



PENYERAPAN COD DARI LIMBAH CAIR PABRIK MINYAK KELAPA SAWIT MENGUNAKAN FLY ASH DARI PLTU SUAK PUNTONG-NAGAN RAYA

Faisal^{1*}, Muhammad Hafizulah², Wiza Ulfa Fibarzi¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk Abdurrauf No.7, Banda Aceh, 23111

Korespondensi: e-mail: faisal.88@unimal.ac.id

Abstrak

Metode adsorpsi dengan adsorben murah yang tersedia dalam bentuk limbah industri merupakan teknologi sederhana dan ekonomis yang sedang dikembangkan untuk pengolahan limbah cair. Palm Oil Mill Effluent (POME) yang digunakan diambil dari salah satu Industri di Aceh. Fly Ash dari by-produk pembakaran batubara di PLTU Suak Puntong – Nagan Raya dimanfaatkan sebagai bahan adsorben. Pada penelitian ini fly ash dibagi menjadi dua kategori yaitu fly ash yang aktivasi secara fisika (FA1) dan kimia (FA2). Karakterisasi adsorben dilakukan dengan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan SEM/EDS. Perolehan kondisi optimum berdasarkan variabel massa adsorben pada FA1, bahwa proses adsorpsi semakin efektif dengan bertambahnya jumlah massa fly ash dan waktu kontak. Perbandingan persentase penyisihan COD terhadap FA1 diperoleh lebih tinggi dari yang teradsorpsi pada FA2. Mekanisme adsorpsi FA1 mengikuti persamaan Freundlich (0,973), untuk FA2 mengikuti persamaan Langmuir (0,989).

Kata kunci: Adsorpsi, POME, COD dan fFy Ash

Doi: <https://doi.org/10.29103/jtku.v12i2.14896>

1. Pendahuluan

Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) merupakan salah satu komoditas yang sangat penting dan strategis di Indonesia karena memberikan kontribusi besar dalam mendorong perekonomian. Pembangunan PMKS di Indonesia akan semakin bertambah, terlihat perkembangan perusahaan perkebunan yang meningkat drastis selama 10 tahun terakhir, baik perkebunan besar negara, maupun swasta (Badan Pusat Statistik 2014)

Meningkatnya produk minyak kelapa sawit akan diiringi oleh peningkatan limbah yang dihasilkan dari proses penggilingan. Diantara limbah yang dihasilkan, limbah cair yang dikenal dengan *palm oil effluent* (POME) merupakan limbah yang

paling berbahaya jika langsung dibuang ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu, karena dapat membahayakan kehidupan manusia maupun makhluk hidup lainnya serta mengganggu kelestarian lingkungan karena mengandung padatan tersuspensi. Menurut (Singh dkk, 2010) POME segar adalah terdiri dari padatan terlarut dan tersuspensi yang berupa koloid dan mengandung residu minyak dan lemak, umumnya mempunyai suhu tinggi dengan pH berkisar 4-5, serta tinggi *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD).

Sehubungan dengan teknologi terkini yang sedang diarahkan untuk menjalankan konsep ekologi industri yaitu pemanfaatan limbah industri menjadi bahan baku industri lain. Maka menarik untuk dikaji tentang *fly ash* dari limbah PLTU sebagai bahan baku adsorben untuk pengolahan POME, sehingga dapat terjalin hubungan yang saling menguntungkan antara PLTU sebagai produsen dengan PMKS sebagai konsumen. Pengolahan POME secara biologis dengan sistem kolam terbuka *anerobic* dan *aerobic* sangat populer dilakukan dikalangan PMKS. Sistem tersebut memerlukan lahan yang luas, retensi waktu yang lama dan diperlukan perlakuan khusus untuk mengisolasi bakteri pendegradasi limbah (David dkk,2014). Namun teknik ini kurang efisien karena disebabkan oleh sensitivitas mikroorganisme terhadap perubahan iklim dan fluktuasi pH. Selain itu, selama proses anaerob sejumlah besar metana dan karbon dioksida yang dihasilkan dipancarkan langsung ke atmosfer yang menyebabkan emisi gas rumah kaca (Yeong dkk,2010).

Fly ash adalah material halus berbentuk *amorf* yang dikategorikan sebagai limbah B3 (PP No. 101 Tahun 2014). Perkiraan produksi global *fly ash* dalam 10 tahun terakhir mencapai 750 juta ton pertahun, dominan dihasilkan oleh pembangkit listrik. Sedangkan angka pemanfaatan *fly ash* global saat ini rata-rata 25%, dengan demikian perbandingan yang signifikan (75%) dari produk tahunan *fly ash* yang harus di buang. Perlu diupayakan untuk menjaga keseimbangan antara produksi dengan pemanfaatan sehingga tidak terjadi penumpukan.

