



## Penyisihan COD dari Limbah Cair Kelapa Sawit menggunakan Nano Karbon Aktif

### Removal of COD from Palm Oil Mill Effluent (POME) by using Nano-Activated Carbon

Aris Munandar<sup>1</sup>, Syaifullah Muhammad<sup>2</sup>, dan Sri Mulyati<sup>2\*</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Magister Teknik Kimia, Program Pascasarjana, Universitas Syiah Kuala

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

\*E-mail: [sri.mulyati@unsyiah.ac.id](mailto:sri.mulyati@unsyiah.ac.id)

#### Abstrak

Limbah cair pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) merupakan sumber pencemar potensial yang dapat memberikan dampak serius terhadap lingkungan, sehingga diperlukan penanganan terhadap limbah cair tersebut melalui peningkatan teknologi pengolahan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghilangkan zat pencemar tersebut adalah dengan proses adsorpsi. Dalam penelitian ini, adsorben yang digunakan adalah karbon aktif dalam skala nanometer. Nano karbon diaktivasi secara fisika (kalsinasi) pada suhu 700°C. Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebelum dan setelah proses adsorpsi dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer. Penelitian ini dilakukan dengan variasi waktu kontak (0,5; 1; 2; 3; 4; dan 8 jam), dosis adsorben (0,25; 0,5; 1; dan 2 g), konsentrasi awal (47,60; 97,04; 193,84; dan 482,82 mg/L), ukuran adsorben (*nano* dan *mikron size*), dan jenis adsorben (nano karbon aktif dan nano zeolit). Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak, massa adsorben, jenis adsorben, dan konsentrasi awal sampel limbah mempengaruhi penyisihan COD. Waktu kontak yang optimal antara nano karbon aktif dengan COD adalah 4 jam dengan massa adsorben 2 g. Pada jumlah atau massa adsorben yang tetap (2 g) semakin tinggi konsentrasi awal COD di dalam sampel limbah maka persen penyisihan semakin kecil. Ukuran sampel pada skala nano memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan ukuran sampel pada skala mikron. Hasil penyisihan COD di dalam sampel limbah cair PMKS untuk nano karbon aktif lebih baik dibandingkan nano zeolit. Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) terlihat bahwa nano karbon aktif memiliki ukuran nanometer ( $10^{-9}$ ).

Kata Kunci: adsorpsi, COD, nano karbon aktif, Limbah cair PMKS.

#### Abstract

Palm Oil Mill Effluent (POME) is a potential source of contaminants that could cause serious impacts to environment, therefore proper treatment of the waste by advanced technology is required. Adsorption is one of the methods that can be employed to handle this issue. In this study, activated carbon in nano size was used as an adsorbent. Nano carbon was physically activated (calcinated) at a temperature of 700°C. COD concentration before and after adsorption was measured by means of Spectrophotometer. This research was conducted by varying contact time (0.5; 1; 2; 3; 4; and 8 hours), adsorbent dosage (0.25; 0.5; 1; dan 2 g), initial concentration 47.60; 97.04; 193.84; and 482.82 mg/L, adsorbent size (nano and micron size), and types of adsorbent (nano activated carbon and nano zeolit). Results showed that contact time, type and dose of adsorbent, as well as the initial concentration of sample did influence the removal of COD. The optimal contact time acquired for nano activated carbon with COD was 4 hours with adsorbent dosage of 2 g. At fixed dosage of adsorbent (2 g), the higher the concentration of COD in the sample, the smaller the removal percentage. Nano-sized adsorbents showed a far better performance than those in micron. From the results, it was shown that nano activated carbon obtained a higher COD removal rate compared to nano zeolit. Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis showed that the size of nano activated carbon were nanometer ( $10^{-9}$ ).

Keywords: adsorption, COD, palm oil mill effluent waste, nano activated carbon,.

