

**MODIFIKASI ENKAPSULASI FLY ASH BATUBARA
TERAKTIVASI DENGAN GLUKOMANNAN SUWEG
(AMORPHOPHALLUS CAMPUNALATUS) SEBAGAI ADSORBEN
METHYLENE BLUE PADA AIR**

**ENCAPSULATION MODIFICATION OF ACTIVATED COAL FLY
ASH WITH AMORPHOPHALLUS CAMPUNALATUS'S
GLUCOMANNAN AS METHYLENE BLUE ADSORBENT IN
AQUEOUS SOLUTION**

Gading Yudha Baskara

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia

Jalan Kaliurang Km 14,5 D.I. Yogyakarta-55584

e-mail : gadingpower@gmail.com

ABSTRAK

Pencemaran zat warna di lingkungan air oleh efluen limbah industri marak terjadi, khususnya di negara-negara berkembang. Fly ash batubara yang selama ini dianggap sebagai limbah, nyatanya memiliki potensi sebagai adsorben, namun perlu inovasi penerapan agar lebih mudah untuk digunakan di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan fly ash (RFA), fly ash yang diaktivasi secara alkali hidrotermal (AFA), dan AFA yang dienkapsulasi menggunakan glukomannan umbi suweg (Amorphophallus campunalatus) (AFA-Suweg) sebagai adsorben zat warna methylene blue. Proses adsorpsi dilakukan secara batch dengan variasi dosis adsorben, pH larutan adsorbat, waktu kontak dan konsentrasi awal adsorbat. Hasil data adsorpsi, citra SEM dan spektra FTIR menunjukkan keberhasilan aktivasi. Hasil penelitian menunjukkan proses adsorpsi ketiga jenis adsorben mengikuti model isotherm Langmuir. Kapasitas adsorpsi berdasarkan model Langmuir untuk RFA, AFA dan AFA-Suweg berturut-turut senilai 2,3 mg/g; 10,0 mg/g dan 10,3 mg/g.

Kata kunci : Abu Terbang, Adsorpsi, Amorphophallus campunalatus, Biru Metilen, Enkapsulasi

ABSTRACT

Dye contamination in water environments has recently occurred, especially in developing countries. Coal fly ash which has been considered as waste, in fact it has the potential to be used as an adsorbent, but needs innovative applications to be more easily to applied. This study aims to determine the ability of the raw fly ash (RFA), fly ash with alkaline hydrothermal activation (AFA), and AFA which encapsulate with elephant foot yam (Amorphophallus campunalatus) glucomannan (AFA-Suweg) as methylene blue dye adsorbent. The adsorption process was run on batch method with variation of adsorbent dose, acidity of adsorbate solution, contact time and initial concentration of adsorbate. The adsorption data result, SEM image and FTIR spectra indicate activation successfully effect. The results showed that the adsorption process of these three adsorbents fit to Langmuir isotherm model. Adsorption capacity based on Langmuir model for RFA, AFA and AFA-Suweg was 2.3 mg/g; 10.0 mg/g and 10.3 mg/g.

Key words : Adsorption, Amorphophallus campunalatus, Encapsulation, Fly Ash, Methylene Blue

1. PENDAHULUAN

Air limbah yang mengandung zat warna

menjadi ancaman yang serius bagi lingkungan karena sifat toksisitasnya yang tinggi dan potensi akumulasinya di lingkungan.

Keberadaan proses penghilangan zat warna dari limbah industri sebelum dibuang ke lingkungan sangatlah penting (Samiey dan Ashoori, 2012). Pencemaran air limbah yang terkontaminasi ke aliran badan air adalah tantangan ekologi yang sangat vital. Sebab akan sangat berpengaruh bagi kehidupan manusia dan flora-fauna di sekitar badan air tersebut terlebih apabila mengkontaminasi air tanah (Sareen dkk, 2014).

Melihat aspek konsumsi energi di bidang perindustrian, sebagai dampak perkembangan industri, konsumsi energi batubara, gas, dan listrik mengalami peningkatan rata-rata per tahun berturut-turut sebesar 18,01 persen; 12,24 persen dan 16,10 persen selama periode 1990 sampai dengan 2008 (Elinur dkk, 2010). Menurut perhitungan Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KLH), dari tiap ton batubara yang dibakar menghasilkan abu terbang batubara (*fly ash*) sekitar 15%-17% (Safitri dan Djumari, 2009). Dengan demikian akan sangat banyak abu terbang batubara yang

diproduksi sebagai produk samping, terlebih melihat konsumsi batubara yang meningkat dari tahun ke tahun. Sedangkan sampai saat ini limbah hasil pabrik ini belum dimanfaatkan secara optimal dikarenakan belum adanya solusi pemanfaatan yang tepat (Safitri dan Djumari, 2009). Harga jual dari material *fly ash* ini sangatlah murah. Oleh karena itu penelitian tentang pemanfaatan material *fly ash* yang tepat terus berkembang (Safitri dan Djumari, 2009).

