

Analisis Penurunan Konsentrasi *Methyl Orange* Dengan Biosorben Kulit Pisang Cavendish (*Musa Acuminata* Cv. Cavendish)

Analysis of Methyl Orange Concentration Reduction Using Musa Acuminata Cv. Cavendish Banana Peel as Biosorbent

Bambang Rahadi ¹, Alexander Tunggul S H¹, Inayah Robbaniyah²

¹Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang 65145

²Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang 65145

*Email Korespondensi: jbrahadi@ub.ac.id

ABSTRAK

Air limbah industri mengandung berbagai kontaminan termasuk asam, basa, padatan terlarut, senyawa beracun, dan zat warna organik. *Methyl orange* merupakan salah satu zat warna yang sering digunakan dalam industri kertas, plastik, makanan, dan tekstil yang dapat menghasilkan limbah berbahaya bagi lingkungan. Prosedur pengolahan limbah cair yang ada saat ini masih belum bisa menghilangkan zat warna azo secara menyeluruh. Komponen utama pada biomassa yang bertanggung jawab pada proses adsorpsi yaitu polimer: selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kulit pisang mengandung lignoselulosa sehingga dianggap berpotensi digunakan sebagai biosorben dalam proses biosorpsi. Tujuan penelitian adalah mengetahui konsentrasi zat warna *methyl orange* pada berbagai variasi perlakuan; mengetahui efisiensi *removal* biosorben; dan mengetahui kondisi optimum proses adsorpsi *methyl orange*. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dua faktor perlakuan, yaitu dosis adsorben dan waktu kontak. Sampel menggunakan sampel limbah *methyl orange* buatan dengan konsentrasi 50 ppm. Karakteristik kulit pisang dianalisis menggunakan FTIR. Dosis adsorben, waktu kontak, dan interaksi keduanya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi akhir *methyl orange*. Kondisi optimum adsorpsi *methyl orange* menggunakan adsorben kulit pisang terjadi pada waktu kontak 120 menit dan dosis adsorben 1 g.

Kata kunci: Dosis adsorben, waktu kontak, zat warna

Abstract

Industrial waste water contains various contaminants such as acids, bases, dissolved solids, toxic compounds, and organic dyes. Methyl orange is one of the dyes that are often used in paper, plastic, food and textile industries that can produce harmful waste for the environment. The recent technologies of wastewater treatment are not able to completely eliminate recalcitrant azo dyes. The main component in biomass which is responsible for the adsorption process is polymers: cellulose, hemicellulose, and lignin. Banana peel contains lignocellulose, so it can be used as biosorbent in the biosorption process. The purpose of research is to know the concentration of methyl orange substances on various treatment variations; the removal efficiency of biosorbent; and the optimum condition of the process of adsorption methyl orange. This study used a Factorial Completely Randomized Design with two factors, adsorbent dose and contact time. The sample used is the sample of 50 ppm synthetic methyl orange waste. The characteristics of banana peel were analyzed using FTIR. The adsorbent dose, contact time, and their interaction had a significant effect on the final concentration of methyl orange. The optimum condition of methyl orange adsorption occurred at 120 minutes contact time and 1 g adsorbent dose.

Keywords: adsorbent dose, contact time, dyes

PENDAHULUAN

Air limbah yang dihasilkan oleh proses industri biasanya mengandung berbagai kontaminan termasuk asam, basa, padatan terlarut, senyawa beracun, dan zat warna organik. *Methyl orange* merupakan salah satu zat warna azo yang sering digunakan dalam industri kertas, plastik, makanan, dan tekstil yang dapat menghasilkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan. Efluen yang berasal dari penggunaan dan fabrikasi zat warna memiliki BOD dan COD yang tinggi. Tanpa adanya pengolahan limbah terlebih dahulu, kualitas air baik secara estetika maupun sifat air itu sendiri akan terganggu. Warna yang dihasilkan menghalangi cahaya masuk ke dalam badan air, akibatnya proses fotosintesis akan terganggu yang kemudian akan mempengaruhi organisme akuatik yang terdapat di dalamnya (Varjani, 2018).

