

## Pemanfaatan *Activated Carbon* dalam Meningkatkan Fungsi Koagulan untuk Pengolahan POME (*Palm Oil Mill Effluent*)

Cindy Stefany<sup>a</sup>, David Andrio<sup>b</sup>, Said Zulamraini<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

<sup>b</sup>Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

<sup>c</sup>Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

### INFO ARTIKEL

### ABSTRACT

*POME is a colloidal suspension containing 95-96% water, 0.6-0.7% oil and 4-5% total fat and solids. POME waste treatment is carried out development by a combined method of adsorption and coagulation. This study aims to determine variations in the concentration of activated carbon and coagulants against the removal of COD and TSS from POME treatment water discharges and determine the optimum conditions of the combined process of adsorption and coagulation to the reduction of the resulting COD and TSS concentrations. POME materials are measured first pH, TSS and COD values before being treated. POME treatment with a combined method of adsorption and coagulation is carried out by adding activated carbon (3; 6; 9 mg / L) and PAC (0.2; 0.55; mg / L) at room temperature (25 ° C) for 20 minutes for the adsorption process and 1 minute for the coagulation process. The contact time lasts for 30 minutes, the optimization of process conditions is determined by response surface methodology (RSM). Parameters tested include TSS and COD levels. The factor that has the most significant influence on the COD response is activated carbon levels, and the factor that has the most significant influence on the TSS response is PAC. Optimum process conditions were obtained at activated carbon levels of 9 mg / L and PAC of 0.69 mg / L with a response of COD 430.272 mg / L and TSS 297.941 mg / L.*

Keywords:

Activated carbon, COD, PAC, RSM and TSS

\*corresponding author:

Email: [cindystf@gmail.com](mailto:cindystf@gmail.com)

## 1. PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi perkebunan terbesar di Indonesia yang produksinya menghasilkan limbah padat dan cair. Jenis limbah yang banyak dihasilkan pabrik kelapa sawit ialah Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit (LCPKS) atau Palm Oil



Mill Effluent (POME). POME adalah suspensi koloid yang mengandung 95-96% air, 0,6-0,7% minyak dan 4-5% lemak dan padatan total. POME dikeluarkan dari industri berupa cairan coklat dengan suhu debit antara 80 °C dan 90 °C dan nilai pH kisaran 4,56 – 4,98. Pengolahan POME di Indonesia pada umumnya menggunakan sistem kolam terbuka, dengan pertimbangan keekonomisan dan kemudahan pengoperasian. Secara umum sistem ini melalui empat kolam yaitu kolam lemak (fat pit), kolam pendinginan (cooling pond), kolam pembusukan (anaerobik pond) dan kolam pematangan limbah (maturity pond). Beberapa perusahaan seringkali menambah jumlah kolam dengan tujuan mendapatkan limbah dengan kandungan bahan pencemar yang sesuai baku mutu limbah yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Setelah melalui tahapan tersebut, limbah dapat dibuang ke badan air.

Pengolahan buangan akhir POME dari hasil limbah produksi *crude palm oil* (CPO) belum optimal, hal ini masih jauh dari standar baku mutu kualitas air golongan 3 lampiran V PPRI no 2 tahun 2021. Sehingga dilakukan upaya pengolahan POME yang efisien dan ramah lingkungan yaitu dengan metode adsorpsi dan koagulasi. Metode adsorpsi dan koagulasi menggunakan adsorben dan koagulan arang aktif dan *poly aluminium chloride* (PAC). Arang aktif berperan dalam menyerap komponen-komponen kimia berbahaya yang terlarut dalam limbah cair, sehingga menurunkan kandungan COD dan BOD yang terlarut, akan tetapi tidak mampu menyerap partikel-partikel koloid yang mengakibatkan kadar TSS dalam limbah tidak berkurang signifikan, sehingga dibutuhkan agent koagulan. Agent koagulan berfungsi mengikat partikel koloid yang tersebar didalam limbah hingga membentuk flok-flok dan dikarenakan perbedaan berat jenis, flok-flok tersebut akan mengendap didasar limbah dan dapat dipisahkan. Proses tersebut mengakibatkan kadar TSS limbah menjadi lebih rendah. limbah cair aman untuk dibuang ke badan lingkungan. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, akan diteliti efektivitas proses adsorpsi dan koagulasi untuk mengolah buangan akhir POME agar didapatkan kualitas air untuk kebutuhan industri yang merujuk pada kualitas air golongan 3 lampiran V PPRI no 2 tahun 2021 dalam jangka waktu tertentu dengan komposisi yang berbeda.

Penggunaan arang aktif dan PAC sebagai bahan adsorpsi dan koagulasi mampu menyisihkan COD dan TSS sebesar 87% dan 93,3% (Suryanti et al., 2019; Bagaswara et al., 2017; dan Nurhayati et al., 2018). Penggunaan karbon aktif sebagai adsorber dalam menyisihkan COD dan TSS yang paling optimum berkisar kadar 3-15 (Devi et al., 2008; Mahir et al., 2015 dan Pedro et., et al., 2020), dan penggunaan PAC sebagai koagulan paling optimum berkisar 0,2-0,9 mg/L POME (Othman et al., 2013). Berbagai bahan adsorpsi dan koagulasi telah digunakan, hanya saja bahan yang mampu menyisihkan COD dan TSS secara optimum yaitu arang aktif dan PAC. Disamping itu, penggunaan arang aktif dan PAC sebagai bahan treatment POME tidak memerlukan waktu kontak yang lama dalam menurunkan kadar COD dan TSS.

Karbon aktif yang umum digunakan sebagai bahan adsorben terbagi menjadi dua berdasarkan ukuran partikel, yaitu granular dan powder. Arang aktif powder memiliki kelebihan luas permukaan kontak persatuan berat sangat besar dan tidak memerlukan penambahan alat lagi karena karbon akan mengendap bersama lumpur yang terbentuk. Disamping keunggulan penggunaan karbon aktif powder, terdapat beberapa kekurangan dalam penggunaannya sebagai adsorber, diantaranya sulit diregenerasi, biaya operasionalnya mahal dan terjadi penyumbatan pada proses pemisahan filtrat dengan padatan. Begitu juga dengan arang aktif granular yang memiliki kelebihan dibagian pengoperasiannya yang mudah karena air mengalir dalam media karbon dan mudah diregenerasi. Sedangkan kekurangannya memerlukan unit pengolah kembali yaitu filter dan luas permukaan kontak lebih kecil.