Dewasa ini, ilmu pengetahuan modern sedang gencar mencari inovasi pada bidang pengolahan air limbah khususnya untuk meremoval zat warna. Sebagai bahan adsorben, umumnya digunakan karbon aktif. Namun dari segi harga, karbon aktif termasuk mahal (Fernando dkk, 2009).

Belakangan ini pemanfaatan biomassa sebagai material adsorben juga sedang gencar dikembangkan. Adsorben berbasis biomassa memiliki keekonomisan tinggi serta kemampuan adsorpsi yang tidak kalah dengan adsorben konvensional yang sudah

ada (O'Connell dkk, 2008). Pembuatan adsorben alami yang sudah berjalan, yaitu dengan memanfaatkan singkong, kentang dan jagung sebagai bahan bakunya dinilai akan mengalami hambatan perkembangannya di Indonesia pada khususnya. Sebab ketiga macam bahan baku tersebut merupakan tanaman pangan pokok dan alternatif masyarakat sehingga dikhawatirkan akan terjadi benturan kebutuhan. Di sisi lain, ada tanaman yang mengandung pati yang tinggi yang bukan merupakan tanaman pangan alternatif yang keberadaannya melimpah di Indonesia. Tanaman tersebut adalah umbi suweg. Suweg sebagai tanaman yang memiliki kandungan polisakarida berpotensi dapat dijadikan bahan baku adsorben alami

2. METODE PENELITIAN

2.1 Preparasi dan Aktivasi *Fly Ash*

Proses preparasi dan aktivasi *Raw Fly Ash* (RFA) sebagai material mentah produk adsorben dilakukan dengan metode alkali hidrotermal, dimana prosedur aktivasi

penyerap limbah karena kandungan glukosa dan mannosanya memiliki ikatan hidrosil yang kuat (Lestari dkk, 2016).

Sebagai jalan mengoptimalkan fungsi *fly ash* sebagai adsorben perlu dilakukan inovasi-inovasi guna mendapatkan produk adsorben yang efektif dan berbiaya rendah. Dengan demikian produk adsorben hasil enkapsulasi *fly ash* dengan pati umbi suweg perlu untuk dikaji, dengan harapan dapat tercipta alternatif adsorben baru yang efektif menyerap dan diterapkan namun tetap berbiaya rendah. Dengan begitu, bidang pengolahan air limbah akan semakin berkembang dan terpecahkannya isu lingkungan akibat *fly ash* yang saat ini menjadi momok.

mengadopsi dan mengkombinasikan dari prosedur yang digunakan oleh Sholeh dkk (2012), Jumaeri dkk (2007), dan Astuti (2012). *Raw Fly Ash* (RFA) sebagai material mentah produk adsorben di ayak dengan *shieve shaker* No.140. Selanjutnya RFA

direndam dalam larutan NaOH 3M dengan perbandingan 6 mL larutan NaOH untuk setiap gram RFA. Perendaman dilakukan selama 24 jam. Selanjutnya campuran direfluks secara tertutup selama 6 jam pada suhu 60-90°C. Selanjutnya *fly ash* dicuci dengan aquades untuk menghilangkan kadar NaOH-nya hingga pH statis dan kemudian dikeringkan di dalam oven selama 4 jam dengan suhu 120°. *Fly ash* yang sudah teraktivasi (AFA) selanjutnya diayak dengan shieve shaker No.200 untuk mendapatkan ukuran yang sama.

2.2 Enkapsulasi

Produk AFA yang sudah didapatkan dari prosedur aktivasi selanjutnya dienkapsulasi glukomannan suweg dengan mengadopsi prosedur yang dilakukan oleh Lestari dkk (2016). Tiap 2,5 gr AFA dicampur dengan 1 gr glukomannan suweg dan 40 mL aquades. Campuran diaduk 30 menit dengan pemanasan 90°C untuk membentuk gelatin. Selanjutnya campuran didinginkan pada suhu 5°C selama 3 hari untuk membentuk gel

pati. Gel yang terbentuk dipotong-potong dan dipilin menjadi manik-manik berdiameter 1-2 mm dan dibekukan kembali selama 12 jam. Produk manik-manik kemudian direndam dalam etanol selama 2 jam, dilanjutkan pengeringan produk selama 3 jam pada suhu 50°C. Produk AFA-Suweg sudah siap digunakan atau dapat disimpan pada tempat tertutup.