Fly ash sebagai adsorben memiliki potensi yang besar dalam mengurangi beban lingkungan akibat dari limbah industri. Kandungan aluminosilika dan karbon yang tidak terbakar dalam *fly ash* memainkan peran penting untuk adsorpsi individu

polutan dalam gas buang seperti NO_x, SO_x, merkuri serta pewarna, senyawa organik dan anorganik yang tidak diinginkan dari limbah cair (Shaobin dan Hongwei, 2006). Menurut Afrianita (2010) efisiensi penyisihan COD dengan adsorben dari *fly ash* pada adsorbat artificial mencapai 90%, sedangkan pada limbah cair domestik hanya mencapai 59-76%. Oleh karena itu diperlukan praperlakuan terhadap *fly ash* untuk mengoptimalkan proses adsorpsi pada sampel asli.

Sebagai pengembangan metode untuk mengkonversikan *fly ash* menjadi adsorben murah, penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan atau mengetahui kondisi optimum *fly ash* sebagai adsorben setelah aktivasi fisika dan kimia, mengetahui tingkat efisiensi *fly ash* sebagai adsorben dalam menurunkan zat pencemar dalam POME, mengetahui mekanisme adsorpsi POME dengan menggunakan *fly ash* berdasarkan persamaan *Langmuir* dan *Freundlich*; dan analisa kinetika adsorpsi berdasarkan pada persamaan kinetika reaksi pseudo orde-satu dan pseudo orde-dua.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Sumberdaya Energi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh. Bahan yang digunakan adalah POME yang diambil dari kolam terakhir di salah satu PMKS di Aceh, Sedangkan *fly ash* diambil dari PLTU Suak Puntong-Nagan Raya. Alat-alat yang digunakan adalah Tube furnace (TF-80/120/160), Stirer magnetik, Kolom pirolisi, Gelas ukur, Gelas beker, Pipet tetes, Centrifuge, XRD (*Shimadzu XRD-7000*), SEM/ EDS dan, Spektrofotometer UV-Vis.

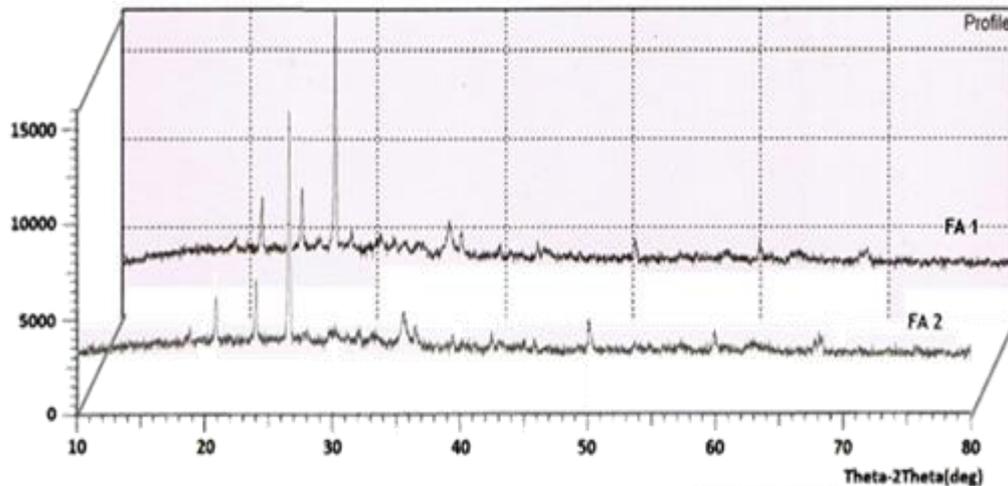
Tahapan penelitian, pertama penyiapan adsorbat dari POME yaitu dengan pengenceran untuk mendapatkan variasi konsentrasi COD (289 mg/L; 193 mg/L; 144 mg/L; 166 mg/L; 96 mg/L dan 83 mg/L), dan aktivasi *fly ash* secara fisika (FA1) dengan *heat treatment* di *tube furnace* pada suhu 450-550⁰C selama 1 jam, serta aktivasi secara kimia (FA2) dengan cara ditambahkan kedalam 250 mL larutan ZnCl₂ 0,1 N sebanyak 20 gr *fly ash*, campuran kemudian diaduk dan didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam. Suspensi disaring dengan kertas saring, kemudian

residu dicuci dengan aquades agar *fly ash* yang dihasilkan netral dari sifat $ZnCl_2$ dan dikeringkan pada $110^{\circ}C$ selama 2 jam. Untuk mengetahui strukturnya sampel adsorben yang telah diaktivasi di analisis dengan *X-Ray Diffraction (XRD)*, dan *Scanning Electron Microscopy (SEM/EDS)* untuk menentukan morfologi. Kedua adalah proses adsorpsi, dimana variabel tetapnya adalah jumlah adsorbat 200 ml dengan kecepatan pengaduk 100 rpm, untuk variabel berubah adalah massa adsorben (0,5 g; 1 g; 1,5 g; 2 g dan 2,5 g), dan waktu kontak yaitu 30 menit; 60 menit; 120 menit; 240 menit.