Prosedur pengolahan efluen yang saat ini ada masih belum bisa menghilangkan zat warna azo yang sulit dihilangkan secara menyeluruh dari efluen dikarenakan ketahanan luntur warna, stabilitas, dan ketahanannya terhadap degradasi (Malik, 2012). Metode adsorpsi paling sering digunakan pada skala industri dikarenakan sederhana, dapat digunakan pada berbagai jenis polutan, efisien, dan ketahanannya terhadap polutan yang bersifat toksik. Biomassa yang mengandung lignoselulosa dianggap sebagai salah satu bahan baku yang paling melimpah dan memiliki potensi yang besar untuk produksi karbon aktif yang berkelanjutan.

Penggunaan biomassa yang murah dan ramah lingkungan mulai dipertimbangkan untuk menggantikan karbon aktif komersial. Komponen utama pada lignoselulosa yang bertanggung jawab pada proses adsorpsi yaitu polimer: selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Proses adsorpsi terjadi akibat interaksi antara zat warna dan gugus fungsi dari polimer-polimer tersebut (seperti -OH dan -COOH) (Kezerle, 2018). Berbagai bahan yang mengandung lignoselulosa dapat menyerap ion logam berat dan polutan lainnya seperti zat warna pada larutan encer (Sciban, 2014). Kulit pisang merupakan limbah biologis yang sering digunakan pada adsorpsi Cu(II), Pb(II), Cd(II), dan Cr(IV) dari suatu larutan. Pemanfaatan kulit pisang juga

terbukti efektif dalam menyisihkan zat warna *Basic Blue 9*, *Basic Violet 10*, dan *Methylene Blue* (Crini, 2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi zat warna *Methyl orange* pada berbagai variasi perlakuan terhadap biosorben kulit pisang, mengetahui efisiensi *removal* serta kondisi optimum dalam proses adsorpsi zat warna *Methyl orange* menggunakan biosorben kulit pisang.

BAHAN DAN METODE

Pembuatan Adsorben Kulit Pisang

Penelitian menggunakan pisang Cavendish (*Musa acuminta* cv. Cavendish) jenis *Del Monte 2* Merek *Sunpride*. Pembuatan adsorben kulit pisang dilakukan dengan melakukan pencucian kulit pisang menggunakan air mengalir dan kemudian dibilas menggunakan akuades untuk selanjutnya dipotong-potong menjadi bentuk yang lebih kecil. Kulit pisang yang telah dipotong-potong kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 24 jam, kemudian dilakukan penghalusan menggunakan blender dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh. Serbuk kemudian dicuci hingga warnanya hilang, kemudian dikeringkan kembali menggunakan oven pada suhu 80 °C selama 24 jam.

Preparasi Sampel dan Deret Standar

Sampel yang digunakan yaitu sampel limbah buatan *methyl orange* (MO) dengan konsentrasi 50 ppm. Serbuk MO diproduksi oleh *Merck* yang diperoleh dari toko bahan kimia *Panadia Laboratory*. Pembuatan sampel dilakukan dengan mengencerkan 25 mL larutan induk MO 1000 ppm ke dalam labu ukur 500 mL menggunakan air suling. Larutan kemudian dihomogenkan dan disimpan pada wadah tertutup rapat.

Penelitian ini menggunakan larutan standar dengan konsentrasi 20, 40, 60, 80, 100, 120, dan 140 ppm. Pembuatan larutan standar dilakukan dengan mengencerkan larutan MO 100 ppm menjadi konsentrasi-konsentrasi tersebut ke dalam labu ukur 50 mL. Jumlah larutan MO yang dibutuhkan untuk membuat larutan standar dengan konsentrasi 20, 40, 60, 80, 100, 120, dan 140 ppm secara berturut-turut adalah 1, 2, 3, 4, 5,

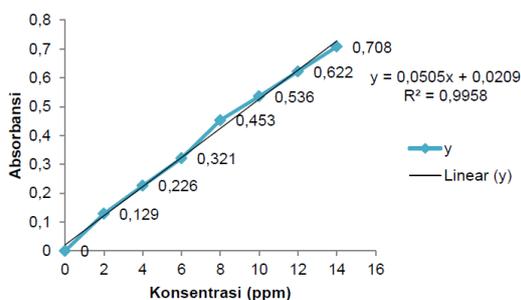
6, dan 7 mL. Larutan kemudian ditambahkan dengan air suling hingga tanda tera dan selanjutnya dihomogenkan.