2.3 Karakterisasi Adsorben

Digunakan *Scanning Electron Microscopy* (PHENOM WORLD PW-100-014 X-Pro) untuk mengetahui morfologi penampang adsorben dan *FTIR Analyzer* (NICOLET AVATAR 360 IR) untuk mengidentifikasi kandungan gugus fungsi dalam produk adsorben.

2.4 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan secara batch dengan volume adsorbat *methylene blue* 50 mL pada konsentrasi awal 20 ppm dengan kecepatan pengadukkan 250 rpm dalam suhu ruangan. Pengujian pertama dilakukan untuk

mengetahui dosis optimum adsorben, dengan variasi massa 100 mg, 200 mg, 300 mg, 400 mg dan 500 mg, beserta blangko tanpa penambahan adsorben, dan dijalankan selama 120 menit pada pH 7,0. Dosis optimum yang didapatkan digunakan untuk tiga pengujian selanjutnya.

Pengujian terhadap pengaruh pH dijalankan pada varian pH larutan adsorbat 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10, selama 120 menit dengan pengontrolan pH pada 10 menit dan 30 menit pertama. Tingkat pH dengan hasil paling optimal digunakan untuk dua pengujian selanjutnya. Berikutnya, pada variasi pengaruh waktu kontak digunakan varian waktu kontak 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 24 jam untuk

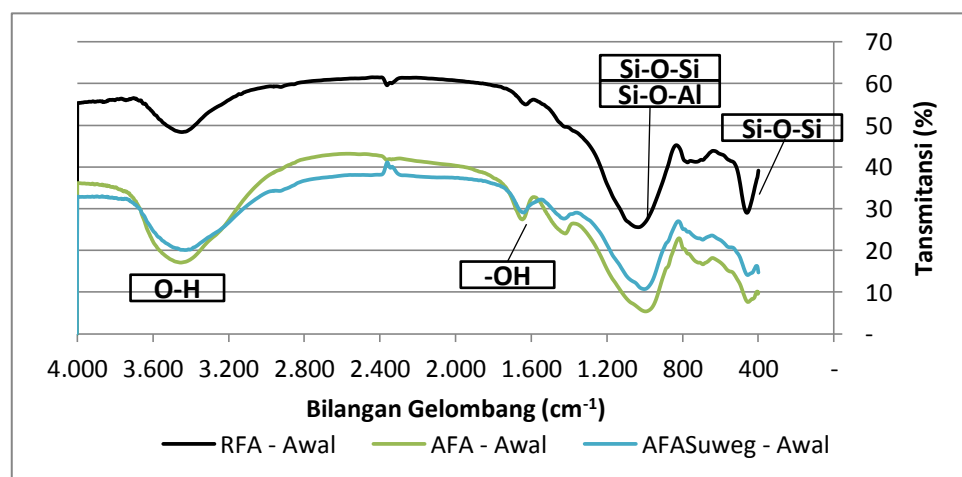
produk RFA dan AFA, serta 1 jam, 2 jam, 3 jam, 6 jam, 12 jam, dan 24 jam untuk produk AFA-Suweg. Waktu kontak dengan lama proses paling efisien dan optimal digunakan pada pengujian terakhir, variasi pengaruh konsentrasi awal adsorbat.

Selanjutnya, pengujian terhadap pengaruh konsentrasi awal adsorbat digunakan varian konsentrasi *methylene blue* 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, 80 ppm, dan 100 ppm. Larutan hasil proses adsorpsi diuji serapannya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 650 nm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Adsorben

a. Analisis FTIR



Gambar 3.1 – Spektra FTIR Produk Adsorben

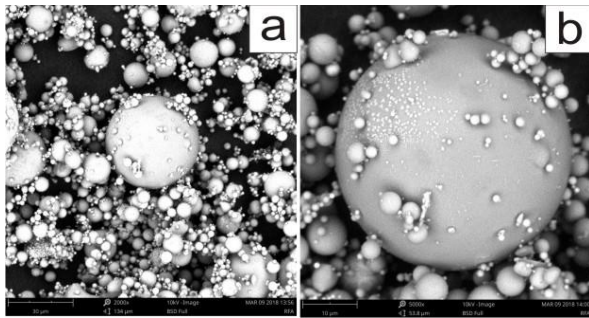
Diamati sekilas, pola spektra infra merah dari ketiga jenis adsorben di atas menunjukkan jumlah dan letak puncak grafik yang relatif sama. Pada spektra AFA dan AFASuweg hanya menunjukkan satu puncak baru yang terbentuk, yaitu pada kisaran bilangan gelombang 1400 cm^{-1} . Namun selebihnya pola grafik 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 garis besar terdapat beberapa puncak serapan. 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). Dengan tren yang sama, dibandingkan dengan RFA, transmitansi AFA menurun setelah diaktivasi yang artinya intensitas dari gugus-gugus fungsi yang ada meningkat jumlahnya. 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).