3. Hasil dan Diskusi

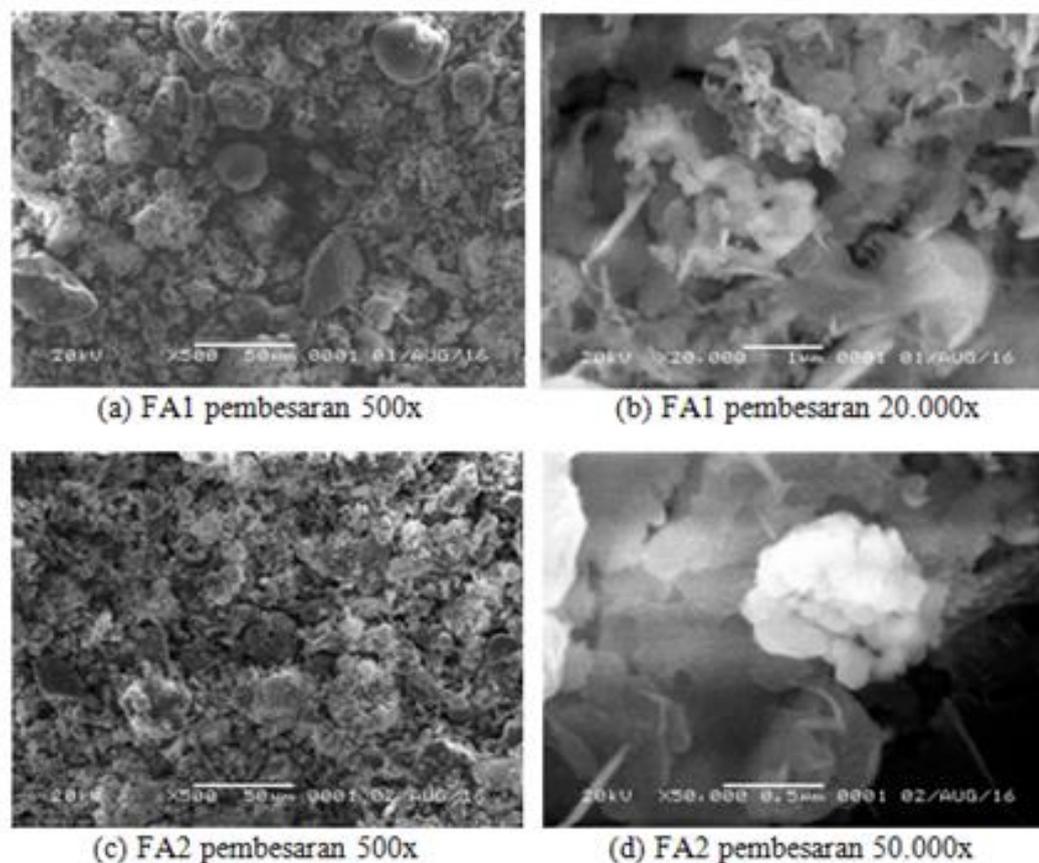
3.1 Analisis bahan adsorben

Proses karakterisasi dengan XRD terhadap adsorben sebagai berikut: atom target Cu, panjang gelombang $\lambda = 1,540600 \text{ \AA}$, dioperasikan pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada Gambar 1 dengan kondisi pengukuran pada rentang sudut 2θ mulai 10-80. Berdasarkan informasi *basic data process XRD* dan sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ogata dkk (2015), bahwa *fly ash* didominasi oleh unsur alumina dan silika. Keberadaan senyawa *mullite* Al_2O_3 dan *quartz* SiO_2 diketahui dengan terbentuknya 3 puncak utama pada sudut 2θ dari kedua jenis adsorben. Mineral *mullite* pada FA1 terdeteksi keberadaannya pada sudut 2θ sekitar $20,8817^{\circ}$, sedangkan mineral *quartz* terdeteksi pada sudut 2θ sekitar $24,0430^{\circ}$ dan $26,6655^{\circ}$. Pada FA2 terlihat hasil yang sedikit berbeda, dimana mineral *mullite* diperoleh pada sudut 2θ sekitar $20,8235^{\circ}$, untuk mineral *quartz* pada sudut 2θ sekitar $23,9738^{\circ}$ dan $26,5997^{\circ}$. Hasil karakteristik setelah aktivasi fisika dan kimia pada penelitian ini tidak menunjukkan perubahan yang nyata terhadap struktur mineral pada *fly ash*. Namun demikian kondisi silika dan alumina yang cukup besar sangat berperan sebagai pusat aktif bila *fly ash* dikonversi menjadi adsorben untuk berinteraksi dengan adsorbat (Rompalski dkk, 2016).



