

ADSORPSI *METHYLENE BLUE* MENGGUNAKAN ADSORBEN LUMPUR HASIL PENGOLAHAN AIR MINUM YANG DIENKAPSULASI DALAM AGAR DAN *ALGINATE GEL*

Zulistia

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang KM 14,5, Ngemplak, Sleman, Yogyakarta.

Email: zulistiaa@gmail.com

ABSTRAK

Adsorpsi *Methylene Blue* (MB) menggunakan adsorben dari lumpur hasil pengolahan air PDAM Tirta Binangun Yogyakarta yang diaktivasi dengan asam fosfat 1 M dan dilakukan secara *batch*. Modifikasi adsorben dengan metode enkapsulasi agar dan *alginate gel*. Percobaan adsorpsi dilakukan dengan pada beberapa kondisi berbeda yakni massa adsorben (50-400mg), larutan pH 2-9, waktu pengadukan (15menit-24jam), konsentrasi MB (150-1000ppm). Data *equilibrium* dicocokkan dengan model isoterm *Langmuir* dan *Freundlich*. Hasil percobaan didapat bahwa kondisi optimum yakni massa adsorben 200 mg, Ph 7, waktu pengadukan 2 jam (PAS-AG & PAS-AR) dan 30 menit (RSP & PAS), konsentrasi 300 ppm. Model isoterm yang cocok adalah model isoterm *Langmuir* dengan kapasitas adsorpsi RSP adalah sebesar 67,567mg/g, PAS 68,4932mg/g, PAS-AG 172,414mg/g, PAS-AR 66,225 mg/g.

Kata kunci: Adsorpsi, agar, *alginate gel*, *methylene blue*.

ABSTRACT

The adsorption of *Methylene Blue* (MB) used water treatment sludge PDAM Tirta Binangun Yogyakarta as adsorbent which is activated by phosphoric acid and studied by batch adsorption technique. Modified adsorbent with agar and alginate gel encapsulation method. The adsorptions experiments conducted by various conditions which dosage adsorbent (50-400 mg), pH solution 2-9, stirring time (15minute-24hours), initial concentration (150-1000ppm). The equilibrium data were fitted to *Langmuir* and *Freundlich* isotherm model's. The experiment results of optimal condition data which dosage adsorbent 200 mg, pH solution, stirring time 2 hours (PAS-AG & PAS) and 30 minute (RSP & PAS), initial concentration 300ppm. The fitted isotherm model's is *Langmuir* isotherm model's with adsorption capacity RSP is 67,567mg/g, PAS 68,4932mg/g, PAS-AG 172,414mg/g, PAS-AR 66,225 mg/g.

Key words: Adsorption, agar, *alginate gel*, *methylene blue*.

PENDAHULUAN

Penggunaan zat warna banyak digunakan dalam berbagai macam kegiatan industri salah satunya, industri tekstil. Limbah zat warna tersebut akan menimbulkan pencemaran lingkungan jika tidak dilakukan pengolahan. *Methylene Blue* (MB) merupakan zat pewarna sintesis yang digunakan pada

industri tekstil. Keberadaannya pada kuantitas rendah sangat terlihat, sehingga menyebabkan terjadinya perubahan warna. Perubahan warna tersebut dapat menimbulkan beberapa masalah seperti mengganggu penetrasi sinar matahari dalam perairan, menghambat proses

fotosintesis, serta mengganggu kelarutan gas dalam air (O'zer dan Dursun, 2007).

Banyak cara telah diterapkan dalam meminimalisir pencemaran akibat zat warna. Salah satu yang sering digunakan adalah adsorpsi. Adsorpsi merupakan proses penyerapan zat pencemar kedalam suatu zat penyerap (adsorben) (Sawyer *et al*, 1994). Seiring berkembangnya teknologi, banyak studi yang meneliti penggunaan bahan alternatif lain yang lebih murah dan keberadaannya mudah ditemukan. Contohnya penggunaan lumpur sisa pengolahan air minum sebagai adsorben. Lumpur sisa pengolahan air minum memiliki kandungan asam humat, besi amorf, dan aluminium hidroksida serta memiliki luas permukaan yang besar. Dengan karakteristik demikian, akan membuat lumpur menjadi lebih reaktif dan cocok sebagai agen penyerap (Chiang, 2012).