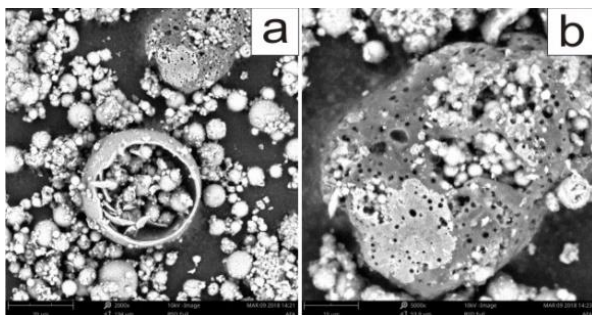
a. Analisis SEM

Gambar 3.2 menunjukkan permukaan RFA yang cenderung halus tidak berpori dan memiliki bentuk bola sempurna. Bahkan pada perbesaran 5000 kali pori sama sekali tidak terlihat. Sedang setelah proses aktivasi,



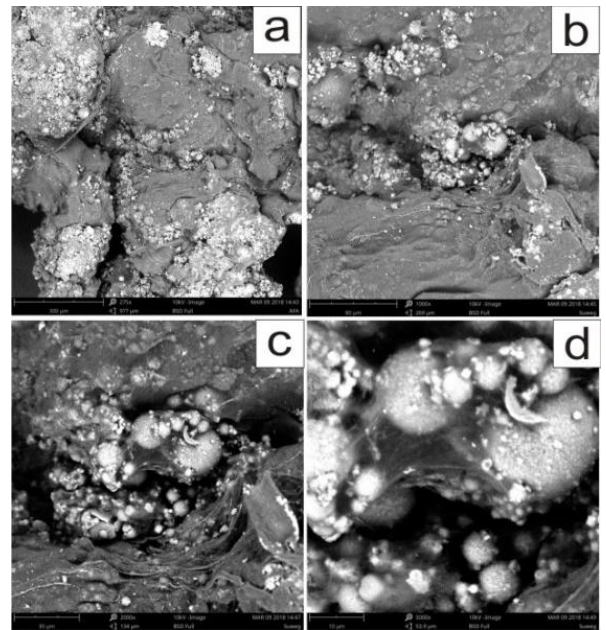
Gambar 3.2 – Citra SEM RFA

permukaan fly ash sudah tidak lagi halus tertutup namun sangat berpori serta juga beberapa partikel bentuknya sudah tidak bola



Gambar 3.3 – Citra SEM AFA

sempurna dan hancur. Dengan berubahnya morfologi tersebut produk adsorben AFA akan dapat lebih banyak mengadsorpsi adsorbat ketimbang produk RFA ketika digunakan dalam proses adsorpsi. Karena semakin adsorben memiliki permukaan yang



Gambar 3.4 – Citra SEM AFA-Suweg luas, maka semakin banyak pula zat yang dapat teradsorpsi (Syauqiah dkk, 2011). Sedang Gambar 3.4 menunjukkan citra SEM setelah AFA dienkapsulasi. AFA terperangkap dalam matriks glukomannan suweg, yang dimungkinkan menghambat kinetika adsorpsi.

3.2 Pengaruh Dosis Adsorben

Melihat data Tabel 3.1 dan Gambar 3.5, efisiensi removal AFA jauh lebih baik ketimbang data untuk RFA. Hal ini menjadi bukti lain bahwa prosedur aktivasi yang dilakukan berhasil meningkatkan kemampuan adsorpsi dari produk. Secara umum, data menunjukkan peningkatan

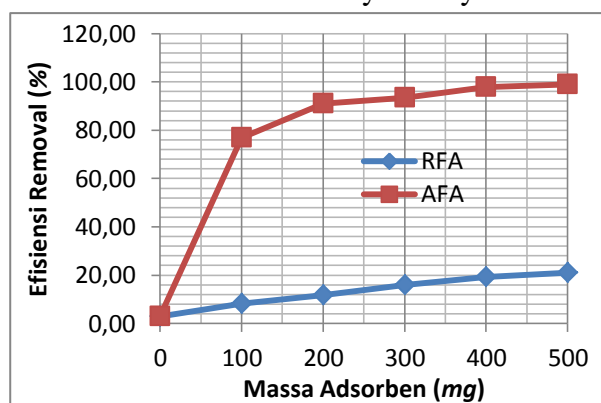
efisiensi removal seiring ditambahnya dosis adsorben. Sesuai yang dinyatakan oleh Hidayati dkk (2016), bahwa semakin banyak situs aktif yang tersedia, akan membuat

kontak antar adsorben dan adsorbat semakin besar. Sehingga terjadi peningkatan persentase adsorpsi.