### 1. Pendahuluan

Kelapa sawit adalah salah satu tanaman serbaguna yang hidup di daerah tropis. Kegunaan yang paling utama adalah sebagai sumber minyak mentah yang dapat

digunakan baik untuk kebutuhan manusia maupun bahan baku pembuatan biodiesel. Pada saat proses produksi minyak kelapa sawit mentah menghasilkan limbah dalam jumlah yang besar. Biasanya, untuk memproduksi satu ton minyak sawit mentah

membutuhkan 5–7,5 ton air, dimana lebih dari 50 % dari air tersebut akan menjadi limbah (Bala dkk., 2014). Cairan ini memiliki kekentalan yang tinggi, berwarna kecoklatan, berlumpur, memiliki suspensi koloidal yang tinggi, dan bau yang tidak sedap. Kandungan dari cairan limbah ini adalah air (95-96%), minyak (0,6–0,7%), total padatan sebesar 4-5% dan memiliki kandungan organik yang tinggi (COD sebanyak 53.630 mg/L, BOD 25.000 mg/L) (Azmi dan Yunos, 2014). Apabila limbah ini dibiarkan tanpa pengolahan lebih lanjut, akan berdampak buruk bagi lingkungan.

Selama beberapa dekade terakhir sejumlah metode telah diaplikasikan untuk mengolah limbah cair kelapa sawit, diantaranya dengan adsorpsi (Ahmad dkk., 2005), proses membran (Ahmad dkk., 2009), kombinasi ultrafiltrasi dan adsorpsi (Azmi dkk., 2014 dan Igwe dkk., 2010), elektro-koagulasi (Nasution dkk., 2011 dan Sayuti dkk., 2015), *ultrasonic membrane anaerobic system* (Abdurrahman dkk., 2013), dan elektroda poliakrilonitril (Baranitharan, 2013).

Di antara semua metode tersebut adsorpsi merupakan metode yang sangat umum digunakan karena memiliki kelebihan, yaitu konsepnya yang lebih sederhana dan juga ekonomis. Pada proses adsorpsi, adsorben memiliki peranan penting, karena dapat mempengaruhi efisiensi penyerapan dari senyawa yang akan dihilangkan (Tangio, 2013). Adsorben yang memiliki selektivitas dan kapasitas tinggi serta dapat digunakan secara berulang-ulang merupakan adsorben yang diinginkan. Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang sering digunakan (Holle dkk., 2013). Karbon aktif dapat dibuat dari semua bahan baku yang mengandung karbon, misalnya dari tumbuh-tumbuhan, binatang, maupun barang-barang tambang. Beberapa contoh bahan baku karbon aktif antara lain berbagai macam jenis kayu, sekam padi, tulang binatang, cangkang kelapa sawit, batu bara, tempurung kelapa, kulit biji kopi, dan lain-lain (Pambayun dkk., 2013).

Bimassa merupakan bahan baku yang paling banyak digunakan untuk pembuatan karbon aktif. Pengaktifan dilakukan dengan pemanasan pada suhu sekitar 600 sampai dengan 2000°C pada tekanan tinggi. Pada kondisi ini akan terbentuk rongga-rongga halus yang berjumlah sangat banyak, sehingga luas permukaan pada karbon tersebut menjadi besar. Karbon aktif mempunyai sifat sangat aktif dan menyerap apa saja yang kontak

dengannya baik dalam air maupun di udara (Tangkuman dan Aritonang, 2009).

Salah satu kelebihan karbon aktif yaitu memiliki luas permukaan yang sangat besar (Taba dkk., 2004). Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300 sampai 3500 m<sup>2</sup>/g (Jamilatun dan Setyawan, 2014), sehingga dinilai sangat baik dalam menyerap partikel-partikel yang sangat kecil yang berukuran 0,1-0,0000001 mm (Tangkuman dan Aritonang, 2009). Karbon aktif memiliki daya serap yang sangat besar, yaitu 25 hingga 100% terhadap massa karbon aktif (Meisrilestari dkk., 2013).

Dalam penelitian ini, karbon aktif yang digunakan dibuat dari bahan baku cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah padat pada pengolahan minyak kelapa sawit yang jumlahnya cukup besar, yaitu sekitar 60% dari produksi minyak kelapa sawit. Pembuatan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dilakukan melalui proses karbonisasi dan mengalami proses aktivasi (Widyastuti dkk., 2013). Dipilihnya cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku karbon aktif karena bahannya mudah didapatkan dan juga sebagai upaya pengelolaan terhadap limbah padat kelapa sawit. Kandungan arang yang besar pada bahan baku tersebut menjadi dasar yang sangat menentukan dalam pemilihan bahan baku pembuatan karbon aktif (Meisrilestari, 2013).