PAC (*Poly Aluminium Chloride*) adalah suatu persenyawaan anorganik kompleks, ion hidroksil serta ion aluminium bertarap klorinasi yang berlainan sebagai pembentuk *polynuclear*. Adapun keunggulan penggunaan PAC dibandingkan koagulan yang lain yaitu PAC dapat bekerja di tingkat pH yang lebih luas, dengan demikian tidak diperlukan pengoreksian terhadap pH, terkecuali bagi air tertentu, kandungan belerang dengan dosis cukup akan mengoksidasi senyawa karboksilat rantai

siklik membentuk alifatik dan gugusan rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan sederhana sehingga mudah diikat membentuk flok, PAC lebih cepat membentuk flok daripada koagulan biasa ini diakibatkan dari gugus aktif aluminat yang bekerja efektif dalam mengikat koloid yang ikatan ini diperkuat dengan rantai polimer dari gugus polielektrolite sehingga gumpalan floknya menjadi lebih padat, penambahan gugus hidroksil kedalam rantai koloid yang hidrofobik akan menambah berat molekul, sehingga jika ukuran kolam pengendapan lebih kecil atau terjadi over-load bagi instalasi yang ada, kapasitas produksi relatif tidak terpengaruh (zikri et al., 2016).

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Alat dan Bahan

Pembuatan sampel membutuhkan peralatan sebagai berikut: alat uji *jar test* (JLT6, VELP Scientifica), gelas kimia 500 mL, gelas ukur 100 mL, neraca analitik, kertas saring dan cawan penguap. Sedangkan dalam pengujian sampel POME hasil *treatment* membutuhkan alat sebagai berikut, pH meter, satu unit alat pengujian TSS (gravimetri, gelas beaker, kertas saring dan gelas ukur), oven, satu unit alat pengujian COD. Bahan yang digunakan dalam pembuatan sampel penelitian ini yaitu, limbah POME dari PT. PN V Sungai Galuh dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1, arang aktif spesifikasi pro analis, akuades dan PAC spesifikasi pro analis dari distributor *BRATACHO*, Provinsi Riau.

**Tabel 1.** Spesifikasi Limbah POME

| Karakteristik    | Standar Uji      | Hasil Uji |
|------------------|------------------|-----------|
| pH               | SNI 6989.11:2019 | 7         |
| COD total (mg/l) | SM 5220 C        | 750       |
| TSS (mg/l)       | SM 2540 D        | 1000      |

## 2.2 Metodologi

### 2.2.1 Rancangan Percobaan

Pada rancangan percobaan *Central Composite Design*, nilai aktual dari variabel berubah yang dapat kita sebut variabel proses ( $\xi_i$ ), dengan 2 variabel independen, yang memiliki nilai rotatabilitasnya ( $\alpha$ ) =  $(22)/4 = 1,414$ . Oleh karena itu, nilai  $\pm 1,414$  termasuk ke dalam nilai yang digunakan dalam pengkodean (Montgomery, 1991). Adapun tempuhan rancangan percobaan dapat dilihat pada Tabel 2. berikut.

**Tabel 2.** Tempuhan Rancangan Percobaan

| Run | Natural Variables |             | Response |     |
|-----|-------------------|-------------|----------|-----|
|     | $\xi_1$ (%)       | $\xi_2$ (%) | Y1       | Y2  |
| 1   | 6                 | 0,55        | 550      | 500 |
| 2   | 9                 | 0,2         | 400      | 400 |
| 3   | 6                 | 1,04        | 500      | 200 |

|    |       |      |     |     |
|----|-------|------|-----|-----|
| 4  | 6     | 0,55 | 500 | 500 |
| 5  | 6     | 0,55 | 525 | 500 |
| 6  | 1,76  | 0,55 | 625 | 800 |
| 7  | 3     | 0,9  | 575 | 600 |
| 8  | 6     | 0,55 | 575 | 600 |
| 9  | 10,24 | 0,55 | 375 | 200 |
| 10 | 6     | 0,55 | 550 | 600 |
| 11 | 6     | 0,06 | 600 | 700 |
| 12 | 3     | 0,2  | 600 | 700 |
| 13 | 9     | 0,9  | 425 | 300 |

Keterangan :

- $\xi_1$  = Kadar Arang Aktif (% b)
- $\xi_2$  = Kadar PAC (% b)
- Y1 = COD (Mpa)
- Y2 = TSS

### 2.2.2 Treatment POME (Adsorpsi dan Koagulasi)

Proses adsorpsi senyawa pengotor dalam POME berlangsung dengan menggunakan karbon aktif dan proses koagulasi partikel pengotor dengan menggunakan PAC. Dosis PAC yang digunakan dengan rentang 0,2-0,9 gr/l dan Karbon Aktif sebesar 3-9 gr/l. Proses pencampuran berlangsung dalam kondisi pH alami dari air limbah buangan pengolahan POME sebesar 7,26, sehingga tidak memerlukan penyesuaian karena PAC dan karbon aktif dapat bekerja secara efektif pada rentang pH 5,0 – 8,0 (Khellouf, 2021). Kondisi proses operasi yang digunakan yaitu pengadukan dan pengendapan. Kondisi proses Pengadukan akan dilakukan dengan 2 cara yaitu pengadukan khusus adsorpsi sebelum ditambahkan koagulan dan adsorpsi-koagulasi setelah koagulan ditambahkan. Adsorpsi diaduk dengan kecepatan 150 rpm selama 20 menit dan setelah diaduk dengan kecepatan 20 rpm selama 20 menit. Lama pengendapan atau kontak langsung 30 menit.

### 2.2.3 Pengujian Karakteristik POME setelah Treatment (COD dan TSS)

Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah COD total dengan metode SM 5220 C, *suspended solid* dengan metode SM 2540 D. Analisis dilakukan setelah dilakukan treatment POME terhadap kombinasi penambahan dosis karbon aktif powder dan dosis PAC menggunakan *jar test*. Data analisa setiap parameter yaitu COD dan TSS yang diperoleh dari setiap proses pelaksanaan dengan metode Standar Mutu Parameter dimasukkan kedalam table menggunakan software *design expert* dengan metode RSM untuk selanjutnya diolah data ke dalam beberapa grafik penyisihan COD dan TSS terhadap dosis adsorber dan koagulan, nilai optimum penyisihan konsentrasi COD dan TSS terhadap kombinasi dosis karbon aktif dan PAC.