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Penentuan panjang gelombang maksimum suatu sampel dapat diperoleh dengan melakukan *scanning* larutan standar dengan konsentrasi tertentu sehingga dihasilkan *output* berupa grafik yang menunjukkan panjang gelombang dengan serapan maksimum (*peak*). Larutan standar dengan konsentrasi tertentu dibaca absorbansinya pada rentang panjang gelombang cahaya tampak (400-600 nm). Panjang gelombang maksimum suatu larutan dicirikan dengan serapan (absorbansi) terbesar. Berdasarkan hasil penelitian, serapan maksimum (*peak*) larutan MO terjadi pada panjang gelombang 442 nm.

Penentuan Kurva Standar

Kurva standar MO diperoleh dengan membaca serapan larutan standar MO pada panjang gelombang 442 nm. Larutan standar dibuat dengan mengencerkan larutan induk MO 1000 ppm menjadi larutan dengan konsentrasi 20, 40, 60, 80, 100, 120, dan 140 ppm ke dalam labu takar 50 mL. Blanko yang digunakan adalah air, karena dalam proses pelarutan MO, pelarut yang digunakan adalah air.



Gambar 1. Kurva standar MO

Persamaan regresi linear yang diperoleh yaitu, $y=0.0505x + 0.0209$ dengan koefisien korelasi, $R^2= 0.9958$. Persamaan tersebut akan digunakan dalam menghitung konsentrasi dari masing-masing sampel setelah melalui proses adsorpsi

menggunakan adsorben kulit pisang. Spektroskopi merupakan teknik analisa yang mengaplikasikan hukum Lambert-Beer dalam prinsip kerjanya. Hukum tersebut menyatakan bahwa absorbansi cahaya (A) sebanding dengan konsentrasi (c) dan ketebalan media/kuvet (d) (Junaidi, 2017). Hasil pengamatan kurva standar larutan MO menunjukkan bahwa besarnya absorbansi larutan berbanding lurus dengan konsentrasinya. Nilai absorbansi semakin besar seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan standar, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengamatan kurva standar telah sesuai dengan hukum Lambert-Beer yang prinsipnya digunakan dalam spektrofotometri. Spektrofotometer yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *spektrofotometer Vis Optima Sp-300, FTIR Spectrophotometer Shimadzu 8400S*.