Karbon aktif yang digunakan berbentuk nanopartikel yang mempunyai ukuran sekitar 1–1000 nm (Kusumo, 2011). Ukuran nanopartikel yang semakin kecil akan memperluas ukuran kontak sehingga daya serapnya tinggi. Parameter polutan yang terkandung dalam limbah yang dikaji adalah COD. Pengaruh waktu kontak, konsentrasi awal sampel, dosis adsorben, ukuran adsorben, dan jenis adsorben terhadap penyisihan COD dipelajari dalam penelitian ini.

## 2. Metodologi

### 2.1. Preparasi dan Karakterisasi Adsorben

Bahan baku untuk karbon aktif adalah cangkang kelapa sawit yang diambil dari Perkebunan Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara I (Persero) Cot Girek Kabupaten Aceh Utara. Sebanyak 500 g cangkang kelapa sawit dimasukkan ke dalam kolom pirolisis dan diatur temperatur pada 600°C. Pirolisis dilakukan selama 3 jam. Setelah itu dilakukan

penghalusan hingga karbon berukuran <35 µm. Penghalusan ini bertujuan untuk memudahkan proses penghalusan ke ukuran nanometer. Penghalusan ke ukuran nanometer dilakukan selama 10 jam dengan menggunakan BallMill FRITSCH Fulverisitte, Germany. Setelah diperoleh ukuran nanometer selanjutnya dilakukan proses aktivasi secara fisika (kalsinasi). Proses ini dilakukan temperatur 700°C dan waktu selama 5 jam. Aktivasi bertujuan untuk menghasilkan karbon yang mempunyai daya serap lebih tinggi, memperbesar luas permukaan, menghasilkan karbon yang berpori, dan mengusir tar yang berada pada permukaan dan pori-pori karbon (Mifbakhuddin, 2010).

## 2.2. Karakterisasi Adsorben Nano Karbon Aktif

Karakterisasi terhadap Adsorben yang dilakukan adalah uji morfologi yang dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui struktur permukaan adsorben nano karbon aktif. Metode analisis SEM ini dilakukan dengan cara mengambil gambar morfologi permukaan nano karbon aktif dengan pembesaran 10.000 x dengan tegangan sebesar 20 kV.

## 2.3. Persiapan Limbah Cair PMKS

Limbah Cair PMKS diambil dari salah satu Pabrik Kelapa Sawit di Aceh Utara. Limbah cair ini disaring dan diendapkan selama beberapa hari dan dibuang kotoran yang mengapung. Selanjutnya limbah tersebut dilakukan analisa pendahuluan terhadap beberapa parameter meliputi parameter COD, BOD dan pH. Analisis dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer. Prosedur analisis COD dilakukan sesuai dengan SNI 6989.2:2009. Pada penelitian ini parameter yang ditinjau adalah COD. Untuk mengatur konsentrasi awal sampel, dilakukan 10 kali pengenceran dengan cara mengambil 10 ml cairan limbah hasil penyaringan dan menambahkan 90 ml air sehingga akan menghasilkan 100 ml cairan limbah.

## 2.4. Proses Adsorpsi Secara Batch

Proses adsorpsi dilakukan dengan cara memasukkan sebanyak 100 ml cairan limbah ke dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan adsorben. Selanjutnya dilakukan pengadukan dengan kecepatan 100 rpm selama 8 jam. Sebanyak 1 ml sampel limbah diambil pada interval waktu (0,5; 1; 2; 3; 4; dan 8) jam.

Selanjutnya sampel dianalisis konsentrasi COD.

Penyisihan COD dapat dihitung dengan persen penyisihan (*overall efficiency*). Persen penyisihan digunakan untuk menentukan kualitas air dengan membandingkan konsentrasi COD awal dengan konsentrasi COD setelah proses adsorpsi (Kasam dkk., 2005).

Persamaan persen penyisihan :

$$\text{Penyisihan (\%)} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

$C_0$  = Konsentrasi awal (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi akhir (mg/L).

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Kualitas Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit

Parameter lingkungan limbah cair pabrik minyak sawit tersebut yang diperiksa adalah COD, BOD, dan pH. Kualitas dari limbah cair pabrik minyak kelapa sawit tersebut dapat dilihat pada Tabel.1.