### 3. PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengaruh PAC dan Karbon Aktif terhadap Penyisihan COD dan TSS

Perubahan warna sampel POME setelah ditreatment secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.1. Perbedaan warna sampel POME sebelum ditreatment dengan metode koagulasi dan adsorpsi cukup jauh berbeda dari sampel setelah ditreatment. Hal ini dikarenakan adanya proses penyerapan senyawa lignin, tanin, asam humat, krotan dan senyawa organik lainnya selama proses pengadukan berlangsung (Shavandi dkk., 2012; Zonoozi dkk., 2009).

Proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses molekul-molekul material menempel pada permukaan zat penyerap akibat gaya van der Waals dan ikatan kimia pada permukaan zat padat. Pada adsorpsi, interaksi antara adsorben dengan adsorbat hanya terjadi pada permukaan adsorben. Molekul yang terikat pada bagian antarmuka disebut adsorbat, sedangkan permukaan yang menyerap molekul-molekul adsorbat disebut adsorben seperti zeolit, karbon aktif, silika, dan porous clay.

Tabel 4.1 menampilkan data hasil analisa POME setelah ditreatment dengan metode adsorpsi (arang aktif) dan koagulasi (PAC) terhadap konsentrasi COD dan TSS. Berdasarkan Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa konsentrasi arang aktif dalam POME yang ditingkatkan mampu menghasilkan COD terendah dan begitu juga dengan konsentrasi PAC dalam POME yang ditingkatkan mampu menghasilkan %TSS terendah. Hal ini dikarenakan arang aktif pada POME hanya berfungsi sebagai menyerap senyawa-senyawa organik dan non-organik dalam tingkat molekul, sedangkan PAC dalam POME berfungsi mengikat partikel-partikel hingga membentuk flok-flok dan mengendap didasar POME berdasarkan perbedaan densitas.



**Gambar 1.** Tampilan Visual Sampel POME Sebelum Ditreatment dengan Setelah Ditreatment

Hasil penelitian treatment limbah POME dengan metode koagulasi dan adsorpsi berupa nilai COD dan TSS berbagai kondisi proses dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Analisa untuk Kualitas Limbah POME setelah Ditreatment

| Run | Variabel Operasi              |                       | COD (mg/L) | TSS (mg/L) |
|-----|-------------------------------|-----------------------|------------|------------|
|     | Konsentrasi Arang Aktif (g/L) | Konsentrasi PAC (g/L) |            |            |
| 1   | 6                             | 0,55                  | 500        | 500        |
| 2   | 9                             | 0,2                   | 400        | 400        |
| 3   | 6                             | 1,04                  | 500        | 200        |
| 4   | 6                             | 0,55                  | 500        | 500        |

|    |       |      |     |     |
|----|-------|------|-----|-----|
| 5  | 6     | 0,55 | 525 | 500 |
| 6  | 1,76  | 0,55 | 625 | 800 |
| 7  | 3     | 0,9  | 575 | 600 |
| 8  | 6     | 0,55 | 575 | 600 |
| 9  | 10,24 | 0,55 | 375 | 200 |
| 10 | 6     | 0,55 | 550 | 600 |
| 11 | 6     | 0,06 | 600 | 700 |
| 12 | 3     | 0,2  | 600 | 700 |
| 13 | 9     | 0,9  | 425 | 300 |

### 3.2 Pengaruh Kondisi Proses terhadap COD

Persamaan model yang didapatkan mengidentifikasi perubahan nilai COD terhadap kondisi proses dan persamaan disederhanakan dengan mengeliminasi parameter non-signifikan. Rangkuman hasil analisis statistik yang menandakan kecukupan model dengan *p-value* bernilai <0,05 dapat dilihat pada Table 4.

**Tabel 4.** Analysis of Variance COD

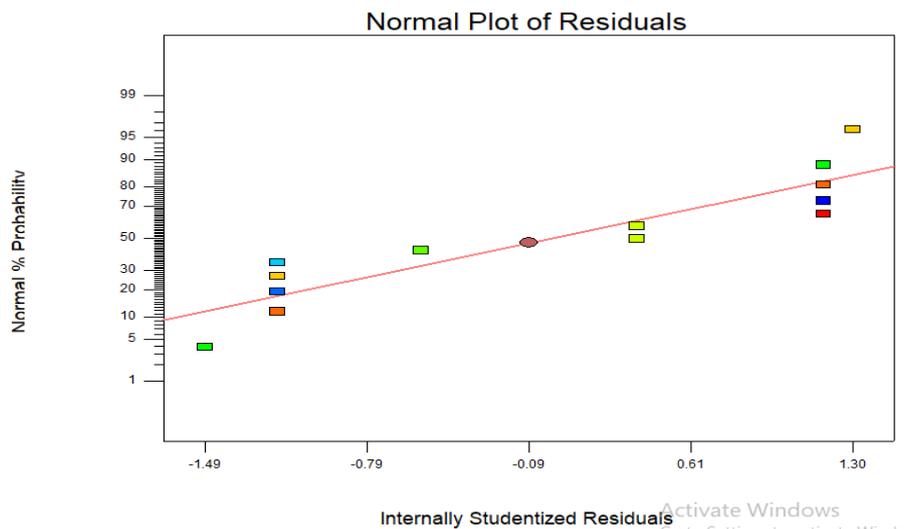
| Source                  | Sum of Squares | df | Mean Square | F Value  | p-value Prob > F |                 |
|-------------------------|----------------|----|-------------|----------|------------------|-----------------|
| Model                   | 72326,92       | 7  | 10332,42    | 11,48    | 0,0081           | significant     |
| A-Karbon Aktif          | 31250          | 1  | 31250       | 34,72    | 0,002            |                 |
| B-PAC                   | 5000           | 1  | 5000        | 5,56     | 0,065            |                 |
| AB                      | 625            | 1  | 625         | 0,69     | 0,4426           |                 |
| A <sup>2</sup>          | 6,414793,48    | 1  | 4793,48     | 5,33     | 0,0691           |                 |
| B <sup>2</sup>          | 10,87          | 1  | 10,87       | 0,012    | 0,9168           |                 |
| A <sup>2</sup> B        | 2500           | 1  | 2500        | 2,78     | 0,1565           |                 |
| AB <sup>2</sup>         | 1,58           | 1  | 1,58        | 0,001754 | 0,9682           |                 |
| Residual                | 4500           | 5  | 900         |          |                  |                 |
| Lack of Fit             | 1250           | 1  | 1250        | 1,38     | 0,2886           | not significant |
| Pure Error              | 3250           | 4  | 812,5       |          |                  |                 |
| Cor Total               | 76826,92       | 12 |             |          |                  |                 |
| R <sup>2</sup> = 0.9414 |                |    |             |          |                  |                 |