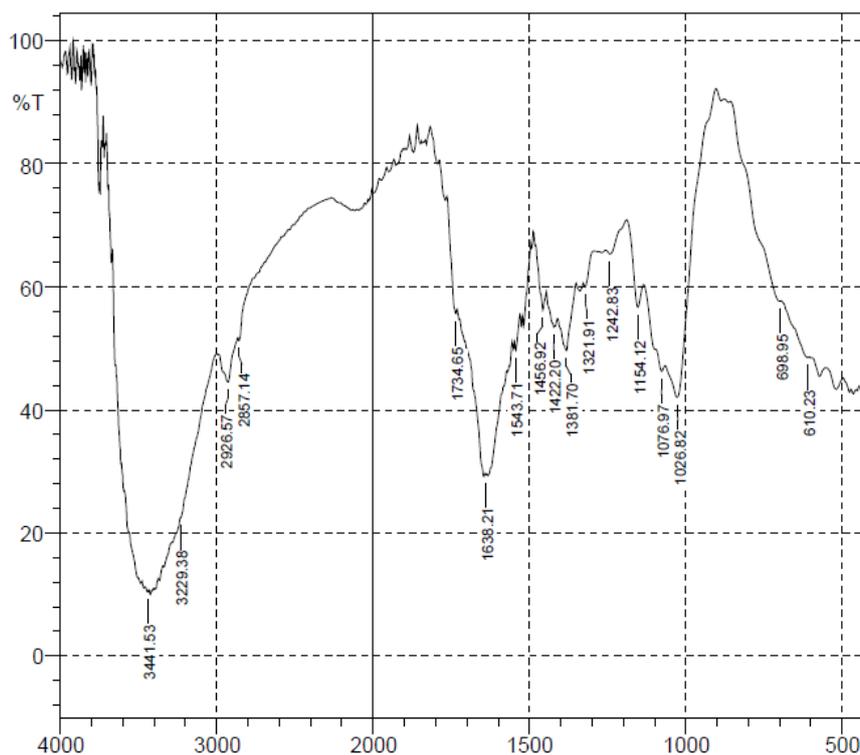
Proses Adsorpsi

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dua faktor perlakuan, yaitu dosis adsorben dan waktu kontak. Proses adsorpsi dimulai dengan menyiapkan sebanyak 100 mL sampel MO 50 ppm pada beaker glass 100 mL. Larutan sampel kemudian ditambahkan adsorben kulit pisang dengan variasi dosis 0 g (A_0), 0.5 g (A_1) dan 1 g (A_2). Neraca analitik yang digunakan yaitu *Mettler Toledo PL-303*. Sampel selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm selama 30 (B_1), 60 (B_2), 90 (B_3), dan 120 menit (B_4). Larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring *Whatman No. 1*. Filtrat yang dihasilkan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang maksimum MO (442 nm).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik FTIR Kulit Pisang Cavendish

Satu per tiga bagian dari buah pisang adalah kulitnya (Romelle, 2016). Kulit pisang yang telah dikeringkan dianalisis menggunakan FTIR sehingga diperoleh spectrum seperti **Gambar 2**.



Gambar 2. Spektrum FTIR kulit pisang Cavendish

Puncak serapan (*peak*) terjadi pada bilangan gelombang 3441.53; 2926.57; 1734.65; 1638.21; 1381.70; 1242.83; dan 1076.97 cm^{-1} . Serapan yang terjadi pada bilangan gelombang 3441.53 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus hidroksil. Serapan pada bilangan gelombang 2926.57 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur dari ikatan C-H. Serapan pada bilangan gelombang 1734.65 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur dari ikatan C=O (ikatan hemiselulosa). Serapan pada bilangan gelombang 1638.21 cm^{-1} merupakan vibrasi tekuk gugus O-H dari molekul air yang teradsorb. Serapan pada bilangan gelombang 1381.70 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-H. Serapan pada bilangan gelombang 1242.83 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-O (ikatan lignin). Serapan pada bilangan gelombang 1076.97 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-OR.

Pengaruh Interaksi Dosis Adsorben dan Waktu Kontak terhadap Konsentrasi dan Efisiensi Removal Methyl Orange

Penelitian ini menggunakan sampel dengan konsentrasi awal 50.27 ppm. Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa perlakuan variasi dosis dan variasi waktu kontak memberikan

pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi MO setelah adsorpsi. Hal ini dapat dilihat dengan perbedaan notasi pada konsentrasi MO. Perlakuan A₂B₄ atau adsorpsi dengan dosis adsorben 1 g dan waktu kontak 120 menit menjadi perlakuan paling baik dalam menurunkan konsentrasi MO. Hal ini dikarenakan konsentrasi terkecil setelah adsorpsi terjadi pada perlakuan tersebut.

Efisiensi removal MO melalui proses adsorpsi menggunakan biosorben kulit pisang pada penelitian ini mencapai 28%. Efisiensi removal tertinggi terjadi pada perlakuan A₂B₄ atau adsorpsi dengan dosis adsorben 1 g dan waktu kontak 120 menit. Perlakuan yang diberikan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi removal MO.

Pengaruh Dosis Adsorben terhadap Konsentrasi dan Efisiensi Removal Methyl Orange

Pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa perlakuan dosis adsorben memberikan pengaruh yang nyata kepada konsentrasi MO setelah adsorpsi. Perlakuan dosis adsorben 0.5 g dan 1 g berbeda nyata dengan kontrol (tanpa perlakuan).