Di Indonesia, pengolahan air dilakukan oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Air baku yang digunakan oleh PDAM berupa air sungai dan atau air sumur. Dari pengolahan air sungai yang dilakukan oleh PDAM akan dihasilkan produk sampingan berupa lumpur. Sejauh ini, belum ada pemanfaatan mengenai lumpur tersebut dan biasanya hanya dikumpulkan pada suatu area pembuangan. Untuk itu, penelitian ini memilih lumpur sisa pengolahan air di PDAM Tirta Binangun

Yogyakarta sebagai bahan untuk pembuatan adsorben.

Dalam penggunaannya, adsorben jenis serbuk akan menyebar dalam air dan proses pemisahannya sulit dilakukan. Cara alternatif meminimalisir dampak dari penggunaan adsorben serbuk adalah dengan menerapkan metode enkapsulasi pada pembuatan adsorben. Kelebihan lain dari metode enkapsulasi pada pembuatan adsorben yakni dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi. Maka dari itu, dalam penelitian ini dilakukan dengan mengenkapsulasi lumpur hasil pengolahan PDAM yang telah diaktivasi dengan *alginate gel* dan agar agar memudahkan pemisahan adsorben dalam larutan serta menambah kemampuan adsorpsi dari adsorben.

METODE PENELITIAN

Preparasi Adsorben

Adsorben berasal dari lumpur hasil pengolahan air di PDAM Tirta Binangun Yogyakarta, yang kemudian dicuci dengan *aquades* untuk menghilangkan kandungan pengotor seperti potongan kayu dan daun. Setelah itu dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C Proses selanjutnya, *sludge* yang telah mengering kemudian digerus hingga menjadi bubuk atau *powder* dengan menggunakan *grinder* kemudian untuk mendapatkan ukuran 140 mesh bubuk lumpur tersebut harus diayak dengan *sieve shaker*. Aktivasi dilakukan dengan asam fosfat (H_3PO_4) pada dosis 4 ml

asam fosfat untuk 1 g *sludge powder* dan kemudian dipanaskan pada suhu 100°C selama 30 menit. Untuk menetralkan *sludge powder* yang bersifat asam *sludge* tersebut dicuci dengan aquadest hingga memiliki pH 5,5.

Karakterisasi Adsorben

Pengujian karakterisasi pada penelitian ini dilakukan terhadap adsorben teraktivasi *Powder Activate Sludge* (PAS) dan adsorben tidak teraktivasi *Raw Sludge Powder* (RSP) yang diuji menggunakan SEM, FTIR, ICP-AES, BET dan *Element analysis*. SEM (*Scanning Electron Microscopy*) guna mengetahui tampak permukaan adsorben pada perbesaran 15.000 x (JEOL JSM-7610F). FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) guna identifikasi kandungan gugus fungsi (NICOLET AVATAR 360 IR). ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometry*) untuk mengetahui kandungan logam berat (ICPE-9000 Shimadzu Plasma Atomic E Mission Spectrophotometer). BET (*Brunauer-Emmett-Teller*) untuk mengetahui ukuran pori dan luas permukaan adsorben (BELSORP-mini. BEL Japan Inc., Osaka Jepang). *Element analysis* untuk mengetahui kandungan unsur C, H, N, O dan ash (MICRO CORDER JM10, J. Science Lab, Co., Kyoto, Jepang).

Enkapsulasi Alginate

Adsorben yang telah diaktivasi (PAS) kemudian dienkapsulasi dengan agar dan *alginate*. Untuk pengenkapsulasian dengan *alginate* dilakukan dengan cara mencampurkan 2 g adsorben kedalam 30 ml larutan sodium alginate 3%. Campuran ini kemudian diteteskan pada larutan CaCl 10% kemudian butiran yang terbentuk dicuci menggunakan *aquadest* dan dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 2 jam.

