F , dan R^2 dari kurva Freundlich.

Tabel 4.16 – Perbandingan Isoterm Langmuir dan Freundlich

Jenis Adsorben	Model Langmuir			Model Freundlich		
	Q_m (mg/g)	K_L (L/g)	R^2	K_F	n	R^2
RFA	2,307	0,039	0,9949	4,368	2,169	0,9464
AFA	10,040	0,339	0,9956	2,956	9,901	0,8919
AFA-Suweg	10,299	0,227	0,9759	2,340	11,086	0,9301

Sumber : Data Primer, 2018

Melihat dari Tabel 4.16, nilai R^2 dari pendekatan kurva linear metode Langmuir menunjukkan harga yang lebih mendekati nilai 1 dibandingkan R^2 pendekatan secara Freundlich. Dengan demikian proses adsorpsi adsorben RFA, AFA dan AFA-Suweg mengikuti model Isoterm Langmuir. Sehingga proses adsorpsi ketiga jenis adsorben tersebut diasumsikan berlangsung *mono-layer* dan

adsorbat menempel homogen pada seluruh permukaan adsorben (Nasuha dkk, 2011).

Berdasarkan perhitungan kapasitas adsorpsi maksimum secara Langmuir didapatkan nilai kapasitas adsorpsi untuk produk adsorben RFA, AFA dan AFA-Suweg berturut-turut sebesar 2,3 mg/g; 10,0 mg/g dan 10,3 mg/g. Harga kapasitas adsorpsi maksimum untuk produk AFA dan AFA-Suweg dapat dianggap senilai. Dengan demikian diketahui prosedur enkapsulasi dengan glukomannan suweg terhadap material *fly ash* tidak banyak meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Melihat lama waktu kontak adsorpsi untuk produk AFA-Suweg, dengan harga kapasitas adsorpsi yang setara produk AFA tanpa enkapsulasi, ketidak efisienan waktu kontak tidak sebanding dengan selisih peningkatan kapasitas adsorpsi yang dicapai karena prosedur enkapsulasi hanya dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi sebesar 0,3 mg/g.

Namun demikian, dibalik kekurang keefisienan produk dalam segi waktu kontak, prosedur enkapsulasi *fly ash* yang dilakukan memiliki salah satu manfaat lain yaitu terciptanya bentuk material adsorben yang lebih solid dan berukuran kasat mata. Sehingga *fly ash* yang semula berbentuk serbuk diharapkan menjadi jauh lebih mudah untuk digunakan sebagai adsorben dan digunakan di lapangan serta pada unit instalasi. Bentuk baru yang dimaksud akan memudahkan proses pemisahan material adsorben setelah digunakan dalam proses adsorpsi secara *batch*.