*P-value* diartikan sebagai fungsi dari permodelan hasil uji yang digunakan untuk menguji komponen model pada tingkat probabilitas ( $\alpha$ ) tertentu. Tingkat probabilitas pada penelitian ini adalah  $\alpha = 5\%$ , sehingga variabel yang memiliki *p-value* <  $\alpha = 0,05$  diartikan sebagai variabel (*significant*) yang sangat berpengaruh pada model. Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui model setiap respon yang disarankan oleh program, dimana Konsentrasiarang aktif memiliki nilai *p-value* <  $\alpha = 0,05$  untuk COD yang menunjukkan peluang kesalahan dari model kurang dari 0,05 atau dibawah 5%, dengan kata lain variable yang digunakan mempengaruhi model dan menghasilkan respon yang sesuai. Namun konsentrasi PAC

memiliki nilai  $p\text{-value} > \alpha = 0,05$  untuk COD pada ANOVA yang menunjukkan variable tersebut tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai COD.

Selanjutnya, pengujian ketidaktepatan model atau *lack of fit*, pada pemilihan model ini dianggap tepat apabila *lack of fit* bernilai tidak signifikan atau  $P\text{-value} > 0,05$ , sedangkan, *lack of fit*  $P\text{-value} < 0,05$  berarti model dinyatakan tidak tepat. Pada analisis ANOVA semua respon memiliki nilai *lack of fit*  $P\text{-value} > 0,05$ , yang menunjukkan variable respon tidak signifikan terhadap model, sehingga data respon memiliki kesesuaian dengan model.  $R^2$  merupakan jumlah variabel dalam data yang diperoleh dari model regresi. Besarnya nilai koefisien determinasi atau  $R^2$  hanya antara 0 – 1. Semakin kecil nilai  $R^2$ , berarti menunjukkan pengaruh variabel berubah terhadap variabel tetap semakin lemah. Sebaliknya, jika nilai  $R^2$  semakin mendekati 1, maka hal ini menunjukkan adanya derajat korelasi yang tinggi antara hasil observasi terhadap model yang dihasilkan (Montgomery, 2013).

Nilai  $R^2$  yang didapat dari hasil perhitungan model regresi untuk variabel respon *yield pulp* = 94,14%. Dari pengujian koefisien determinasi yang dilakukan, terdapat kecocokan antara model regresi dengan respon. Kecocokan model dapat juga dilihat dengan melakukan analisis residual. Tahap yang harus dilakukan untuk analisis residual yaitu, melihat normalitas residual dan plot antara nilai prediksi terhadap residual. Grafik normalitas residual COD (mg/L) dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 2.** Grafik Nilai Residual terhadap Normal *Probability* untuk Setiap Respon nilai COD (mg/L).

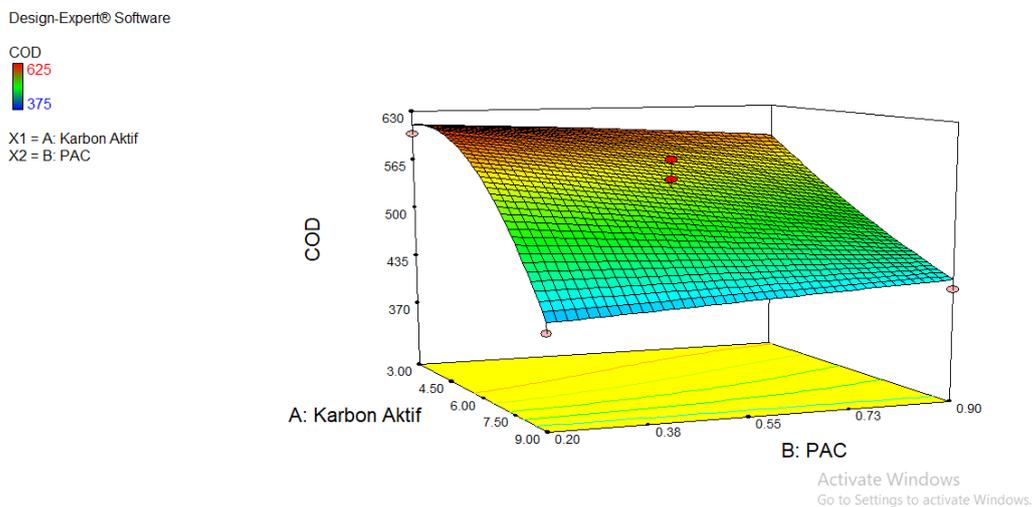
Uji normalitas residual pada umumnya bertujuan untuk mengetahui apakah titik residual terdistribusi normal atau tidak. Disamping itu, uji *normal % probability* juga bertujuan untuk mengetahui selisih nilai aktual dengan nilai prediksi dan kesesuaian terhadap model. Model regresi yang baik adalah model yang memiliki nilai residual yang terdistribusi normal. Gambar 2. menunjukkan bahwa nilai data percobaan menyebar secara acak disekitar garis. Kurva uji normalitas yang didapatkan menunjukkan tidak ada penyimpangan dari standar asumsi. Dari uji *normal % probability* terdapat kesesuaian antara model terhadap data hasil percobaan, sehingga dapat disimpulkan bahwa model regresi dapat digunakan. Hasil analisa RSM menunjukkan pengaruh variabel proses terhadap masing-masing respon. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari koefisien persamaan dari model dalam bentuk *coded variables* dan *natural (actual) variables* yang dituliskan pada persamaan. Persamaan *coded variables* pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

$$Y_1 = 540 - 88,39*A - 35,36*B + 12,5*A*B - 26,25*A^2 - 1,25*B^2 + 35,36*A^2*B + 0,89*A*B^2 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- Y<sub>1</sub> = Konsentrasi COD (mg/L)
- A = Konsentrasi Arang Aktif (g/L)
- B = Konsentrasi PAC (g/L)

Gambar 3. menunjukkan bagaimana kombinasi antar komponen saling mempengaruhi nilai respon COD. Warna-warna yang berbeda pada grafik respon permukaan menunjukkan nilai COD. Warna biru menunjukkan nilai respon COD terendah sedangkan warna merah menunjukkan respon COD tertinggi. Area yang rendah pada grafik tiga dimensi menunjukkan nilai *desirability* yang rendah, sedangkan area yang tinggi menunjukkan nilai *desirability* yang tinggi.