Tabel 1. Pengaruh interaksi perlakuan terhadap konsentrasi MO dan efisiensi removal MO

Perlakuan	Konsentrasi MO (ppm)	Notasi	Efisiensi removal (%)	Notasi
A ₂ B ₄	36.1530	a	28.0767	g
A ₁ B ₄	36.5034	ab	27.3833	fg
A ₂ B ₃	37.5612	abc	25.2767	efg
A ₁ B ₃	38.2318	bcd	23.9433	def
A ₂ B ₂	38.6205	cd	23.1667	de
A ₁ B ₂	39.6008	de	21.2200	cd
A ₂ B ₁	41.3120	ef	17.8133	bc
A ₁ B ₁	41.9240	f	16.6000	b
A ₀ B ₃	49.9868	g	0.5567	a
A ₀ B ₂	50.1188	g	0.2967	a
A ₀ B ₁	50.3828	g	0.2267	a
A ₀ B ₄	50.5809	g	0.6200	a
<i>p-value</i>	0.000		0.000	

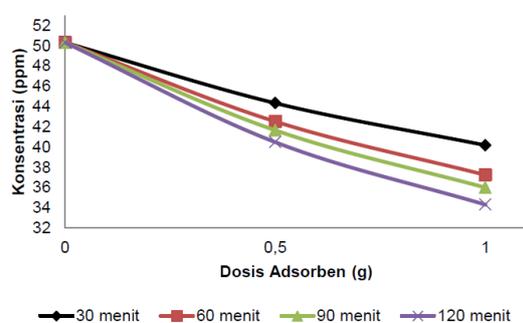
Tabel 2. Pengaruh dosis terhadap konsentrasi MO dan efisiensi removal MO

Dosis	Konsentrasi MO (ppm)	Notasi	Efisiensi Removal (%)	Notasi
1 g (A ₂)	38.41168	a	23.5833	b
0,5 g(A ₁)	39.06499	a	22.2867	b
0 g (A ₀)	50.26732	b	0.0017	a
<i>p-value</i>	0.000		0.000	

Tabel 3. Pengaruh dosis terhadap konsentrasi MO dan efisiensi removal MO

Waktu Kontak	Konsentrasi MO (ppm)	Notasi	Efisiensi Removal (%)	Notasi
120 menit (B ₄)	41.0791	a	18.2800	c
90 menit (B ₃)	41.9266	ab	16.5922	bc
60 menit (B ₂)	42.7800	b	14.8944	b
30 menit (B ₁)	44.5396	c	11.3956	a
<i>p-value</i>	0.000		0.000	

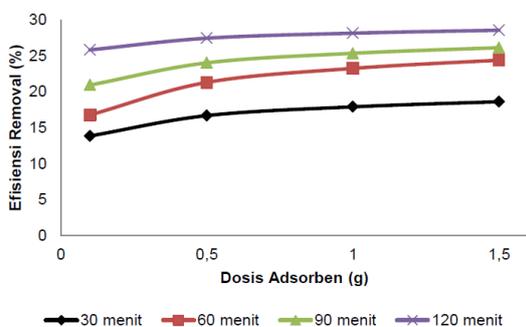
Perlakuan dosis adsorben 0.5 g dan 1 g tidak berbeda nyata, hal tersebut terlihat dari kesamaan notasi. Berdasarkan hasil penelitian, konsentrasi MO dengan penambahan adsorben sebanyak 1 g pada seluruh variasi waktu selalu lebih kecil dibandingkan dengan sampel dengan penambahan adsorben sebanyak 0.5 g.

**Gambar 3.** Grafik hubungan dosis adsorben dan konsentrasi MO

Hubungan dosis adsorben dengan konsentrasi MO berbanding terbalik untuk setiap waktu pengamatan. Semakin besar dosis adsorben yang diberikan pada saat proses adsorpsi, maka konsentrasi MO akan semakin kecil. Jumlah situs aktif pada adsorben akan meningkat seiring dengan peningkatan dosis adsorben (Alimano, 2014). Berdasarkan pernyataan tersebut, dapat disimpulkan bahwa jumlah situs aktif pada sampel dengan dosis adsorben yang lebih besar akan semakin besar pula, sehingga jumlah adsorbat yang terserap ke dalam adsorben akan semakin banyak.

Perlakuan dosis adsorben memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi removal MO. Perlakuan dosis adsorben 0.5 g dan 1 g berbeda nyata dengan kontrol (tanpa perlakuan) dan perlakuan dosis 1 g. Perbedaan konsentrasi akhir dari proses adsorpsi akan berpengaruh pada besarnya efisiensi removal yang terjadi. Konsentrasi

akhir yang semakin kecil akan menyebabkan selisih antara konsentrasi awal dan konsentrasi akhir semakin besar, sehingga menyebabkan efisiensi removal akan semakin tinggi. Efisiensi removal terbesar diperoleh pada sampel dengan dosis adsorben 1 g.