Tabel 3.1 – Data Variasi Dosis Adsorben

Dosis (mg)	RFA			AFA		
	Ce (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)	Ce (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (Qe) (mg/g)	Efisiensi Removal (%)
(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

Dengan melihat data AFA, kapasitas adsorpsi terbesar tercatat pada dosis 100 mg, namun efisiensi removalnya hanya senilai



Gambar 3.5 – Pengaruh Variasi Massa Terhadap Efisiensi Removal

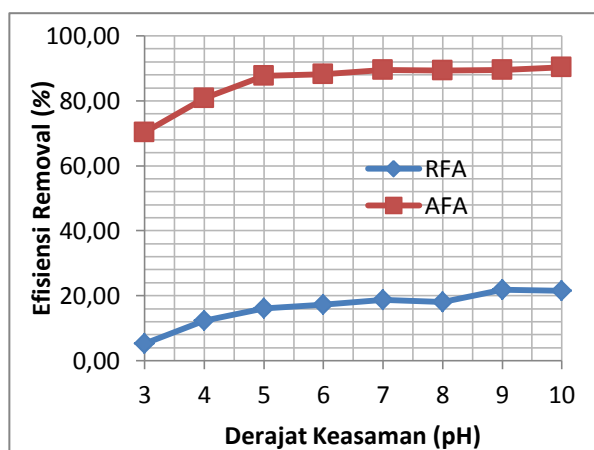
76%. Sedang untuk menentukan dosis optimal juga dicari proses dengan efisiensi besar agar proses juga bernilai efisien. Dengan demikian disimpulkan dosis 200 mg menjadi dosis paling optimum karena sudah memiliki

efisiensi lebih dari 90% namun masih memiliki nilai kapasitas adsorpsi yang cukup besar yaitu 4,55 mg/g. Sehingga pada tiga pengujian selanjutnya digunakan dosis 200 mg sebagai massa adsorbennya.

3.3 Pengaruh pH Larutan

Melihat Gambar 3.6, tren data cenderung mirip untuk RFA maupun AFA. Khususnya memperhatikan data AFA, pada pH rendah proses adsorpsi berjalan lebih buruk. Pada pH 3 dan 4 hanya mencatatkan efisiensi sebesar 70-80% saja. Ketika pH dinaikkan, linear menaikkan efisiensi removal dari proses adsorpsi yang terjadi. Peningkatan

efisiensi terjadi hingga penambahan pH mencapai nilai 7,0 hingga mencapai nilai 88,14%. Sedangkan penambahan tingkat pH selanjutnya hampir tidak merubah atau meningkatkan efisiensi removal hanya cenderung konstan pada 89-90%.



Gambar 3.6 – Pengaruh Variasi pH Terhadap Efisiensi Removal

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

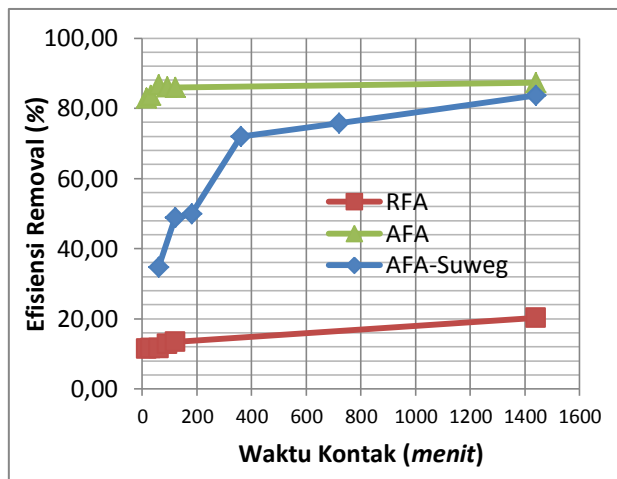
adsorbat untuk menempel pada situs adsorpsi.

Berdasarkan hasil di atas, proses berjalan baik pada kondisi lingkungan netral hingga basa. Sehingga untuk dua pengujian selanjutnya dipilih pH 7,0 sebagai pH optimal larutan.