**Tabel 1.** Kualitas limbah cair pabrik minyak kelapa sawit.

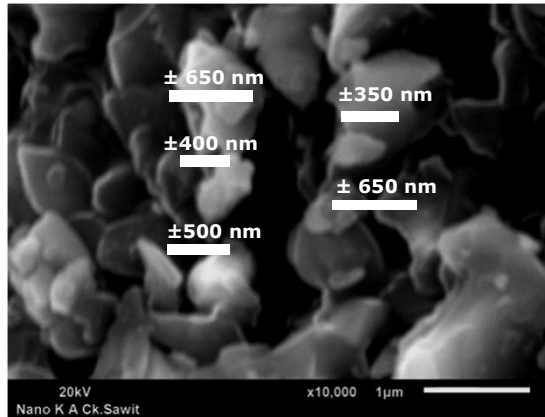
No	Parameter Lingkungan	Nilai	Satuan
1	COD	970,40	mg/L
2	BOD	45,45	mg/L
3	pH	7	-

Pada penelitian ini sampel limbah yang dianalisa diambil pada pengolahan limbah kolam terakhir, kandungan COD berkisar 970,040 mg/L. Meskipun sampel diambil dari limbah yang telah diolah kandungan COD masih di atas batas baku mutu yang dipersyaratkan. Baku mutu kandungan COD dari limbah cair yang boleh dibuang ke lingkungan menurut Permen LH No.5 Tahun 2014 sebesar 250 mg/L. Konsentrasi awal COD ini berbeda dengan yang dilaporkan oleh Azmi dkk, (2014), konsentrasi COD sebesar 53.630 mg/L dianalisa dari limbah yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit (belum dilakukan pengolahan). Untuk parameter BOD dan pH limbah cair ini sudah memenuhi baku mutu.

### 3.2. Karakterisasi Adsorben Nano Karbon Aktif

Hasil analisis SEM adsorben nano karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil analisis

memperlihatkan nano karbon aktif memiliki ukuran pada range nanometer ( $10^{-9}$ ). Bentuk permukaannya nano karbon aktif tidak merata, namun terlihat bahwa ukuran nanometer lebih dominan.



**Gambar 1.** Scanning Electron Microscopy dari Nano Karbon Aktif

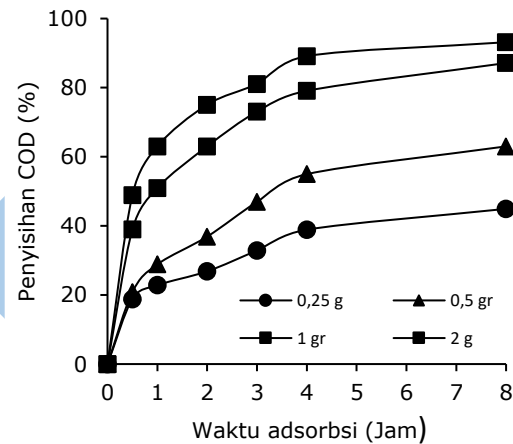
### 3.3. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penyisihan COD

Pengaruh waktu kontak terhadap penyisihan COD ditunjukkan pada Gambar 2. Dari Gambar terlihat bahwa adsorpsi senyawa COD dari limbah PMKS semakin meningkat dengan meningkatnya waktu kontak. Kecenderungan yang sama terlihat untuk semua massa adsorben yang divariasikan. Pada waktu 0 sampai 0,5 jam terlihat penyisihan COD lebih besar dibandingkan kenaikan interval waktu kontak selanjutnya, hal ini terjadi karena permukaan kontak adsorben yang digunakan masih besar sehingga daya serap COD juga besar.

Gani dan Widodo (2011) mengatakan apabila waktu kontak semakin lama, maka konsentrasi COD yang ada dalam limbah cair PMKS dapat melewati pori-pori lebih lama. Hal ini membuktikan bahwa semakin banyak pori-pori yang dapat dilewati, maka semakin besar penyerapan limbah cair PMKS dengan adsorben nano karbon aktif, sehingga konsentrasi COD yang diserap nano karbon aktif semakin banyak.