Enkapsulasi Agar

Pada enkapsulasi agar, dilakukan dengan mencampurkan 2,5 g adsorben PAS dan 1 g agar kedalam 40 ml *aquadest* yang mendidih kemudian diamkan dalam sebuah cetakan hingga dingin. Setelah itu potong dengan ukuran 2 mm persegi kemudian keringkan dalam oven pada suhu 50 °C selama 6 jam.

Proses Adsorpsi

Methylene blue (CI52015) yang digunakan berasal dari merk millipore dari Merk Co, Jerman. Larutan sampel akan diuji dengan spektrofotometer UV 1601 Shimadzu pada panjang gelombang 655 nm dan pemilihan *methylene blue* sebagai adsorbat pada penelitian karena karena memiliki muatan positif bersih sehingga mudah teradsorpsi ke permukaan adsorben berbasis lumpur yang bermuatan negatif (Weng & Pan, 2006).

a. Variasi massa adsorben

Besarnya konsentrasi awal MB yang digunakan adalah sebesar 300 ppm, dengan derajat keasaman (pH) 7. Kondisi derajat keasaman (pH) larutan saat percobaan juga dipantau, dengan dilakukan pengecekan pada awal pengadukan dan setiap satu jam. Larutan yang digunakan sebanyak 50 ml dan diaduk selama 2 jam menggunakan *orbital shaker*. Sampel yang digunakan adalah PAS dan RSP. Variasi massa adsorben 50, 100, 200, 300, dan 400 mg.

b. Variasi derajat keasaman (pH)

Pengkondisian derajat keasaman (pH) larutan dilakukan dengan cara menambahkan larutan HNO₃ 0.1 M untuk kondisi asam dan NaOH 0.1 M untuk kondisi basa. Guna menjaga kondisi larutan tetap stabil, maka dilakukan pemantauan dengan mengukur nilai pH pada awal pengadukan dan setiap 30 menit. Pada percobaan variasi nilai pH ini, massa adsorben yang ditambahkan sebesar 200 mg sesuai dengan massa adsorben optimum. Variasi pH yakni dari 2-9.

c. Variasi waktu pengadukan

Pada percobaanya, pemberian massa adsorben dan kondisi pH menggunakan dosis dan kondisi optimum. Pada percobaan ini pemantauan nilai pH tetap dilakukan untuk menjaga kondisi tetap stabil saat pengadukan. Variasi waktu pengadukan untuk adsorben

PAS & RSP adalah 15, 30, 60, 90, dan 120 menit sedangkan untuk PAS-AG & PAS-AR adalah 1, 2, 4, 12, dan 24 jam.

d. Variasi konsentrasi

Konsentrasi MB yang digunakan pada percobaan ini adalah 150, 300, 400, 800, dan 1000 ppm. dengan massa adsorben PAS & RSP sebanyak 200 mg sedangkan PAS-AG 290 mg dan PAS-AR 280 mg dengan volume larutan 50 ml.

e. Model adsorpsi isoterm

Model adsorpsi isoterm yang digunakan pada percobaan ini adalah model isoterm *Langmuir* dan *Freundlich*. Pada model isoterm *Langmuir* model adsorpsi terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat pada permukaan adsorben. Persamaan umumnya sebagai berikut (Siswoyo, 2014):

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_e} c_e + \frac{1}{K_L \cdot q_m} \quad (1)$$

Dimana c_e adalah konsentrasi *equilibrium* (mg, l), q_e adalah adsorbat yang terserap pada saat *equilibrium*, K_L adalah konstanta *Langmuir* (l/mg) dan q_m merupakan kapasitas adsorpsi *equilibrium*. Sedangkan model isoterm *Freundlich* terjadi akibat adanya beberapa lapisan adsorbat pada permukaan adsorben dan biasanya ikatannya tidak kuat. Bentuk persamaan umumnya sebagai berikut (Sawyer, 1994):

$$Q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (2)$$

Dimana K_f dan $n =$ konstanta freundlich.