3.4 Pengaruh Waktu Kontak Proses

Data dalam Tabel 3.3 dan Gambar 3.7, data AFA menunjukkan peningkatan efisiensi removal yang berarti pada penambahan lama waktu kontak hingga varian 60 menit senilai 86,69%. Namun pada penambahan waktu kontak selanjutnya tidak diketahui adanya peningkatan yang berarti, yang artinya sudah mencapai kesetimbangan pada penambahan waktu kontak hingga 60 menit. Nilai tersebut cenderung konstan di harga 86% pada penambahan lama waktu kontak hingga 24 jam. Sedangkan untuk produk AFA-Suweg, efisiensi proses dapat mencapai lebih dari 80% setara nilai kesetimbangan produk AFA pada waktu kontak hingga lama 24 jam, yaitu sebesar 83,70%. Penambahan lama waktu

kontak yang dilakukan, perlahan-lahan

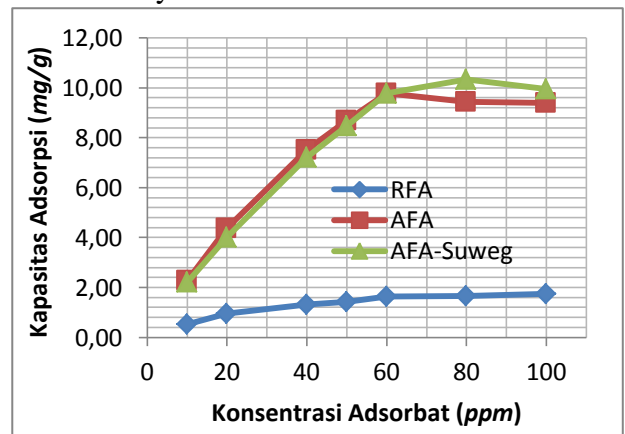


Gambar 3.6 – Pengaruh Variasi Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Removal meningkatkan efisiensi removal dari 34% hingga lebih dari 80% di jam ke-24. Fenomena tersebut terjadi karena untuk zat terlarut (adsorbat) dapat menempel pada situs aktif adsorben, zat terlarut perlu melalui tiga jenis transport massa 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). Sedang data produk RFA juga mengalami peningkatan nilai efisiensi removal seiring ditambahkan lama waktu

kontak, namun harga terbaik dari produk RFA hanya sebesar 20,29% walau dikontakkan hingga 24 jam. Dengan hasil demikian, pada pengujian terakhir digunakan lama waktu kontak 1 jam untuk AFA dan RFA, serta 24 jam untuk AFA-Suweg.

3.5 Pengaruh Konsentrasi Awal Adsorbat

Melihat tren data kapasitas adsorpsi terhadap penambahan konsentrasi awal adsorbat, untuk ketiga jenis produk adsorben terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi seiring ditambahnya konsentrasi adsorbat. Pada data



Gambar 3.7 – Pengaruh Variasi Konsentrasi Terhadap Kapasitas Adsorpsi

AFA terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi hingga penambahan kepekatan 60 ppm, namun untuk penambahan selanjutnya nilai kapasitas adsorpsinya cenderung konstan.

Hal serupa juga terjadi pada data AFA-Suweg yang jika dilihat pada Gambar 3.7 trennya sangat mirip dengan tren data AFA. Untuk AFA-Suweg juga terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi hingga penambahan kepekatan 60 ppm dan konstan pada nilai yg hampir sama pada penambahan kepekatan 80 ppm dan 100 ppm. Begitupun dengan data RFA yang mencatatkan tren yang serupa. Tren 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).

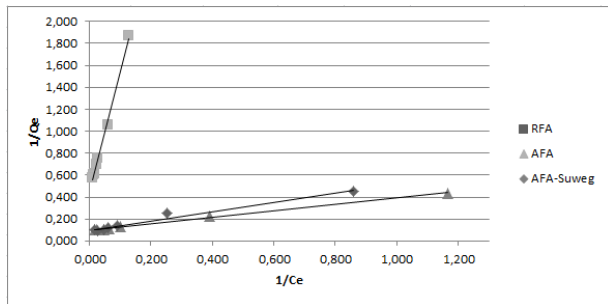
3.6 Isoterm Adsorpsi

Kesetimbangan isoterm adsorpsi merupakan pendekatan yang menunjukkan mekanisme dari sebuah proses adsorpsi. Model pendekatan isoterm adsorpsi yang umumnya digunakan adalah Model

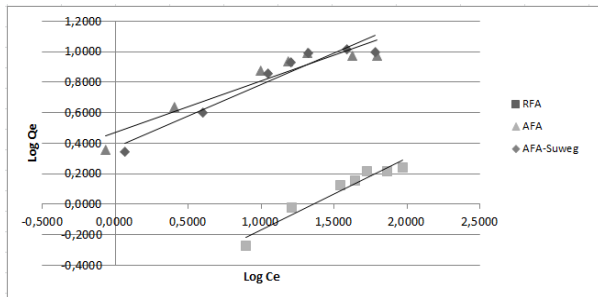
Langmuir dan Model Freundlich. Model-model tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kinerja dari proses adsorpsi karena pendekatan ini merepresentasikan sifat permukaan dan afinitas adsorben (Moghaddam dkk, 2010). Isoterm langmuir mengasumsikan adsorpsi pada adsorben berlangsung *mono-layer* dan adsorbat menempel homogen pada seluruh permukaan adsorben (Nasuha dkk, 2011). Dengan linearasi sebagai berikut (Cho dkk, 2015) :