Waktu kontak yang optimal diperoleh adalah 4 jam. Setelah 4 jam kenaikan persen penyisihan tidak signifikan. Perlakuan adsorpsi dilakukan hingga 8 jam. Pada waktu kontak 8 jam ini adsorben sudah jenuh, sehingga apabila waktu ditambah tidak akan mempengaruhi persen penyisihan COD. Hal ini disebabkan karena kemampuan nano karbon aktif dalam menyerap COD berkurang.

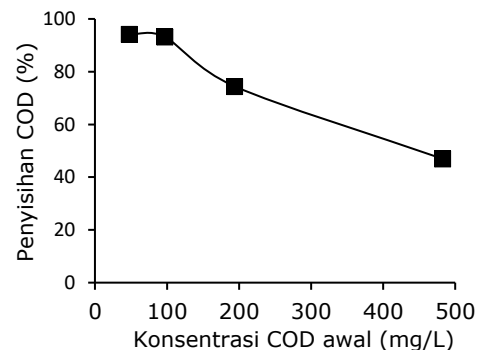
Penyebab berkurangnya kemampuan nano karbon aktif karena pori-pori pada permukaannya telah tertutup oleh molekul yang diserapnya (Kasam dkk., 2005). Tabakk (2004) mengatakan jumlah zat yang terserap cenderung menurun disebabkan karena telah jenuhnya semua pusat aktif yang terdapat pada permukaan adsorben.



**Gambar 2.** Pengaruh waktu kontak terhadap penyisihan COD: konsentrasi awal sampel 97,04 mg/L; volume sampel 100 ml; dosis adsorben 2 g; kecepatan pengadukan 100 rpm; pH larutan 7.

### 3.4. Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Penyisihan COD

Pengaruh konsentrasi awal terhadap persen penyisihan COD ditunjukkan pada Gambar 3. Pengamatan dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi awal sampel COD dengan 4 variasi konsentrasi COD yaitu 47,60; 97,04; 193,84; dan 482,82 mg/L.



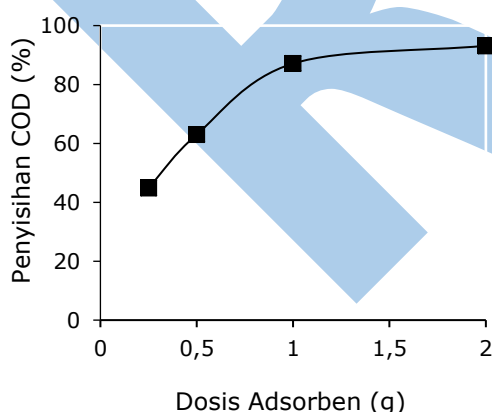
**Gambar 3.** Hubungan konsentrasi COD awal dengan penyisihan COD: waktu kontak 4 jam; volume sampel 100 ml

Kondisi perlakuan penelitian adalah menggunakan sampel 100 ml; kecepatan pengadukan 100 rpm; pH larutan 7; dosis adsorben 2 gram. Dari Gambar terlihat bahwa dengan memvariasikan konsentrasi COD dari

47,60-482,82 mg/L, persen penyisihan turun dari 94,22-46,93 %. Semakin tinggi konsentrasi COD pada larutan sampel, persen penyisihan yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini dikarenakan dosis adsorben yang tetap, sedangkan beban adsorbat yang harus diserap semakin besar. Hal ini menyebabkan persen penyisihan menjadi lebih rendah (Wardiyati dkk., 2010).

### 3.5. Pengaruh Dosis Adsorben terhadap Penyisihan COD

Studi tentang dosis adsorben sangat penting karena dosis adsorben memberikan sisi permukaan aktif untuk terjadinya proses penyerapan logam. Pengaruh variasi dosis adsorben terhadap penyisihan COD diilustrasikan pada Gambar 4. Variasi dosis adsorben yang dilakukan adalah 0,25; 0,5; 1; dan 2 g. Dari gambar terlihat bahwa persen penyisihan meningkat dengan meningkatnya dosis adsorben yang digunakan. Hal ini disebabkan karena semakin banyak dosis nano karbon aktif yang digunakan, konsentrasi COD yang diserap oleh nano karbon aktif juga akan semakin banyak (Gani dan Widodo, 2011). Variasi dosis adsorben yang digunakan juga berpengaruh terhadap luas bidang kontak antara adsorben dengan adsorbat (Mardina, dkk., 2012). Peningkatan jumlah dosis adsorben yang digunakan akan meningkatkan jumlah permukaan kontak adsorben sehingga proses penyerapan akan menjadi lebih baik.