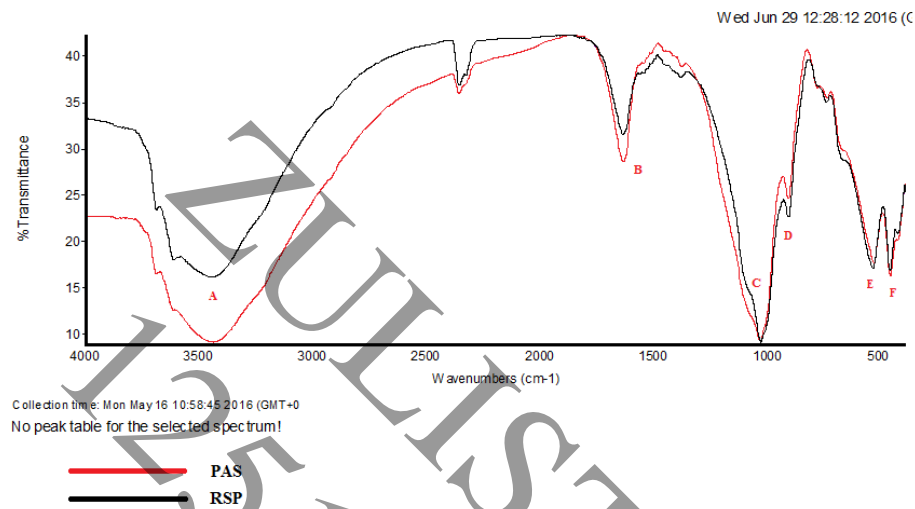
PEMBAHASAN

Karakterisasi Adsorben (RSP & PAS)

a. FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Hasil pembacaan FTIR dari kiri ke kanan menunjukkan bahwa antara PAS dan RSP

keduanya memiliki jumlah puncak spesifik yang sama yang kemudian dicocokkan sesuai dengan klasifikasi jenis gugus fungsi berdasarkan panjang gelombangnya (Stuart, 2014).



Gambar 1. Grafik Hasil Uji FTIR

Hasil identifikasi gugus fungsi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Gugus Fungsi yang Terdapat Dalam Senyawa Adsorben

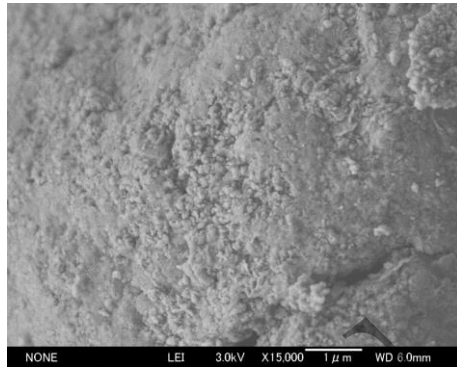
Puncak	PAS (cm ⁻¹)	RSP (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Panjang Gelombang (cm ⁻¹)
A	3442.02	3452.43	OH (hidroksil)	3800-3400
B	1641.31	1641.65	C=O (amida)	1680-1640
C	1038.93	1036.36	P-OH	1300-900
D	913.61	912.98	C-H	850-950
E	539.72	543.11	S-S	550-440
F	467.62	468.68	S-S	550-441

Hasil pembacaan FTIR tidak ditemukan adanya penambahan gugus fungsi baru dalam senyawa PAS. Hal ini terlihat dari letak puncak spesifik yang relatif sama dan tidak ada penambahan puncak spesifik pada grafik. Gugus OH yang bermuatan negatif pada adsorben berperan dalam proses adsorpsi zat warna MB dalam air.

b. SEM (*Scanning Electron Microscopes*)

Dengan perbesaran 15.000 x permukaan adsorben PAS terlihat memiliki pori lebih banyak dibandingkan dengan adsorben RSP.