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{K_L \cdot Q_m} \cdot \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_m} \quad (1)$$

Dimana Q_e merupakan kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan dalam mg/g, C_e konsentrasi pada saat kesetimbangan dalam mg/L, Q_m merupakan kapasitas maksimum produk adsorben dalam mg/g, serta K_L sebagai parameter afinitas atau konstanta langmuir. Konstanta-konstanta tersebut dapat dicari dengan melihat nilai *slope* dan intersep dari persamaan linear plot data $1/C_e$ dibandingkan $1/Q_e$.



Gambar 3.8 – Plot Kurva untuk Data Langmuir



Gambar 3.9 – Plot Kurva untuk Data Freundlich

Persamaan linear dari isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen sehingga distribusi penempelan adsorbat pada satu situs dan lainnya berbeda-beda. Freundlich menurunkan persamaan sebagai berikut (Handayani dan Sulistyono, 2009):

$$Q_e = K_F \cdot C^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

$$Q_e = \frac{1}{n} \cdot \text{Log } C_e + \text{Log } K_F \quad (3)$$

Dimana variabel n merupakan konstanta intensitas adsorpsi dan K_F adalah parameter afinitas atau konstanta Freundlich. Konstanta-konstanta tersebut dapat dicari dengan melihat nilai *slope* dan intersep dari persamaan linear plot data $\text{Log } C_e$ dibandingkan $\text{Log } Q_e$.

Berdasarkan pengolahan data terhadap persamaan linear yang tersedia diketahui harga R^2 untuk model Langmuir pada ketiga jenis produk adsorben lebih mendekati nilai satu. Dengan begitu disimpulkan bahwa proses adsorpsi pada ketiga jenis produk adsorben tersebut mengikuti model Langmuir. Sehingga proses adsorpsinya diketahui berlangsung *mono-layer* dan homogen pada permukaan adsorben.

Tabel 3.5 – Nilai Variabel pada Model Isoterm Adsorpsi

Jenis Adsorben	Model Langmuir			Model Freundlich		
	Qm (mg/g)	KL (L/g)	R ²	KF	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

Dari persamaan model Langmuir, kapasitas adsorpsi maksimum untuk RFA, AFA, dan AFA-Suweg berturut-turut adalah 2,3 mg/g; 10,0 mg/g; dan 10,3 mg/g. Untuk itu diketahui perlakuan enkapsulasi dengan glukomannan suweg tidak secara signifikan menambah kapasitas adsorpsi dari produk adsorben tersebut. Namun prosedur enkapsulasi yang dilakukan berhasil menciptakan produk adsorben dari *fly ash* yang lebih solid dan tidak mudah terdispersi memberi keunggulan sendiri terhadap produk tersebut, sehingga diharapkan lebih mudah untuk diterapkan di lapangan.

4. KESIMPULAN

- a. Aktivasi dan modifikasi AFA dan AFA-Suweg tidak signifikan merubah gugus fungsi pada adsorben, namun meningkatkan intensitas gugus-gugus fungsi tertentu serta merusak dan memporikan permukaan adsorben yang berperan meningkatkan kemampuan *fly ash* sebagai adsorben.
- b. Proses adsorpsi produk RFA, AFA dan AFA-Suweg berlangsung optimal pada pH di

atas 7,0, serta waktu kontak optimal 1 jam untuk AFA dan 24 jam untuk AFA-Suweg. Sedangkan konsentrasi *methylene blue* optimal bagi produk AFA dan AFA-Suweg adalah di atas kepekatan 60 mg/L.

- c. Proses adsorpsi adsorben RFA, AFA, dan AFA-Suweg mengikuti model isoterm Langmuir. Modifikasi AFA murni menjadi AFA-Suweg sebagai produk hasil enkapsulasi tidak signifikan meningkatkan kapasitas adsorpsi dari adsorben. Berturut-turut nilai kapasitas adsorpsi untuk RFA, AFA dan AFA-Suweg adalah 2,31 mg/g; 10,04 mg/g dan 10,30 mg/g. Namun produk AFA-Suweg yang lebih solid dan tidak mudah terdispersi membuatnya lebih mudah digunakan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti W., Wahyuni ET., Prasetya A. and Bendiyasa IM. (2012). *The Effect of Coal Fly Ash Treatment with NaOH on The Characters and Adsorption Mechanism toward Methyl Violet in The Solution. IPCBEE. Vol-38. Page 155-160*