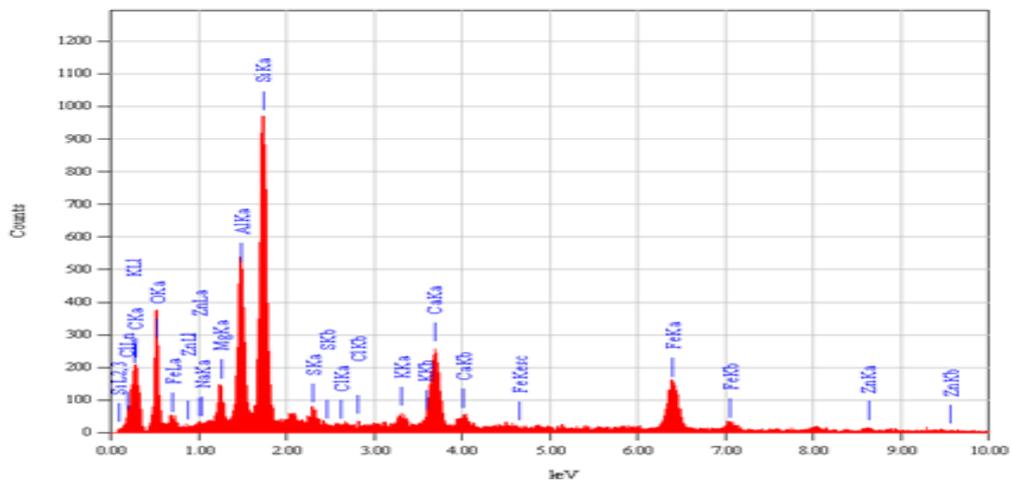
Gambar 1. Pola Difraktogram dari *fly ash*

Analisis dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada pembesaran 500x dan 20.000x dari sampel FA1 dan pembesaran 500x dan 50.000x dari sampel FA2 dapat dilihat pada Gambar 2 Struktur utama *fly ash* menurut Ogata dkk (2015) adalah bola dengan permukaan mengkilap (*glassy*). Namun dari Gambar 2 terlihat, kedua adsorben FA1 dan FA2 berbentuk amorf dari berbagai diameter, hal ini dipengaruhi oleh praperlakuan terhadap *fly ash*. Sedangkan hasil deteksi dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) terlihat bahwa komposisi kimia pada FA1 (Gambar 3) yang terdeteksi diatas 9% adalah Al_2O_3 ; SiO_2 ; FeO; CaO dan C masing-masing 14,25%; 26,57%; 17,23%; 9,67% dan 22,62%. Sedangkan analisis terhadap FA2 (Gambar 4) diperoleh komposisi Al_2O_3 ; SiO_2 ; FeO; CaO dan C masing-masing 17,34%; 29,49%; 21,49%; 9,11% dan 3,07%. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rompalski dkk (2016) hasil analisis SEM/EDS terhadap *fly ash* didominasi oleh oksida-oksida seperti Al_2O_3 ; SiO_2 ; FeO dan CaO. Namun yang menjadi perbedaan adalah pada kadungan unsur C ($5,93 \pm 0,38$ % w/w), dimana nilai tersebut jauh lebih rendah dari nilai analisis pada sampel FA1. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh *heat treatment* pada suhu 450-550⁰C selama 1 jam.

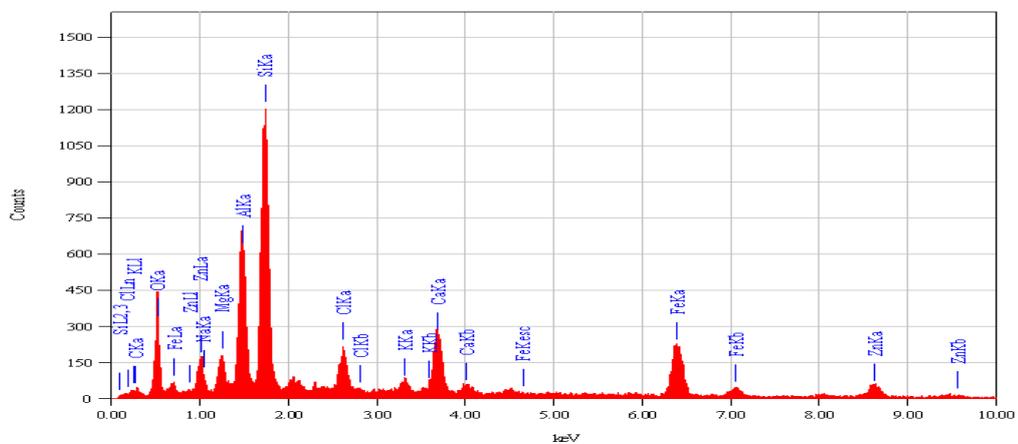


Gambar 2. Analisis SEM *fly ash*

Pada gambar 3 dan gambar 4 dapat dilihat bahwa aktivasi secara fisika maupun kimia dapat mempengaruhi struktur dan komposisi kimia pada *fly ash*. Pada aktivasi fisika selain dapat merubah struktur menjadi fase amorf dengan cara memecahkan ikatan kimia atau mengoksidasi molekul permukaan, juga dapat menyisihkan kandungan Al, Fe, Mg dan pengotor lainnya. Berbeda dengan aktivasi kimia, dimana unsur-unsur aktivator masuk kepermukaan sampel, saat pencucian dilakukan senyawa kontaminan terlepas sehingga terbentuk pori. Hal ini yang menyebabkan hilangnya unsur S serta meningkatkan luas permukaan adsorben.