**Gambar 3.** Grafik Respon Permukaan Konsentrasi Arang Aktif dan PAC terhadap Respon Nilai COD (mg/L)

Berdasarkan nilai *p-value* dari masing-masing variabel, variabel PAC memiliki pengaruh yang relatif rendah dibanding variabel x<sub>1</sub> (konsentrasi arang aktif). Pada saat konsentrasi arang aktif 3 g/L, nilai COD terendah diperoleh pada variabel konsentrasi PAC 9 g/L yaitu, 575 mg/L dan yang tertinggi yaitu pada kadar 0,2 g/L sebesar 600 mg/L. Pada saat konsentrasi arang aktif 6 g/L COD terendah diperoleh pada variabel konsentrasi PAC 0,55 dan 1,04 g/L yaitu 500 mg/L dan yang tertinggi yaitu pada konsentrasi PAC 0,06 g/L sebesar 600 mg/L. Sedangkan pada saat konsentrasi arang aktif 9 g/L, nilai COD terendah diperoleh pada variabel konsentrasi PAC 0,2 g/L yaitu 400 mg/L dan yang tertinggi yaitu pada konsentrasi PAC 9 g/L sebesar 425 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai COD cenderung menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi arang aktif yang ditambahkan.

Berdasarkan hasil uji analisis yang dilakukan, menunjukkan bahwa meningkatkan dosis adsorben (arang aktif) dan PAC dapat meningkatkan penyisihan konsentrasi COD total dalam buangan akhir pengolahan POME (Othman dkk, 2013 dan Muyibi dkk, 2014). Penurunan konsentrasi COD total pada buangan akhir pengolahan POME menggunakan *powdered activated karbon* dan PAC disebabkan oleh adanya proses adsorpsi dan

pengendapan yang berlangsung saat pengadukan. PAC berfungsi sebagai bahan koagulan yang menghasilkan mekanisme netralisasi. Mekanisme netralisasi muatan terdiri dari reaksi antar kandungan logam pada koagulan dengan zat humat. Kandungan PAC yang memiliki muatan positif yang tinggi diadsorpsi ke permukaan koloid yang bermuatan negatif sehingga terjadi netralisasi muatan, penurunan energi tolakan dan destabilisasi koloid. Mekanisme *bridging* partikel terjadi ketika kandungan polimer dari PAC mendestabilisasi partikel koloid melalui *bridging* yang panjang diantara partikel. Polimer memiliki gugus reaktif yang berikatan dengan permukaan tertentu dari partikel koloid. Saat polimer menempel ada permukaan koloid, sisa dari rantai panjang molekul akan melekat pada partikel koloid lain, sehingga dua partikel diikat bersamaan atau *bridging* oleh polimer (Wang dkk., 2005).

Sedangkan, COD total buangan akhir pengolahan POME yang terdiri atas lignin, tanin, asam humat, keroten dan organik lainnya (asam lemak bebas, protein, karbohidrat, senyawa nitrogen, lemak (termasuk triasilgliserol) dan mineral). (Shavandi dkk., 2012) di adsorpsi oleh arang aktif melalui beberapa tahapan, yakni *bulk diffusion* pada permukaan partikel yang merupakan perpindahan materi organik melalui lapisan *bulk liquid* menuju lapisan film yang melapisi adsorben. Tahap selanjutnya yakni difusi melalui lapisan batas permukaan karbon eksternal yang merupakan proses perpindahan difusi materi organik pada lapisan film yang stagnan menuju pori adsorben. Kedua tahap ini sangat dipengaruhi proses pengadukan yang dilakukan. Tahap selanjutnya adalah difusi pada struktur pori yang merupakan perpindahan materi yang akan diserap melalui pori-pori yang terdapat pada adsorben (Bottani dan MetCalf & Eddy, 2003). Pada tahap ini terjadi difusi pori ketika materi organik masuk ke dalam pori-pori yang diisi cairan, selain itu terjadi juga difusi permukaan ketika materi organik diserap disepanjang permukaan adsorben. Tahap terakhir adalah proses adsorpsi yang merupakan proses melekatnya materi yang diadsorpsi pada adsorben (Farhan dan Ozgur, 2011).

### 3.3 Pengaruh Kondisi Proses terhadap TSS

Persamaan dari hasil eksperimen untuk melihat variabel respon yang berbeda terhadap variasi hasil. Untuk menyederhanakan persamaan, parameter non-signifikan dieliminasi. Dapat diamati dari Tabel 4. bahwa konsentrasi arang aktif tidak ada interaksi yang signifikan dengan salah satu variabel proses, sehingga katalis tidak terlalu berpengaruh pada hasil alfa selulosa yang didapat. Pada Tabel 5. diringkas beberapa analisis statistik dan hasilnya mengkonfirmasi kecukupan model, dimana semua model dengan signifikan pada tingkat  $<0,05$ .

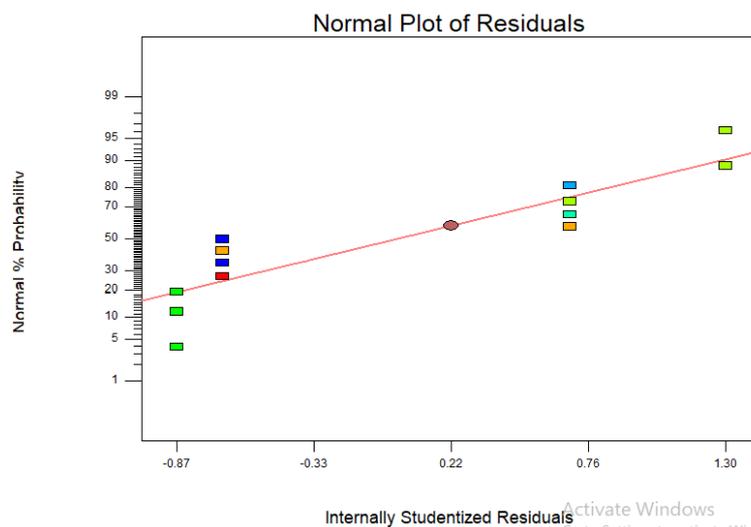
**Tabel 5.** *Analysis of Variance* Konsentrasi TSS