Jumlah pori berpengaruh pada daya adsorpsi. Semakin banyak jumlah pori dapat menambah luas permukaan pada adsorben sehingga kapasitas adsorpsi juga meningkat.



(a)



(b)

Gambar 2. Permukaan Adsorben (a) RSP dan (b) PAS

c. *Elemental Analysis*

Jumlah persentase (%) kandungan C, N, O dan H dalam RSP lebih besar dibandingkan kandungan unsur tersebut dalam PAS. Dengan jumlah karbon pada RSP 0,74% sedangkan pada PAS hanya sebesar 0,57%. Namun, kandungan *ash* pada adsorben sangat tinggi yakni PAS 81,98% sedangkan RSP 78,85%.

Tabel 2. Hasil Uji *Element Analysis* Adsorben PAS dan RSP

Unsur (%w/w)	Raw Sludge Powder (RSP)	Powder Activated Sludge (PAS)
Karbon (C)	0.74%	0.57%
Hidrogen (H)	0.42%	0.32%
Nitrogen (N)	0.09%	0.06%
Oksigen (O)	19.91%	17.07%
Ash	78.85%	81.98%

d. BET (*Brunauer-Emmett-Teller*)

Luas permukaan adsorben PAS sebesar 87,14 m²/g sedangkan luas permukaan RSP sebesar 83,16 m²/g. Namun, ukuran volume pori PAS lebih kecil dibandingkan ukuran volume pori RSP. Untuk volume pori PAS sebesar 1,7 cm³/g sedangkan volume pori RSP sebesar 1,8 cm³/g.

e. ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometry*)

Dari hasil pengujian didapat bahwa kandungan logam paling besar dalam adsorben adalah Al yakni sebanyak 70.000 mg/kg kemudian logam terbanyak kedua yakni Fe sebanyak 30.000 mg/kg. Jumlah kandungan senyawa Al yang relatif besar disebabkan oleh penambahan koagulan yang mengandung senyawa Al.

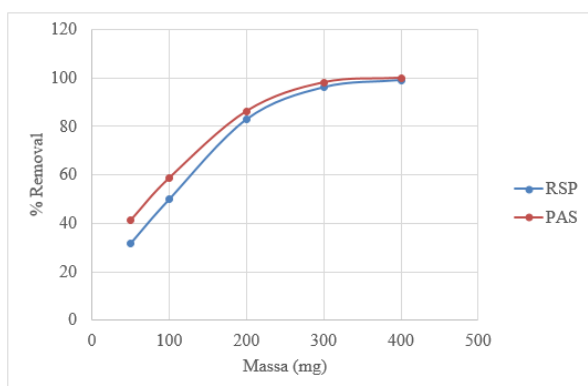
Tabel 3. Hasil Pengujian ICP - MS

No	Parameter	Unit	Konsentrasi
1	Al	mg/kg	70000
2	Fe	mg/kg	30000
3	Ca	mg/kg	5000
4	Mg	mg/kg	2000
5	Mn	mg/kg	1000
6	Si	mg/kg	100
7	Cu	mg/kg	100
8	Zn	mg/kg	50
9	Cd	mg/kg	20
10	Co	mg/kg	20
11	Cr	mg/kg	20
12	Hg	ug/kg	5000
13	Ni	mg/kg	10
14	Pb	mg/kg	nd
15	As	ug/kg	nd

PROSES ADSORPSI

a. Variasi penambahan massa adsorben

Hubungan penambahan massa adsorben dengan persentase (%) *removal* dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.