Gambar 3. Analisis EDS FA1

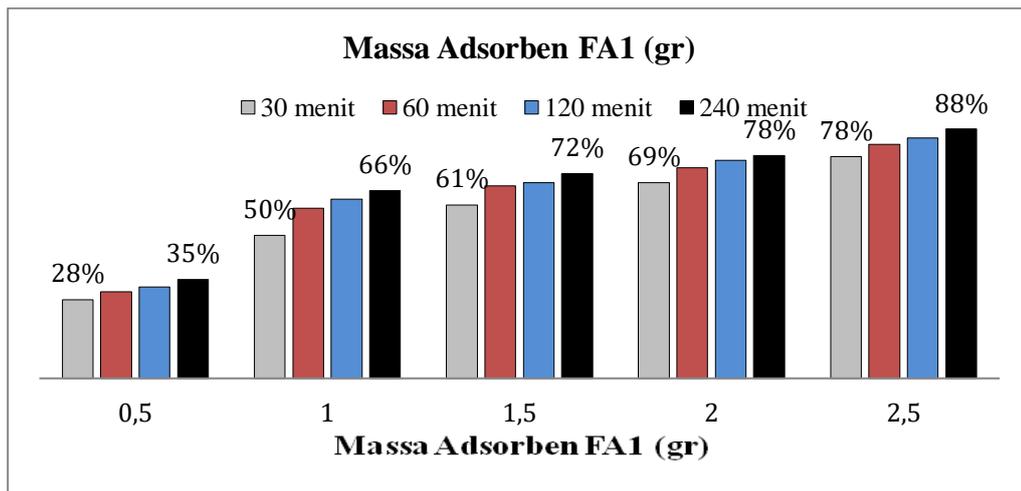


Gambar 4. Analisis EDS FA2

3.2 Penentuan Kondisi Optimum

Penentuan kondisi optimum dilakukan untuk mengetahui pengaruh massa adsorben terhadap waktu kontak dengan adsorbat dari POME. Perlakuan pertama dilakukan pada jenis adsorben FA1. Perolehan kondisi optimum berdasarkan variabel massa adsorben pada FA1, akan dilanjutkan untuk perlakuan pada FA2 sebagai pembanding. Percobaan adsorpsi dilakukan secara *batch*. Untuk mendapatkan nilai rata-rata kapasitas penyerapan dan efisiensi penyisihan COD percobaan dilakukan tiga kali terhadap POME dengan konsentrasi COD yang berbeda-beda yaitu 289 mg/L; 144 mg/L dan 96 mg/L. Hasil pengujian adsorpsi berdasarkan pengaruh massa *fly ash* dan waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan

kadar COD pada POME dapat dilihat pada Gambar 5. Secara berurutan kemampuan adsorben untuk penyisihan COD pada POME dari yang paling rendah hingga yang paling tinggi sebagai berikut : 0,5 gr < 1 gr < 1,5 gr < 2 gr < 2,5 gr, dimana masing-masing nilai efisiensi rata-rata pada waktu kontak 30 menit yaitu 28%; 50%; 61%; 69%; dan 78%, merupakan nilai paling rendah pada semua variasi massa. Sedangkan efisiensi paling tinggi yaitu 35%; 66%; 72%; 78%; dan 88% pada waktu kontak 240 menit.

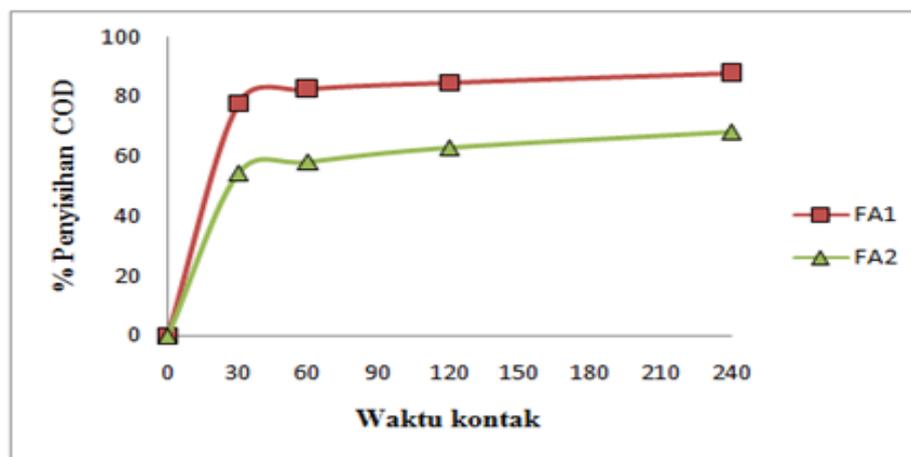


Gambar 5. Hubungan antara variasi massa adsorben FA1 terhadap nilai rata-rata efisiensi penyisihan COD

Jumlah adsorben yang kecil maka efisiensi menjadi kecil, karena jumlah partikel adsorben yang minim dalam lingkungan adsorbat yang besar mengakibatkan sebahagian partikel adsorbat tidak berinteraksi dengan permukaan adsorben meskipun banyak pori yang belum terisi sehingga efisiensi penyisihannya tidak optimal. Untuk mendapatkan kapasitas penyerapan yang efektif dengan hasil penyisihan yang tinggi perlu ditingkatkan jumlah massa adsorben hingga batasan yang ideal terhadap jumlah adsorbat. Pada penellitian sebelumnya yang telah dilakukan, bahwa *fly ash* dapat menurunkan parameter COD dalam limbah cair, namun agar lebih banyak COD yang terserap untuk mengoptimalkan proses adsorpsi maka massa *fly ash* harus ditingkatkan sehingga jumlah total luas permukaan untuk mengikat adsorbat dalam proses adsorpsi semakin luas.