| Source   | Sum of Squares | df | Mean Square | F Value | p-value Prob > F   |
|----------|----------------|----|-------------|---------|--------------------|
| Model    | 416000         | 7  | 59425,82    | 22,42   | 0,0017 significant |
| A-Karbon | 180000         | 1  | 180000      | 67,92   | 0,0004             |

|                       |          |    |          |          |        |                        |
|-----------------------|----------|----|----------|----------|--------|------------------------|
| <i>Aktif</i>          |          |    |          |          |        |                        |
| <i>B-PAC</i>          | 125000   | 1  | 125000   | 47,17    | 0,001  |                        |
| <i>AB</i>             | 0        | 1  | 0        | 0        | 1      |                        |
| <i>A<sup>2</sup></i>  | 1315,22  | 1  | 1315,2   | 0,5      | 0,5126 |                        |
|                       |          |    | 2        |          |        |                        |
| <i>B<sup>2</sup></i>  | 10445,65 | 1  | 10445,65 | 0,0123,9 | 0.1039 |                        |
|                       |          |    | 4        |          |        |                        |
| <i>A<sup>2</sup>B</i> | 32144,66 | 1  | 32144,66 | 2,7812,1 | 0.0176 |                        |
|                       |          |    | 3        |          |        |                        |
| <i>AB<sup>2</sup></i> | 7720,78  | 1  | 7720,78  | 0,001754 | 0,1485 |                        |
|                       |          |    | 8        | 2,91     |        |                        |
| Residual              | 13250    | 5  | 2650     |          |        |                        |
| <i>Lack of Fit</i>    | 1250     | 1  | 1250     | 0,42     | 0.5538 | <i>not significant</i> |
| <i>Pure Error</i>     | 12000    | 4  | 3000     |          |        |                        |
| Cor Total             | 429200   | 12 |          |          |        |                        |
| $R^2 = 0.9691$        |          |    |          |          |        |                        |

Hasil pengujian *p-value* dijabarkan pada tabel 4.3, yang menjabarkan perubahan konsentrasi PAC lebih berpengaruh terhadap konsentrasi TSS. Namun konsentrasi arang aktif tidak memberikan pengaruh yang signifikan. *P-value* dari *lack of fit* yang didapat untuk setiap variabel respon tidak signifikan terhadap model, sehingga terdapat kesesuaian model dengan data hasil penelitian. Nilai  $R^2$  yang dihasilkan pada perhitungan model regresi untuk variabel respon *yield pulp* = 96,91%. Dari pengujian koefisien determinasi yang dilakukan, terdapat kecocokan antara model regresi dengan respon.

Analisa kecocokan model dapat dilihat dengan melakukan analisis residual. Tahap yang harus dilakukan untuk analisis residual yaitu, melihat normalitas residual dan plot antara nilai prediksi terhadap residual. Grafik normalitas residual konsentrasi TSS dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Grafik Nilai Residual terhadap Normal *Probability* untuk Setiap Respon Konsentrasi TSS

Uji normalitas residual pada konsentrasi TSS dilakukan untuk mengetahui apakah titik residual terdistribusi normal atau tidak. Pada Gambar 4.4 menampilkan data yang cenderung menyebar disekitar garis lurus. Berdasarkan kurva uji normalitas menunjukkan bahwa tidak ada penyimpangan dari asumsi normal. Hasil uji normalitas residual yang dibuat telah mengikuti distribusi normal. Sehingga asumsi normalitas residual model regresi yang telah dibuat pada polinomial orde 2 dapat digunakan.

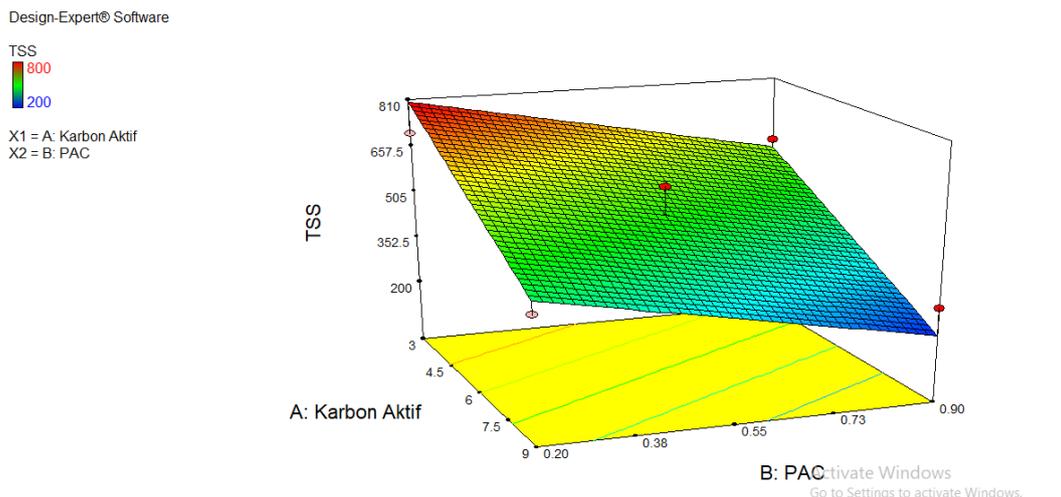
Hasil analisis multivariabel RSM menunjukkan pengaruh kondisi proses terhadap respon kadar konsentrasi TSS dalam POME. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari koefisien persamaan linear dari model konsentrasi TSS dalam bentuk kode variabel yang dituliskan pada persamaan 2. Berdasarkan persamaan tersebut variabel konsentrasi PAC memiliki pengaruh paling besar terhadap respon konsentrasi TSS, diikuti oleh konsentrasi arang aktif.

$$Y_2 = 540 - 212,13*A - 176,78*B + 0*S*B - 13,75A^2 - 38,75*B^2 + 126,78*A^2*B + 62,13*S*B^2 \dots\dots\dots(2)$$

Dengan,

- Y<sub>2</sub> = Konsentrasi TSS (mg/L)
- A = Konsentrasi Arang Aktif (g/L)
- B = Konsentrasi PAC (g/L)