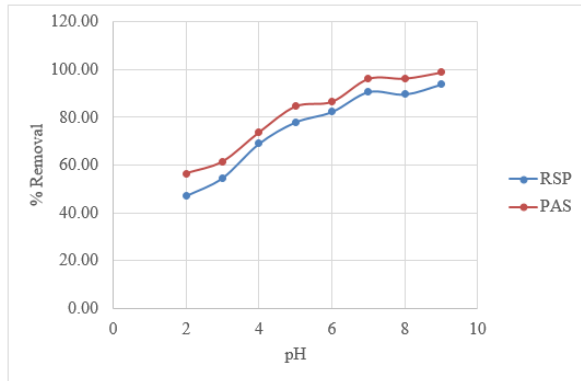


Gambar 3. Hubungan Penambahan Massa Adsorben Terhadap Persentase (%) *Removal*

Pada Gambar 3. tersebut, diketahui bahwa persentase (%) *removal* MB mengalami peningkatan dari 31,78% menjadi 99,09% pada RSP dan 41,46% menjadi 99,97% pada PAS. Peningkatan tersebut terjadi seiring dengan peningkatan penambahan massa dari 50 mg hingga 400 mg. Oleh karenanya dapat dikatakan bahwa penambahan massa adsorben berbanding lurus terhadap persentase (%) *removal* zat warna MB. Semakin banyak jumlah adsorben yang ditambahkan maka luas permukaan adsorben akan semakin banyak sehingga kemampuan adsorpsinya juga bertambah (Kumar & Kumaran, 2005). Kemampuan persentase (%) *removal* paling baik ditunjukkan pada PAS yang bisa mencapai angka 99,97%. Pada pengujian ini massa pemberian adsorben optimum yakni 200 mg karena pada massa pemberian diatas 200 mg peningkatan persentase (%) *removal* tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan kenaikan persentase (%) *removal* pada penambahan massa adsorben dibawah 200 mg.

b. Variasi Nilai Derajat Keasaman (pH)

Hasil dari percobaan variasi nilai derajat keasaman (pH) terhadap adsorpsi zat warna MB dengan menggunakan PAS dapat dilihat pada Gambar 4.



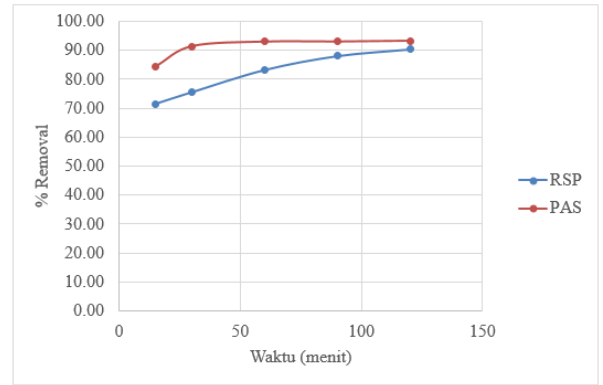
Gambar 4. Hubungan Variasi Nilai Derajat Keasaman (pH) Terhadap Persentase (%)

Removal

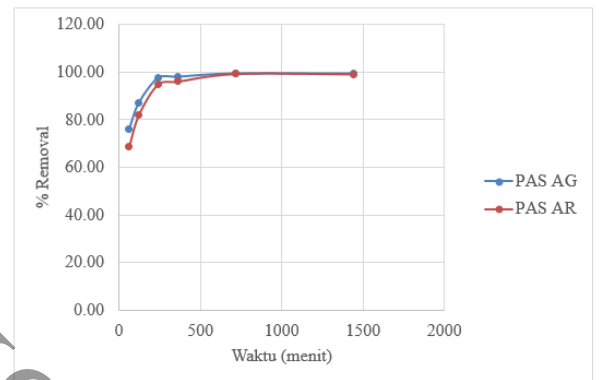
Hasil yang didapat dari grafik pada Gambar 4. menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai pH maka persentase (%) *removal* juga meningkat. Namun proses adsorpsi MB yang optimum terjadi pada kondisi pH 7. Kenaikan persentase (%) *removal* berbanding lurus dengan kenaikan nilai pH. Hal ini disebabkan adanya kelebihan ion H^+ pada adsorbat (*protonative*) sehingga kemampuan adsorben dalam menyerap senyawa MB berkurang, terutama pada PAS (Nasuha, 2010).