3.3 Pengaruh Jenis Adsorben

Analisis terhadap dua jenis adsorben berdasarkan perbedaan metode aktivasi yaitu aktivasi secara fisika (FA1) dan aktivasi kimia (FA2) dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan adsorben terhadap penguraian konsentrasi COD dalam POME. Jumlah massa adsorben yang paling optimal mengurai COD pada analisis FA1 akan dibandingkan terhadap kemampuan adsorben FA2 dengan jumlah massa adsorben yang sama. Pada Gambar 6, terlihat bahwa jumlah COD yang teradsorpsi (%) pada FA1 dan FA2 semakin bertambah dengan semakin lamanya waktu adsorpsi hingga tercapai titik keseimbangan.



Gambar 6. Pengaruh jenis adsorben terhadap penyisihan COD

Pada grafik FA1 dan FA2 terlihat persentase COD yang teradsorpsi meningkat secara signifikan (78% dan 54%) pada waktu kontak 30 menit. Pengambilan sampel pada 60 menit, 120 menit, dan 240 menit, kedua jenis adsorben terjadi penyisihan COD secara perlahan-lahan dengan persentase masing-masing yaitu 82%, 85%, dan 88% untuk FA1, sedangkan untuk FA2 yaitu 58%, 63%, dan 68%.

Persentase penyisihan COD Kapasitas adsorpsi dari kedua jenis adsorben terlihat jelas bahwa, pada FA1 lebih tinggi dibandingkan dengan FA2. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh unsur C yang terkandung, dimana semakin tinggi persentasenya dalam *fly ash* kemampuan untuk mengadsorpsi semakin baik, terutama untuk menguraikan COD dalam POME. Aktivasi secara fisika dengan *heat treatment* di *tube furnace* pada suhu 450-550⁰C selama 1 jam dapat

meningkatkan kandungan karbon pada *fly ash* mencapai 22,62%, sedangkan pada aktivasi kimia kandungan karbon yang terdeteksi hanya 3,07%.

Selain karbon (C), kapasitas adsorpsi juga dipengaruhi kandungan silika (SiO_2) dan Alumina (Al_2O_3). Alasan *fly ash* digunakan sebagai adsorben yang potensial karena sebahagian besar tersusun atas oksida logam, terutama silika dan Alumina yang mempunyai gugus aktif. Namun, karena lapisan permukaan partikelnya berbentuk *glassy* yang sangat rapat dan stabil, maka langkah penting agar proses adsorpsi dapat berlangsung secara efektif yaitu melepas sebahagian silika dan aluminium dari *fly ash* sehingga gugus aktif menjadi amorf dan berpori (Ogata dkk, 2015). Penjelasan tersebut sesuai dengan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, dimana kapasitas adsorpsi FA1 lebih tinggi karena mengandung silika dan alumina yang lebih rendah dibandingkan dengan kandungan pada FA2 dan diperkuat oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Shaobin dan Hongwei (2006) dan Norris dkk (2015).

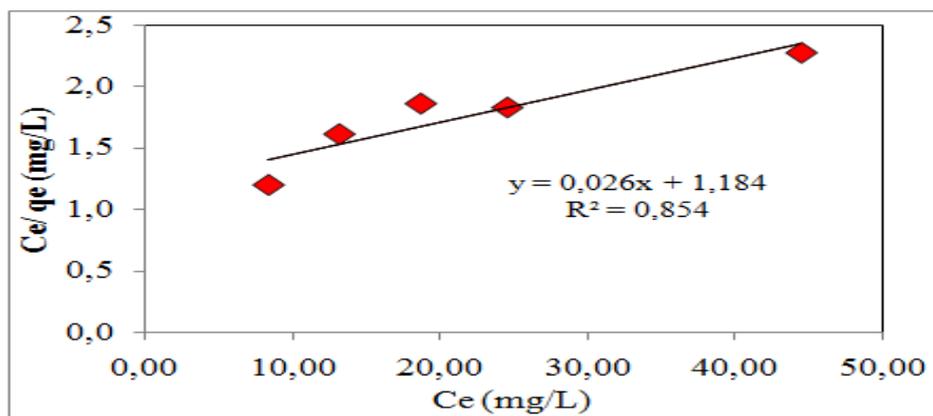
3.4 Isoterm Adsorpsi

Data yang analisis berdasarkan rumus empiris dari persamaan Langmuir dan Freundlich adalah konsentrasi COD pada POME setelah pengenceran (96 mg/L; 116 mg/L; 144 mg/L; 193 mg/L dan 28 mg/L) dan konsentrasi COD pada waktu mencapai kesetimbangan pada perlakuan dengan massa adsorben 2,5 gr dari kedua jenis adsorben.