Berdasarkan nilai *p-value* dari masing-masing variabel, variabel arang aktif memiliki pengaruh yang relatif rendah dibanding variabel x<sub>2</sub> (konsentrasi PAC). Pada saat konsentrasi PAC 0,2 g/L, nilai PAC terendah diperoleh pada variabel konsentrasi arang aktif 9 g/L yaitu, 400 mg/L dan yang tertinggi yaitu pada konsentrasi arang aktif 3 g/L sebesar 700 mg/L. Pada saat konsentrasi PAC 0,55 g/L TSS terendah diperoleh pada variabel konsentrasi arang aktif 10,24 g/L yaitu 200 mg/L dan yang tertinggi yaitu pada konsentrasi arang aktif 1,76 g/L sebesar 800 mg/L. Sedangkan pada saat konsentrasi PAC 0,9 g/L, nilai TSS terendah diperoleh pada variabel konsentrasi arang aktif 0,2 g/L yaitu 300 mg/L dan yang tertinggi yaitu pada konsentrasi arang aktif 3 g/L sebesar 600 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai TSS cenderung menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi PAC yang ditambahkan.



**Gambar 5.** Grafik Respon Permukaan Konsentrasi Arang Aktif dan PAC terhadap Respon Nilai TSS (mg/L)

Buangan akhir pengolahan POME mengandung partikel dengan ukuran yang bervariasi. Partikel dengan ukuran  $10^{-5}$  mm dapat disebut dengan koloid dan partikel lebih kecil dari  $10^{-6}$  disebut sebagai zat terlarut. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mengendap. Penambahan koagulan dalam proses koagulasi – flokulasi membuat partikel menjadi tidak stabil dan membentuk flok, sehingga dengan pembentukan flok dapat menyisihkan konsentrasi SS dalam buangan akhir pengolahan POME.

Peningkatan konsentrasi SS pada buangan akhir pengolahan POME pada saat penambahan dosis *powdered activated carbon* dapat disebabkan kecepatan pengadukan dan waktu pengendapan. Kecepatan pengadukan yang tidak cukup menyebabkan tidak berkurangnya resistensi lapisan permukaan film, sehingga partikel sulit untuk diadsorpsi dengan mudah pada permukaan adsorben. Pengadukan yang terlalu cepat juga dapat menyebabkan konsentrasi SS meningkat kembali, karena terjadi re-stabilisasi *suspended solid* (Ahmad dkk., 2005). Faktor lain yang menyebabkan konsentrasi SS meningkat yakni waktu pengendapan yang kurang. Hal ini dikarenakan karbon aktif tidak membentuk flok yang mudah mengendap, sehingga karbon aktif membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengendap (Ahmad dkk., 2005).

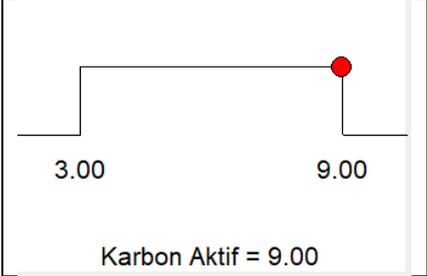
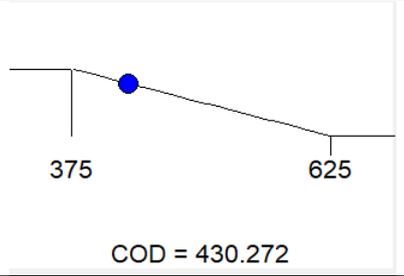
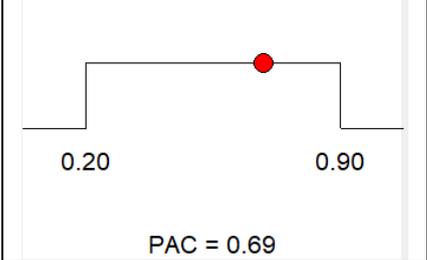
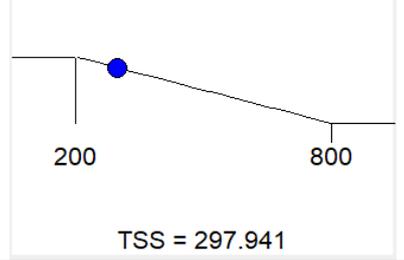
### 4.3 Optimasi Kondisi Proses terhadap Hasil Kualitas POME

Optimasi dilakukan untuk mendapatkan nilai optimum dari model yang telah didapatkan. Program ini akan melakukan optimasi sesuai data variabel dan data pengukuran respon yang dimasukkan. Formula paling optimal adalah formula dengan nilai *desirability* maksimum. Untuk menghasilkan respon optimum dengan persamaan empiris lebih dari satu digunakan pendekatan dengan fungsi *desirability*. Fungsi pendekatan *desirability* untuk mengoptimasi lebih dari satu respon secara bersamaan (Montgomery, 2008). Nilai *desirability* merupakan nilai fungsi tujuan optimasi yang menunjukkan kemampuan program untuk memenuhi keinginan berdasarkan kriteria yang ditetapkan pada produk akhir. Kisaran nilainya dari 0 sampai dengan 1.

Optimasi menggunakan istilah *target* (T), *upper* (U), dan *lower* (L). Nilai *desirability* ( $d_i$ ) bervariasi pada range  $0 \leq d_i \leq 1$ . Langkah-langkah optimasi bertujuan untuk mendapatkan *desirability* untuk setiap respon *desirability* gabungan, pengaturan variabel yang optimal serta memaksimalkan *desirability* gabungan. Untuk mendapatkan *desirability* setiap respon, dirumuskan dalam 3 golongan yaitu meminimumkan respon, target respon, dan memaksimalkan respon. Jika nilai *desirability* respon yang diinginkan minimum, maka nilai T dan U harus ditentukan. Jika yang diinginkan adalah respon dengan target tertentu, maka tentukan nilai L, T, dan U. Untuk mendapatkan nilai maksimum pada respon, nilai *desirability* dihitung dengan nilai T dan L ditentukan.