- Bakkali H., Ammari M. and Frar I. (2016). *NaOH Alkali-Activated Class F Fly Ash: NaOH Molarity, Curing Conditions and Mass Ratio Effect*. *Journal JMES*. Vol-7. No. 2. Page 397-401
- Cho E., Tahir MN., Kim H., Yu JH. and Jung S. (2015). *Removal of Methyl Violet Dye by Adsorption onto Nbenzyltriazole Derivatized Dextran*. *The Royal Science of Chemistry 2015*. Vol-5. Page 34327-34334
- Elinur, Priyarsono DS., Tambunan M., dan Firdaus M. (2010). **Perkembangan Konsumsi dan Penyediaan Energi dalam Perekonomian Indonesia**. *Indonesian Journal of Agricultural Economics*. Vol-2. No.1. Halaman 97-119
- Fernando A., Monterio S., Pinto F., and Mendes B. (2009). *Production of Biosorbents from Waste Olive and Its Adsorption Characteristics For Zn²⁺ Ion*. *MDPI Sustainability Journal*. Vol-I. Page 277-297
- Handayani M. dan Sulistyono E. (2009). **Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) oleh Zeolit**. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*. PTNBR-BATAN Bandung, 3 Juni 2009
- Hassan AF., Abdel-Mohsen AM. and Fouda MMG. (2014). *Comparative Study of Calcium Alginate, Activated Carbon, and Their Composite Beads on Methylene Blue Adsorption*. *Carbohydrate Polymers*. Vol-102. Page 192-198
- Hidayati P., Ulfin I. dan Juwono H. (2016). **Adsorpsi Zat Warna Removal Brilliant Blue R Menggunakan Nata de Coco: Optimasi Dosis Adsorben dan Waktu Kontak**. *Jurnal Sain dan Seni ITS*. Vol-5. No. 2. Halaman 2337-2520
- Jumaeri, Astuti W. dan Lestari WTP. (2007). **Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara Secara Alkali Hidrothermal**. *Jurnal Reaktor*. Vol-11. Halaman 38-44
- Lestari AYD., Kurniawan MF. dan Siregar MF. (2016). **Pati Umbi Suweg Termodifikasi Sebagai Biosorben Penyerap Ion Timbal**. *Jurnal Teknoin*. Vol-22. No.7. Halaman 468-475
- Moghaddam AAN., Najafpour GD., Ghoreyshi AA., and Mohammadi M. (2010). *Adsorption of Methylene Blue in Aqueous Phase by Fly Ash, Clay and Walnut Shell as Adsorbents*. *World Applied Science Journal*. Vol-8. No.2. Halaman 229-234

- Nasuha N., Hamid BH. and Din ATM. (2010). *Rejected Tea as Potential Low-Cost Adsorbent for The Removal of Methylene Blue*. *Journal of Hazardous Materials*. **Vol-175**. Page 126-132
- O'Connell DW., Birkinshaw C. and Dwyer TF. (2008). *Heavy Metal Adsorbents Prepared from The Modification of Cellulose: A Review*. *Bioresource Technology*. **Vol-99**. Page 6709-6724
- Safa M., Larouci M., Meddah B. and Valemens P. (2012). *The Sorption of Lead, Cadmium, Copper and Zinc Ions From Aqueous Solutions on A Raw Diatomite from Algeria*. *Water Science and Technology*. **Vol-65** No. 10. Page 1729-1737
- Safitri E. dan Djumari. (2009). **Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) pada Produksi Paving Blok**. *Media Teknik Sipil UNS*. **Vol-IX**. Halaman 36-40
- Samiey B. and Ashoori F. (2012). *Adsorptive Removal of Methylene Blue by Agar: Effects of NaCl and Ethanol*. *Chemistry Central Journal*. **Vol-6**. No.14. Page 1-13
- Sareen D., Garg R. and Grover N. (2014). *A Study on Removal of Methylene Blue Dye from Waste Water by Adsorption Technique Using Fly Ash Briquette*. *International Journal of Engineering Research & Technology*. **Vol-3**. Issue 7. Page 610-613
- Sholeh M., Prasetya A. dan Sarto. (2012). **Pengolahan Air Limbah Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Abu Terbang Bagas Secara Batch**. *Majalah Kulit, Karet dan Plastik*. **Vol-28**. No. 1. Halaman 26-34
- Syauqiah I., Amalia M. dan Kartini HA. (2011). **Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengadukan pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif**. *INFO TEKNIK*. **Vol-12**. No.1. Halaman 11-19