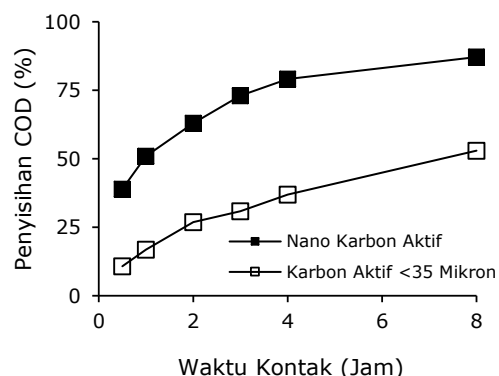


**Gambar 4.** Pengaruh dosis adsorben terhadap penyisihan COD: waktu kontak 4 jam; volume sampel 100 ml; kecepatan pengadukan 100 rpm; pH larutan 7

### 3.6. Pengaruh Ukuran partikel Adsorben terhadap penyisihan COD

Pengaruh ukuran adsorben dilakukan dengan memvariasikan karbon aktif dalam ukuran nanometer dan <35. Pengaruh ukuran

adsorben terhadap penyisihan COD ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Hubungan ukuran adsorben terhadap penyisihan COD: volume sampel 100 ml; kecepatan pengadukan 100 rpm; pH larutan 7; dosis adsorben 2 gram

Hasil penelitian memperlihatkan efisiensi penyerapan COD pada ukuran nano lebih tinggi dibandingkan ukuran <35 mikron. Adsorpsi selama 4 jam oleh nano karbon aktif dapat menyisihkan COD sebesar 87,12%, sedangkan karbon aktif ukuran mikron (<35 $\mu$ ) hanya mampu menghilangkan COD sebanyak 52,9%. Hal ini disebabkan luas permukaan kontak antara adsorben dengan COD yang dimiliki nano karbon aktif lebih besar dibandingkan luas permukaan yang dimiliki karbon aktif ukuran mikron (<35 $\mu$ ). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yakni Emilia (2011) yang menyatakan bahwa karena ukurannya yang kecil, nanopartikel memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel sejenis dalam ukuran besar. Ini membuat nanopartikel bersifat lebih reaktif.

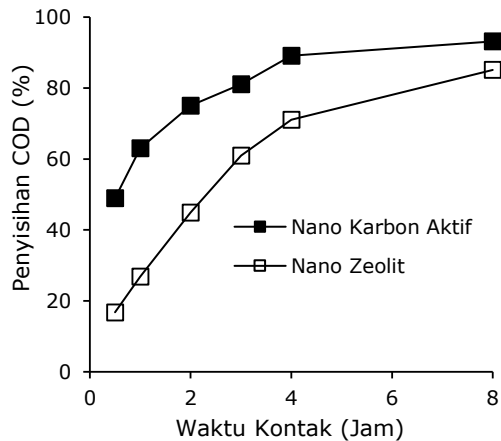
Nanopartikel mempunyai beberapa kelebihan, antara lain kemampuannya yang dapat menembus berbagai ruang yang tidak dapat ditembus oleh partikel berukuran besar, kemampuan untuk menembus dinding selnya lebih tinggi dan fleksibilitasnya yang dapat digabungkan dengan berbagai teknologi lain yang akan membuka potensi yang besar untuk dikembangkan pada berbagai keperluan dan tujuan. Kelebihan lainnya yaitu adanya peningkatan afinitas dari sistem karena peningkatan luas permukaan kontak pada jumlah yang sama (Martein dkk., 2012).