c. Variasi Waktu

Hasil dari percobaan variasi waktu terhadap adsorpsi zat warna MB dengan menggunakan PAS dapat dilihat Gambar 5. sebagai berikut



(a)



(b)

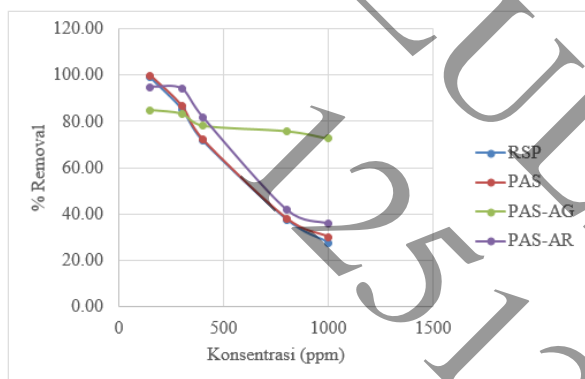
Gambar 5. Hubungan Variasi Waktu Terhadap Persentase (%) *Removal*, (a) PAS & RSP, (b) PAS-AG & PAS-AR

Pada kedua grafik dalam Gambar 5. memperlihatkan bahwa lamanya waktu pengadukan berbanding lurus dengan persentase (%) *removal*. Namun, secara umum grafik diatas mengalami peningkatan. Hasil grafik diatas menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan oleh adsorben PAS-AG dan PAS-AR lebih lama dibandingkan dengan adsorben PAS dan RSP. Hal ini disebabkan karena pada adsorben PAS-AG dan PAS-AR permukaannya diselubungi oleh *alginate* dan agar sehingga laju kinetik

adsorbennya menjadi lebih lambat. Pada pengujian ini waktu optimum yang dibutuhkan adsorben PAS dan RSP dalam mengadsorpsi MB yakni selama 30 menit sedangkan pada adsorben PAS-AG dan PAS-AR membutuhkan waktu selama 4 jam.

d. Variasi Konsentrasi

Hasil yang didapat bahwa semakin besar konsentrasi maka persentase (%) *removal* semakin kecil.



Gambar 6. Hubungan Variasi Konsentrasi Terhadap Persentase (%) *Removal*

Dari data Tabel 6. kemudian direpresentasi dalam bentuk grafik hubungan variasi konsentrasi dengan persentase (%) *removal*. Hasil yang didapat bahwa semakin besar konsentrasi maka persentase (%) *removal* semakin kecil. Namun, dari grafik tersebut kinerja persentase (%) *removal* RSP dengan PAS relatif sama hanya persentase (%) PAS lebih baik dibandingkan RSP. Sedangkan penurunan persentase (%) *removal* dari enkapsulasi agar lebih besar dari

enkapsulasi agar. Konsentrasi optimum pada pengujian variasi konsentrasi adalah 300 ppm. Penurunan persentase (%) *removal* pada pengujian konsentrasi ini disebabkan penambahan jumlah adsorbat dalam larutan dan adsorben sudah mulai jenuh sehingga kemampuan adsorpsinya berkurang.

e. Isoterm Adsorpsi

Penentuan model adsorpsi yang cocok didasarkan pada nilai R^2 pada grafik *isotherm* dimana nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4 Hasil Dari Pemodelan Isoterm

Langmuir & Freundlich

	LANGMUIR			FRUNDLICH		
	Qm (mg/g)	KL (l/mg)	R ²	KF	n	R ²
PAS	68,4932	0,0045	0,9808	4,575	7,279	0,9734
RSP	67,567	0,0256	0,9875	4,21	6,109	0,9095
PAS-AG	172,414	0,923	0,9888	1,477	1,421	0,99
PAS-AR	66,225	0,218	0,9696	3,438	4,7016	0,7109