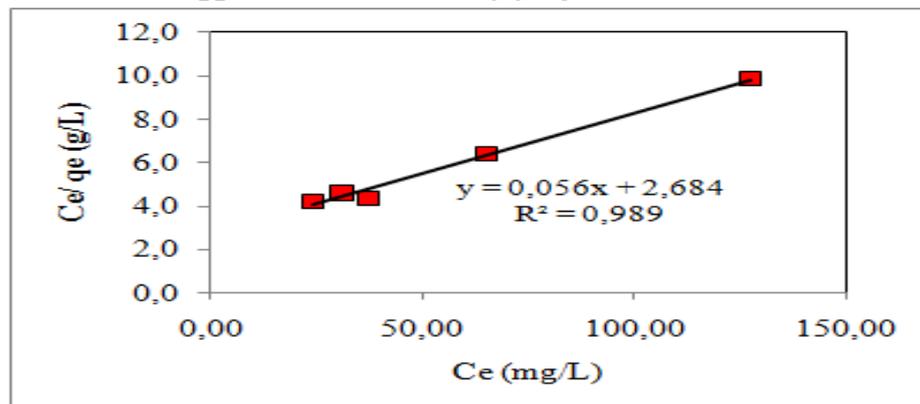
Isoterm adsorpsi Langmuir digunakan untuk menghitung jumlah adsorbat yang terserap pada permukaan adsorben pada suhu tertentu. Model ini menyatakan bahwa adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat untuk setiap adsorbennya, pada saat adsorpsi maksimum hanya terbentuk satu lapisan tunggal (*monolayer*), dan tanpa terjadi interaksi lateral antara molekul teradsorpsi. Pada model ini juga diasumsikan, pemakaian energi adsorpsi secara seragam pada permukaan dan tidak terjadi transmigrasi adsorbat (Bhagya dkk, 2016). Hubungan antara konsentrasi kesetimbangan dalam fasa cair (C_e) dengan konsentrasi kesetimbangan fasa padat

(C_e/q_e) terlihat dalam bentuk kurva linearitas. Grafik isotermal Langmuir dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.

Persamaan Isoterm adsorpsi Freundlich adalah menggambarkan adsorben mempunyai lebih dari satu lapisan permukaan (*multiayer*) dan situs-situs aktif pada permukaan yang bersifat heterogen, energi pengikat pada tiap-tiap sisi adsorpsi tidak seragam, sehingga setiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda (Ogata dkk, 2015). Grafik isotermal Freundlich dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10.



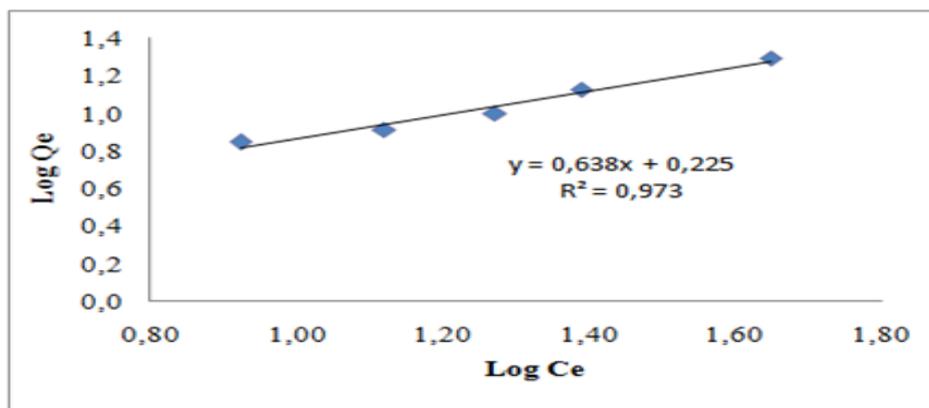
Gambar 7. Grafik Isoterm Langmuir untuk adsorpsi menggunakan FA1 Adsorpsi Menggunakan FA1 terhadap penyisihan COD



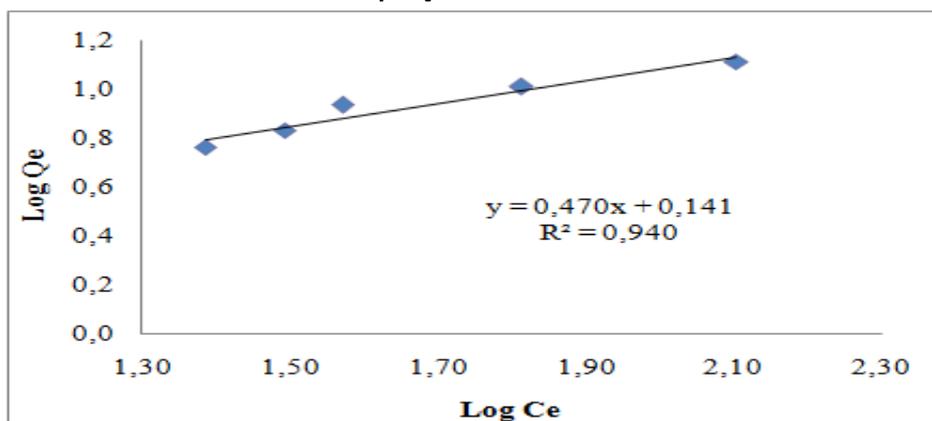
Gambar 8. Grafik Isoterm Langmuir untuk adsorpsi menggunakan FA2 terhadap Penyisihan COD

Pada FA1 terlihat koefisien korelasi dari Isoterm Freundlich (0,973) lebih tinggi dari model Langmuir (0,854). Oleh karena itu penentuan daya adsorpsi maksimum FA1 yaitu *fly ash* yang dikativasi secara fisika pada proses penyisihan COD pada POME di hitung dengan menggunakan persamaan Isoterm Freundlich.