### 3.7. Pengaruh Jenis Adsorben terhadap Penyisihan COD

Pengamatan pengaruh jenis adsorben terhadap efisiensi penyisihan COD dilakukan dengan 2 variasi jenis adsorben (nano karbon



aktif dan nano zeolit). Pengaruh tersebut diperlihatkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Pengaruh jenis adsorben terhadap penyisihan COD. waktu kontak 4 jam; volume sampel 100 ml; kecepatan pengadukan 100 rpm; pH larutan 7

Hasil penelitian menunjukkan penyerapan COD dengan menggunakan nano karbon aktif lebih baik dibandingkan menggunakan nano zeolit. Apabila kita tinjau pada penyerapan selama 8 jam nano karbon aktif mampu menyisihkan COD sebesar 93,15% removal, sementara nano zeolit hanya mampu menyisihkan COD sebesar 85,11% removal. Luas permukaan yang besar, distribusi ukuran pori yang luas serta permukaan yang bersifat hidrofobik menguntungkan bagi karbon aktif dalam menyerap polutan organik yang bersifat non polar (Azhar Dkk.,2010)

### Kesimpulan

Penggunaan adsorben nano karbon aktif dari cangkang sawit untuk menyisihkan senyawa COD dalam limbah cair kelapa sawit telah dipelajari. Karakteristik hasil adsorpsi dipengaruhi oleh waktu kontak, konsentrasi awal sampel, dosis adsorben, ukuran partikel adsorben, serta jenis adsorben yang digunakan. Kondisi operasi yang paling optimal diperoleh adalah sebagai berikut; waktu kontak 4 jam dan dosis adsorben 2 g. Ukuran partikel nano karbon aktif lebih efektif dalam menyisihkan senyawa COD yang terdapat dalam limbah cair kelapa sawit dibandingkan ukuran <math>35\mu</math>. Sementara apabila dibandingkan antara nano karbon aktif dengan nano zeolit, efisiensi penyisihan nano karbon aktif lebih baik dibandingkan nano zeolit.

### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DIKTI yang telah membiayai penelitian ini

melalui Program Hibah DIKTI penelitian nasional Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) Tahun Anggaran 2014.

### Daftar Pustaka

- Abdurahman, N.H., Azhari, N.H., Rosli, Y.M. (2013) Ultrasonic Membrane Anaerobic System (UMAS) for Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment, *International Perspectives on Water Quality Management and Pollutant Control*, Dr. Nigel W.T. Quinn (Ed.), InTech Chapters published, 107-121.
- Ahmad, A. I., Chan, C.Y. (2009) Sustainability of palm oil industries: an innovative treatment via membrane technology, *Journal of Applied Sciences*, 9(17), 3074-3079.
- Ahmad, A. L., Bhatia, S, Ibrahim, Sumathi, S. (2005) Adsorption of residual oil from palm oil mill effluent using rubber powder, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22(12), 371-379.
- Azhar, A.H., Hamidi, A.A., Megat, A.A.M.J., Kamar, S.A. (2010). Comparison study of ammonia and COD adsorption on zeolite, activated carbon and composite materials in landfill leachate treatment, *Desalination*, 262, 31-35.
- Azmi, N.S., Yunos, K.F. (2014) Wastewater Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) by Ultrafiltration Membrane Separation Technique Coupled with Adsorption Treatment as Pre-treatment, *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2, 257-264.
- Bala, J.D., Lalung, J.,Ismail, N. (2014) Palm oil mill effluent (POME) treatment "Microbial communities in an anaerobic digester": A Review, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(6), 1-24.
- Baranitharan E., Maksudur R.K., Prasad, D, M, R. (2013). Treatment of palm oil mill effluent in microbial fuel cell using polyacrylonitrile carbon felt as electrode. *Journal of Medical and Bioengineering*, 2(4), 252-256.
- Emilia, C.W. (2011) Penggunaan kitosan nanopartikel sebagai adsorben pada limbah cair industri benang karet untuk menurunkan kadar ion logam Zn dan Na, nilai COD, BOD<sup>5</sup>, TSS, dan TDS,