Berdasarkan data dari Tabel 4.8, didapat bahwa untuk semua sampel menunjukkan model isoterm *langmuir*. Model isoterm *langmuir* menunjukkan bahwa interaksi antara adsorben dan sorbat terjadi pada satu lapisan dipermukaan adsorben (*monolayer*). Selain itu, untuk metode enkapsulasi yang paling baik adalah enkapsulasi dengan *alginate gel* karena dari model isoterm nya memiliki nilai Qm yang lebih besar dibandingkan dengan enkapsulasi

dengan agar yakni dengan nilai Q_m pada enkapsulasi *alginate gel* 172,414 mg/g sedangkan enkapsulasi dengan agar hanya sebesar 66,225 mg/g. Kemampuan adsorpsi dari adsorben terenkapsulasi *alginate* sangat baik dikarenakan adanya kandungan gugus COOH (karboksil) pada *alginate* dapat menambah site untuk menangkap muatan MB^+ dalam air.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa penelitian yang telah dibahas sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Massa optimum pada adsorben PAS, RSP, PAS-AG, dan PAS-AR adalah sebesar 200 mg, dengan pH optimum sebesar 7. Untuk waktu pengadukan optimum pada adsorben PAS dan RSP adalah selama 30 menit sedangkan pada adsorben PAS-AG dan PAS-AR selama 4 jam. Serta konsentrasi optimum adsorben PAS, RSP, PAS-AG, dan PAS-AR terjadi pada konsentrasi 300 ppm.
2. Proses adsorpsi dengan menggunakan adsorben PAS, RSP, dan PAS-AR menunjukkan kondisi isoterm *langmuir*, dimana penyerapan adsorben maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat pada permukaan adsorben.
3. Metode enkapsulasi yang paling baik digunakan adalah metode enkapsulasi

dengan *alginate* karena memiliki nilai R^2 yang lebih besar yakni 0,9888 sedangkan enkapsulasi agar hanya sebesar 0,9696.

4. Kapasitas adsorpsi (q_m) pada adsorben RSP, PAS, PAS-AG, dan PAS-AR berurut adalah 68,4932 mg/g, 67,567 mg/g, 172,414 mg/g, 66,225 mg/g.

SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang diajukan untuk perbaikan penelitian kedepannya. Adapun saran tersebut adalah sebagai berikut:

1. Teknik enkapsulasi sebaiknya dilakukan pada alat yang terkalibrasi sehingga menghasilkan ukuran bulir yang homogen.
2. Dalam pembuatan enkapsulasi agar sebaiknya dibuat dari agar murni untuk meminimalisir data yang bias.
3. Teknik enkapsulasi dengan *alginate gel* dapat digunakan sebagai agen pengikat untuk adsorben jenis serbuk.

DAFTAR PUSTAKA

Chiang, Yi Wai, Karel Ghyselbrecht, Rafael M. Santos, Johan A. Martens, Rudy Swennen, Valérie Cappuyns, Boudewijn Meesschaert. 2012. **Adsorption of Multi-Heavy Metals onto Water Treatment: Sorption Capacities and Applications.** *Chemical Engineering Journal* 200-202: 405-415.

- Nasuha, N., B.H. Hameed, Azam T. Mohd Din. 2010. **Rejected Tea as A Potential Low-Cost Adsorbent for The Removal of Methylene Blue.** *Journal of Hazardous Materials* 175; 126-132.
- O'zer A, D. G. 2007. **Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Dehydrated Wheat Bran Carbon.** *J. Hazard. Mater.* 146: 262-269.
- Sawyer, Clair N., McCarty, Perry L. dan Parkin, Gene F. (1994), **Chemistry for Environmental Engineering**, 4th edition, McGraw-Hill Inc, New York.
- Siswoyo, E. 2014. **Determination of Key Components and Adsorption Capacity of Low-Cost Adsorbent Based on Sludge of Drinking Water Treatment Plant to Remove Cadmium Ion in Water.** (Thesis) Division of Environmental Science Development Graduate School of Environmental Science Hokkaido University. Japan.
- Weng C.H., Pan Y.F. 2006 **Adsorption Characteristics of Methylene Blue from Aqueous Solution by Sludge Ash.** *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 274 (2006) 154–162.

12513170

CULISTIA