Sedangkan pada FA2 yaitu *fly ash* yang diaktivasi secara kimia, mempunyai nilai koefisien korelasi yang lebih tinggi pada persamaan model Langmuir (0,989), maka jenis adsorben ini mengikuti persamaan isoterm Langmuir. Nilai q_{max} pada FA1 dari model kesetimbangan isoterm Langmuir mencapai 38,462 mg/g, lebih besar dari perolehan pada FA2 yaitu 17,857 mg/g, maka FA1 merupakan pemeran kapasitas adsorpsi yang baik untuk penyisihan COD pada POME.



Gambar 9. Grafik Isoterm Freundlich untuk adsorpsi menggunakan FA1 terhadap penyisihan COD



Gambar 10. Grafik Isoterm Freundlich untuk adsorpsi menggunakan FA2 Terhadap penyisihan COD

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan dari penelitian mengenai adsorben dari *fly ash* hasil pembakaran batubara di PLTU dalam menyisihkan COD pada POME, yaitu :

1. Proses adsorpsi semakin optimal dengan bertambahnya jumlah massa *fly ash* dan waktu kontak. Karena semakin banyak massa adsorben maka semakin luas permukaan yang dapat mengadsorpsi partikel adsorbat. Kemampuan adsorben dari yang paling rendah hingga yang paling tinggi secara berurutan dapat ditulis sebagai berikut : 0,5 gr < 1 gr < 1,5 gr < 2 gr < 2,5 gr. Bertambahnya waktu kontak maka semakin banyak senyawa COD yang teradsorpsi. Namun, seiring meningkatnya waktu adsorpsi kecepatan transfer massa semakin mengecil hingga mencapai kondisi kesetimbangan.
2. Efisiensi penyisihan COD dengan massa adsorben 2,5 gr pada waktu 30-240 menit terhadap FA1 diperoleh mencapai 78% - 88%, lebih tinggi dari yang teradsorpsi pada FA2 yaitu 54% - 68%.
3. Mekanisme adsorpsi dipelajari berdasarkan persamaan Langmuir dan Freundlich. Koefisien korelasi Isoterm Freundlich pada FA1 (0,973) lebih tinggi dari model Langmuir (0,854), untuk FA2 nilai yang lebih tinggi diperoleh pada persamaan Isoterm Langmuir (0,989).

5. Daftar Pustaka

1. Afrianita, R., Fitria, D., dan Sari, P.R., 2010. Pemanfaatan fly ash batu bara sebagai adsorben dalam penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) dari limbah cair domestik. No. 33, Vol.1, Thn. XVII April, 2010 ISSN 0854-8471: 81-93
2. David, B.J., Lalung, J., and Ismail Norli., 2014. *Biodegradation of palm oil effluent (POME) by bacterial*. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, Issue 3, March 2014. ISSN 2250-3153
3. Rompalski, P., Smolinski, A., Krzton, H., Gazdowicz, J., Howaniec, N., Rog, L., 2016. *Determination of mercury content in hard coal and fly ash using X-ray diffraction and scanning electron microscopy coupled with chemical analysis*, Arabian Journal of Chemistry (2016)
4. Norris, P., Hagan, S., Cohron, M., Zhao, H., Pan, Wei-ping., Kawang Li., 2015. *Application of fly ash as an adsorbent for Estradiol in animal waste*. Journal of environmental management, Volume 161, 15 September 2015, Pages 57–62
5. Ogata, F., Iwata, Y., Kawasaki, N., 2015. *Properties of novel adsorbent produced by hydrothermal treatment of waste fly ash in alkaline solution and its capability*

for adsorption of tungsten from aqueous solution. Journal of Environmental Chemical Engineering 3 (2015) 333–338

6. Shaobin, W dan Hongwei, Wu., 2006. *Environmental-benign utilisation of fly ash as low-cost adsorbents.* Journal of Hazardous Materials B136 (2006) 482–501
7. Singh, R.P, Ibrahim, M.H., Esa, N., Iliyana, M.S., 2010. *Composting of waste from palm oil mill: a sustainable waste management practice.* Rev Environ Sci Biotechnol (2010) 9:331–344. DOI 10.1007/s11157-010-9199-2
8. Yeong, Wu T., Abdul Wahab, Mohammad., Jamaliah Md. Jahim., Nurina Anuar., 2010. *Review Pollution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes.* Journal of Environmental Management 91 (2010) 1467e1490