- M.S. Tesis Magister Ilmu Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Gani, M.U.A., Widodo (2011) Percobaan penyerapan limbah industri menggunakan karbon aktif dari batubara Tanjung Tabalong, Kalimantan Selatan, *Jurnal Geologi Indonesia*, 6(4), 239-248.
- Holle, R.B., Wuntu, A.D., Sangi, M.S. (2013) Kinetika adsorpsi gas benzena pada karbon aktif tempurung kelapa, *Jurnal MIPA UNSRAT Online*, 2(2), 100-104.
- Igwe, J.C.I., Onyegbado C.O., Abia A.A. (2010) Adsorption isotherm studies of BOD, TSS and colour reduction from palm oil mill effluent (POME) using boiler fly ash, *Eclética Química*, 35, 195-208.
- Jamilatun, S., Setyawan, M. (2014) Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan aplikasinya untuk penjernihan asap cair, *Spektrum Industri*, 12(1), 83-73.
- Kasam, A.Y., Sukma, T. (2005) Penurunan COD (*Chemical Oxygen Demand*) dalam limbah cair laboratorium menggunakan filter karbon aktif arang tempurung kelapa, *Logika*, 2(2), 3-17.
- Kusumo, D.E. (2011) Preparasi nanopartikel Titania Menggunakan Aseton Beramonia Sebagai Media Reaksi Serta Hasil Karakterisasinya, *Tesis*, Program Studi Magister Ilmu Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok.
- Mardina, P., Faradina, E., Setiawati, N. (2012) Penurunan angka asam pada minyak jelantah, *Jurnal Kimia*, 6(2), 196-200.
- Martien, R., Adhyatmika., Irianto, I.D.K., Farida, V., Sari, D.P. (2012) Perkembangan teknologi nanopartikel sebagai sistem penghantaran obat, *Majalah Farmaseutik*, 8(1), 133-144.
- Meisrilestari, Y., Khomaini, R., Wijayanti, H. (2013) Pembuatan arang aktif dari cangkang kelapa sawit dengan aktivasi secara fisika, kimia dan fisika-kimia, *Konversi*, 2(1), 46-51.
- Mifbakhuddin (2010) Pengaruh ketebalan karbon aktif sebagai media filter terhadap penurunan kesadahan air sumur artesis, *Eksplanasi*, 5(2), 1-11.
- Nasution, M.A., Yaakob, Z., Ali, E., Tasirin, S.M., Abdullah, S.R. (2011) Electrocoagulation of palm oil mill effluent as wastewater treatment and hydrogen production using electrode aluminum, *Journal of Environmental Quality*, 40(4), 1332-1339.
- Pambayun, G.S., Yulianto, R.Y.E., Rachimoellah, M., dan Putri, E.M.M. (2013) Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator  $ZnCl_2$  dan  $Na_2CO_3$  sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah, *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), F116-F120.
- Ristiana, N., Astuti, D., Kurniawan, T.P. (2009) Keefektifan ketebalan kombinasi zeolit dengan arang aktif dalam menurunkan kadar kesadahan air sumur di Karang Tengah Weru Kabupaten Sukoharjo, *Jurnal Kesehatan*, 2(1), 91-102.
- Sayuti, S. C., Azoddein, A.A.M. (2015) Treatment of palm oil mill effluent (POME) by using electrocoagulation as an alternative method, *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 19(4), 663-668.
- Taba, P., Hala, Y., dan Nashriah (2004) Sintesis karbon mesopori, Cmk-1 dan potensi adsorpsinya atas surfaktan di perairan, *Marina Chimica Acta*, 5(1), 16-22.
- Tangio, J.S. (2013) Adsorpsi logam timbal (Pb) dengan menggunakan biomassa enceng gondok (*Eichhorniacrassipes*), *Jurnal Entropi*, 8(1), 500-506.
- Tangkuman, H.D., Aritonang, H.F. (2009) Perbandingan kualitas karbon aktif yang dibuat dari batok kelapa hibrida dan batok kelapa dalam, *Chemical Progress*, 2(1), 29-32.
- Wardiyati, S., Sulungbudi, G.T., Ridwan (2010) Adsorpsi ion  $Pb^{2+}$  dan  $Ni^{2+}$  oleh nanopartikel  $\gamma-Fe_2O_3/Fe_3O_4$ , *Jurnal Sains Materi Indonesia (Indonesian Journal of Materials Science)*, 11(2), 83-87.
- Widyastuti, A., Sitorus, B., dan Jayuska, A. (2013) Karbon aktif dari limbah cangkang sawit sebagai adsorben gas

dalam biogas hasil fermentasi anaerobik sampah organik, *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 2(1), 30-33.

RKWL