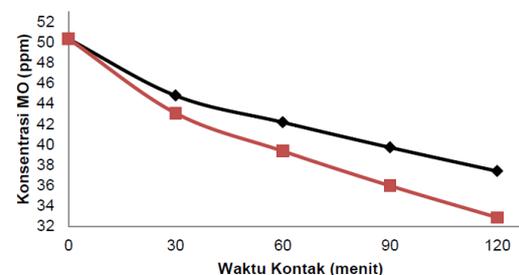
Gambar 4. Grafik hubungan dosis adsorben dan efisiensi removal MO

Pengaruh Waktu Kontak terhadap Konsentrasi dan Efisiensi Removal *Methyl Orange*

Pada Tabel 4 ditunjukkan bahwa perlakuan waktu kontak memberikan pengaruh yang nyata kepada konsentrasi MO setelah adsorpsi. Perlakuan waktu kontak 120 menit berbeda nyata dengan perlakuan waktu kontak 30 dan 60 menit, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan waktu kontak 90 menit. Perlakuan waktu kontak 90 menit berbeda nyata dengan perlakuan waktu kontak 30 menit, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan waktu kontak 60 menit. Perlakuan waktu kontak 60 menit berbeda nyata dengan perlakuan waktu kontak 30 menit. Berdasarkan hasil penelitian, besarnya konsentrasi sampel semakin kecil seiring dengan bertambahnya waktu kontak. Sampel dengan konsentrasi terkecil terdapat pada menit ke-120 untuk kedua variasi dosis adsorben.

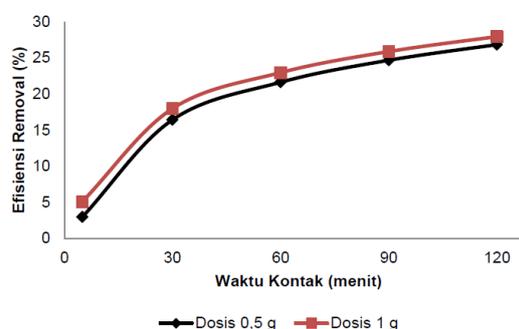
Hubungan waktu kontak dengan konsentrasi MO berbanding terbalik untuk kedua variasi dosis. Waktu kontak yang semakin lama akan menyebabkan konsentrasi MO semakin kecil. Menurut Harihastuti (2016), kemampuan adsorpsi dari suatu adsorben akan terus meningkat hingga tercapai titik jenuh dimana situs aktif dari adsorben telah terisi oleh adsorbat sehingga jumlah adsorbat yang terjerap tidak lagi bertambah secara signifikan. Berdasarkan **Gambar 5**, perubahan konsentrasi antara

menit ke-0 dan ke-30 merupakan perubahan yang paling signifikan. Kondisi adsorben pada menit setelahnya sudah mulai jenuh pada menit-menit setelahnya, hal tersebut ditunjukkan oleh adanya penurunan konsentrasi yang tidak terlalu signifikan antar waktu pengamatan.



Gambar 5. Grafik hubungan waktu kontak dan konsentrasi MO

Perlakuan waktu kontak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi removal MO. Hal ini dapat diketahui dengan melihat perbedaan notasi yang diberikan. Efisiensi removal terbesar terjadi pada perlakuan dengan waktu kontak 120 menit yaitu mencapai 18%



Gambar 6. Grafik hubungan waktu kontak dan efisiensi removal

Pada **Gambar 6** dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan efisiensi removal untuk setiap peningkatan waktu kontak. Berdasarkan hal tersebut, dapat dinyatakan bahwa hubungan antara efisiensi removal dengan waktu kontak berbanding lurus. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini sejalan dengan pernyataan Alimano (2014) yang menyatakan bahwa efisiensi removal akan meningkat seiring dengan peningkatan waktu adsorpsi. Berdasarkan penelitian dari Annadurai (2002), waktu optimum adsorpsi MO menggunakan kulit pisang terjadi pada menit ke-65, sedangkan pada penelitian ini

masih terdapat sedikit penurunan konsentrasi MO hingga menit ke-120.