*Design Expert v10.0.0 Trial Version* dapat melakukan optimasi pada beberapa respon secara bersamaan dengan menggunakan fungsi *desirability*. Pada Tabel 4.6 menunjukkan kondisi optimum serta nilai respon optimum pada penelitian ini. Optimasi pada beberapa respon secara bersamaan dengan menggunakan fungsi *desirability*. Kondisi operasi pada penelitian ini tetap dijaga pada interval yang digunakan karbon aktif 3-9 mg/L POME dan PAC 0,2-0,9% mg/L POME. Sementara itu respon seperti nilai COD dan TSS diatur pada kondisinya masing-masing. Nilai respon yang diharapkan adalah nilai minimum untuk COD dan TSS. *Desirability* gabungan respon didapat adalah 0,807. Nilai respon optimum diprediksi untuk  $Y_1 = 430,272$  mg/L dan  $Y_2 = 297,942$  mg/L. Kondisi proses optimum yang didapat pada karbon aktif 9 mg/L POME, dan PAC 0,69 mg/L POME.

**Tabel 6.** Kondisi Proses Optimum dan Nilai Respon Optimum Penelitian Beserta Nilai *Desirability*

| Kondisi Proses Optimum   | Nilai Respon Optimum  | Desirability |
|--|---|--------------|
|  <p>Karbon Aktif = 9.00</p> |  <p>COD = 430.272</p> | <b>0,807</b> |
|  <p>PAC = 0.69</p>          |  <p>TSS = 297.941</p> |              |

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan mengenai penentuan kadar kombinasi arang aktif dan PAC dalam TSS limbah POME dapat disimpulkan bahwa penambahan arang aktif dan PAC dapat mempengaruhi penyisihan konsentrasi COD dan TSS. Dimana, semakin besar konsentrasi arang aktif yang digunakan, maka konsentrasi COD yang dihasilkan semakin rendah, tetapi tidak berpengaruh signifikan terhadap pengurangan konsentrasi TSS. Begitu sebaliknya, semakin besar konsentrasi TSS yang digunakan, maka konsentrasi TSS yang dihasilkan semakin rendah. Kadar arang aktif dan PAC yang bekerja optimum dalam menyisihkan konsentrasi COD dan TSS pada POME yaitu kadar arang aktif 9g/L dan PAC 0,69g/L yang dapat menyisihkan konsentrasi COD dan TSS berturut-turut hingga 430,272Mg/L dan 297,941mg/L.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Suryanti, T., Ayu Ambarwati, D., Udyani, K., & Purwaningsih, D. Y. (2019). Penurunan Kadar Tss Dan Cod Pada Limbah Cair Industri Batik Dengan Metode Gabungan Koagulasi Dan Adsorpsi. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan VII - Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya* , 113–118.
- Bagaswara, T., Sari, A. A., Lingkungan, D. T., Teknik, F., Diponegoro, U., Tembalang, S. H., Kimia, P. P., Ilmu, L., & Indonesia, P. (2017). PENYISIHAN COD , TSS DANPADA LINDI HITAM DENGAN MENGGUNAKAN KOAGULASI , FENTON , DAN ADSORPSI PADA. *Journal Lingkungan Hidup*, 6(2), 1–7.

- Nurhayati, I., Sugito, S., & Pertiwi, A. (2018). Pengolahan Limbah Cair Laboratorium dengan Adsorpsi dan Pretreatment Netralisasi dan Koagulasi. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 10(2), 125–138. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol10.iss2.art5>
- Devi, R., Singh, V., & Kumar, A. (2008). COD and BOD reduction from coffee processing wastewater using Avacado peel carbon. *Bioresource Technology*, 99(6), 1853–1860. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.039>
- Mahir, T., Khusaibi, A., Dumaran, J., Devi, M. G., Rao, L. N., & Feroz, S. (2015). Treatment of Dairy Wastewater using Orange and Banana Peels. Available Online *Www.Jocpr.Com Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(4), 1385–1391. [www.jocpr.com](http://www.jocpr.com)
- Pedro, L. S., Novelo, R. M., Nunez, E. H., Banuelos, M. F., Medina, J., & Vallejos, G. G. (2020). Selection of the Activated Carbon Type for the Treatment of Landfill Leachate by Fenton-Adsorption Process. *Molecules*, 25(3023), 16.
- Othman, M. R., Hassan, M. A., Shirai, Y., Baharuddin, A. S., Ali, A. A. M., & Idris, J. (2014). Treatment of effluents from palm oil mill process to achieve river water quality for reuse as recycled water in a zero emission system. *Journal of Cleaner Production*, 67, 58–61. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.004>
- Rahimah, Z., Heldawati, H., & Syauqiyah, I. (2016). Rohimah 107892-ID-pengolahan-limbah-deterjen-dengan-metode. *Konversi*, 5(2), 13–19.
- Khellouf, M., Chemini, R., Salem, Z., Khodja, M., Zeriri, D., & Jada, A. (2021). A new activated carbon prepared from cypress cones and its application in the COD reduction and colour removal from industrial textile effluent. *Environment, Development and Sustainability*, 23(5), 7756–7771. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00944-2>
- Shavandi, M. A., Haddadian, Z., Ismail, M. H. S., Abdullah, N., & Abidin, Z. Z. (2012). Removal of residual oils from palm oil mill effluent by adsorption on natural zeolite. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(7), 4017–4027. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1169-6>
- Hasani Zonoozi, M., Alavi Moghaddam, M. R., & Arami, M. (2009). Coagulation/flocculation of dye-containing solutions using polyaluminium chloride and alum. *Water Science and Technology*, 59(7), 1343–1351. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.128>
- Montgomery, D.C. 2013. *Design and Analysis of Experiments*. 8th Edition. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Aremumuyibi, S., Tajari, T., Jami, M. S., & Koladeamosa, M. (2014). *Advances in Environmental Biology Removal of Organics from Treated Palm Oil Mill Effluent ( POME ) Using Powdered Activated Carbon ( PAC )*. 8(3), 590–595.
- Wang, L.K., Hung, Y.T dan Shamma, N.K. 2005. *Physicochemical Treatment Processes*. New Jersey: Humana Press.
- Bottani, E.J dan Tascon, J.M.D. 2008. *Adsorption by Carbon*. Amsterdam, The Netherland: Elsevier, Ltd.
- 



- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse (Fourth Edition)*. United States of America: McGraw-Hill Companies. Inc.
- Ferhan, C., & Ozgur, A. (2011). *Related Titles Ozonation of Water and Waste Water Introduction to Environmental Engineering Rapid Chemical and Biological Techniques for Water Monitoring Functional Nanostructured Materials and Membranes for Water Treatment Risk Analysis of Water Pollutio* (Issue July).