Penelitian ini menggunakan sampel dengan konsentrasi awal 50.27 ppm dan pH larutan sebesar 5.7. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi removal dari setiap perlakuan bervariasi mulai dari 16.69% hingga 28%. Kondisi optimum adsorpsi yaitu dengan perlakuan dosis adsorben 1 gr dan waktu kontak 120 menit. Annadurai (2002), menyatakan bahwa adsorben kulit pisang dengan dosis 1 g.L⁻¹ mampu menghilangkan hingga 82.8% kandungan *methyl orange* dari sampel dengan konsentrasi awal sebesar 50 ppm.

Methyl orange digolongkan sebagai zat warna anionik. Permukaan *Methyl orange* akan bermuatan positif pada pH rendah dan bermuatan negatif pada pH tinggi (Pei, 2017). Sedikitnya jumlah *methyl orange* yang teradsorpsi pada pH asam dikarenakan adanya kelebihan ion H⁺ yang ikut bersaing dengan ion yang berasal dari *methyl orange* untuk menempati situs aktif dari adsorben kulit pisang.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa konsentrasi akhir *methyl orange* dengan penambahan adsorben sebanyak 0.5 g pada menit ke-30, 60, 90, dan 120 secara berturut-turut adalah sebesar 41.92; 39.60; 38.23; dan 36.50 ppm. Konsentrasi akhir *methyl orange* dengan penambahan adsorben sebanyak 1 g pada menit ke-30, 60, 90, dan 120 secara berturut-turut adalah sebesar 41.31; 38.62; 37.56; dan 36.15 ppm.

Efisiensi removal *methyl orange* dengan penambahan adsorben sebanyak 0.5 g pada menit ke-30, 60, 90, dan 120 secara berturut-turut adalah sebesar 16.68; 21.30; 24.02; dan 27.45%. Efisiensi removal *methyl orange* dengan penambahan adsorben sebanyak 1 g pada menit ke-30, 60, 90, dan 120 secara berturut-turut adalah sebesar 17.90; 23.25; 25.35; dan 28.15 %. Kondisi optimum adsorpsi *methyl orange* menggunakan adsorben kulit pisang Cavendish tercapai pada dosis adsorben 1 g dan waktu kontak 120 menit, dengan efisiensi removal sebesar 28%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimano M., Mindriany A. 2014. Reduksi Ukuran Adsorben Untuk Memperbesar Diameter Pori Dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Adsorpsi Minyak Jelantah. *Jurnal TeknikLingkungan*, 20 (2): 173-182.
- Annadurai, Gurusamy, Ruey-Shin J., Duu-Jong L. 2002. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Material*, 92(3), 263-274.
- Crini G., Eric L. 2018. Green Adsorbents for Pollutants Removal. *Fundamental and Design*. Springer. Basel
- Harihastuti N., Djayanti, S. 2016. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Daya Adsorpsi Karbon Aktif Pada Proses Purifikasi CH₄ dari Biogas. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 7(2)
- Juaidi. 2017. Spektrofotometer UV-VIS untuk Estimasi Ukuran Nanopartikel Perak. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 5(1), 97-102
- Kezerle, Antonija, Natalija V., Damir H. 2018. Lignocellulosic materials as dye adsorbents: adsorption of methylene blue and congo red on brewers' spent grain. *Croat. Chem. Acta* 2018, 91(1), 53-64.
- Malik A., Elisabeth G. 2012. *Environmental Protection Strategies for Sustainable Development*. Springer. Dordrecht
- Pei, Lim Y., Amira N.S., Zulkifli S.M. 2017. Modified Spent Tea Leaves as Bioadsorbent For Methyl Orange Dye Removal. *Pertamika J. Sci. & Technol*, 25(5), 73-84.
- Romelle, Feumba D., Ashwini R.P., Ragu S.M. 2016. Chemical Composition of Some Selected Peels. *European Journal of Food Science and Technology*, 4 (4): 12-21.
- Sciban, Marina, Dragana K., Mile K. 2014. Adsorption Capacities of Different Lignocellulosic Materials for Copper Ions. *ACTA Technica Corviniensis*, 4(7), 83-86.
- Varjani, Sunita J., Avinash K.A. Edgard G. 2018. *Bioremediation: Application for Environmental Protection and Management*. Springer. Singapura