

Jurnal

Rekayasa Kimia & Lingkungan

Journal of Chemical Engineering and Environment



Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan	Vol. 11	No. 1	Hlm. 1—52	Juni 2016	ISSN 1412-5064 e-ISSN 2356-1661
---------------------------------------	---------	-------	-----------	-----------	------------------------------------

Jurnal

Rekayasa Kimia & Lingkungan

(Journal of Chemical Engineering and Environment)

TIM EDITOR

Ketua : Dr. Nasrul Arahman, ST., MT.
Anggota : Dr. M. Faisal, ST., M. Eng., Dr. M. Dani Supardan, ST., MT.
Dr. Ir. Husni Husin, MT., Mirna Rahmah Lubis, ST., MS.
Web admin/lay out : Wahyu Rinaldi, ST., M.Sc.
Cetak dan sirkulasi : Dr. Ir. Cut Meurah Rosnelly, MT.

Reviewer (Mitra Bestari)

Dr. Ir. Darmadi, M.T (Universitas Syiah Kuala), Dr. Ir. Asri Gani, M.Eng (Universitas Syiah Kuala), Dr. Ir. Izarul Machdar, M.Eng (Universitas Syiah Kuala), Dr. Ir. Azhari, M.Sc (Universitas Malikussaleh), Dr. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T (Universitas Lampung), Dr. Sunu Herwi Pranolo, S.T., M.Sc (Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta), Dr. Yuli Setyo Indartono (Institut Teknologi Bandung), Dr. Agung Sudrajad, S.T., M.Eng (University Pahang Malaysia), Dr. Muhammad Jawaid (University Sains Malaysia), Dr. Saeid Rajabzadeh Kahnamouei (Kobe University, Japan), Dr. Agus Saptoro (Curtin University, Malaysia), Dr. Abrar Muslim, ST, M. Eng. (Universitas Syiah Kuala), Dr. Fachrul Razi, ST, MT. (Universitas Syiah Kuala).

Jurnal ini terbit setiap enam bulan sekali

Harga Langganan dua kali terbit:

Aceh Rp. 80.000,-
Luar Aceh Rp. 100.000,- (termasuk ongkos kirim)

Untuk surat menyurat dan berlangganan, harap menghubungi Sdri. Dewi Yana dengan alamat seperti tercantum di bawah. Petunjuk penulisan artikel dapat dilihat pada halaman terakhir jurnal.

©2016 Jurusan Teknik Kimia; Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala
Jl. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia
Hp. +62 853-2299-7268 Fax. (0651) 52222; <http://jurnal.unsyiah.ac.id/RKL>
E-mail: rkl@che.unsyiah.ac.id

Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan telah terindek oleh lembaga berikut:



Vol. 11, No. 1, Juni 2016

ISSN: 1412-5064 (cetak), 2356-1661 (online)

Jurnal

Rekayasa Kimia & Lingkungan

(Journal of Chemical Engineering and Environment)

Daftar Isi

Kata Pengantar

Ruka Yulia, Hesti Meilina, 1 Adisalamun, Darmadi	Aplikasi <i>Metode Advance Oxidation Process</i> (AOP) Fenton pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit
Darmansyah, Simparmin br. G., 10 Lisa Ardiana, Hens Saputra	Mesopori MCM-41 sebagai Adsorben: Kajian Kinetika dan Isotherm Adsorpsi Limbah Cair Tapioka
Ekky Wahyudi, Zultiniar, Edy 17 Saputra	Pengolahan Sampah Plastik Polipropilena (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Metode Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Sintetis
Aris Munandar, Syaifullah 24 Muhammad, Sri Mulyati	Penyisihan COD dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit menggunakan Nano Karbon Aktif
Novia Mehra Erfiza, Ryan Moulana, 32 Desy Wulandari, Satriana, Muhammad Dani Supardan	Pengaruh Rasio Biji terhadap Pelarut dan Waktu Ekstraksi terhadap <i>Yield</i> dan Kualitas Minyak Biji Alpukat
Rosyid Ridho 39	Pengaruh Penggunaan Fotokatalis TiO ₂ /Resin, TiO ₂ /Zeolit Dan TiO ₂ /Karbon Aktif dalam Proses Fotoreduksi Ion Hg(II) Dengan Metode SODIS (Solar Desinfection Water)
Rondang Tambun, Rangga P 46 Saptawaldi, M. Anshori Nasution, Oktris N Gusti	Pembuatan <i>Biofuel</i> dari <i>Palm Stearin</i> dengan Proses Perengkahan Katalitik menggunakan Katalis ZSM-5

Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas terbitnya Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan (JRKL) Volume 11 melalui kerjasama Jurusan Teknik Kimia Unsyiah dengan berbagai institusi. Terbitnya edisi pertama di tahun 2016 ini menjadi bukti semakin ditingkatkannya apresiasi terhadap pengembangan diri dan sumbangsih para peneliti. Melalui berbagai perspektif, tujuh tulisan dalam jurnal ini mencoba melihat secara mendalam kajian pengolahan limbah dari banyak metode. Nomor ini dimulai dengan tulisan Ruka Yulia yang mengupas aplikasi metode advance oxidation process (AOP) fenton pada pengolahan limbah cair sawit. Sementara itu pada artikel terakhir Rondang Tambun mengupas pembuatan biofuel dari palm stearin dengan proses perengkahan katalitik menggunakan katalis ZSM-5.

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memotivasi dan membantu terbitnya kembali JRKL ini. Semoga jurnal ini dapat memberi manfaat yang sebesar-besarnya bagi komunitas ilmiah, sains, dan teknologi serta secara luas bagi kemajuan peradaban manusia. Selamat membaca!

Banda Aceh, Juni 2016

Editor



Aplikasi Metode Advance Oxidation Process (AOP) Fenton pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Application of Advanced Oxidation Process (AOP) Fenton on Palm Oil Mill Effluent Treatment

Ruka Yulia¹, Hesti Meilina², Adisalamun², Darmadi^{2*}

¹Magister Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala

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

*E-mail: darmadi@unsyiah.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan proses Fenton dalam menurunkan kadar chemical oxygen demand (COD) dan kadar total suspended solid (TSS) dari limbah cair pabrik kelapa sawit (PKS) dan menentukan kondisi optimum dari parameter yang digunakan dengan Response Surface Methodology menurut Box- Behnken design. Sampel diambil pada keluaran pertama kolam anaerobik ketiga dari instalasi pengolahan limbah cair kelapa sawit yang mengandung nilai COD berkisar antara 8.000 hingga 12.000 ppm. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian pada berbagai pH, konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan konsentrasi hidrogen peroksida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan proses AOP dengan metode Fenton dapat menurunkan konsentrasi COD dan TSS masing-masing adalah 70,7704% dan 88,3897% pada konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3703,52 ppm, konsentrasi H_2O_2 5586,43 ppm, dan pH 3.

Kata Kunci: AOP, Box Behnken, Fenton, Response Surface Methodology

Abstract

The objective of this study was to evaluate a performance of Fenton Process in decreasing chemical oxygen demand (COD) and total suspended solid (TSS) in Palm Oil Mill effluent (POME) and to determine an optimum condition using Response Surface Methodology based on Box- Behnken design. Samples were taken from the first anaerobic pool effluent of the 3rd anaerobic pond of POME treatment instalation which is contain COD in the range 8,000–12,000 ppm. In this work, three different parameters, i.e pH, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ concentrations, and H_2O_2 concentrations were investigated. The obtained results indicate that AOP Process using fenton could reduce COD as much of 70.7704% and TSS as much of 88.3897% at $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ concentration of 3703.52 ppm, H_2O_2 concentration of 5586.43 ppm, and pH of 3.

Keywords: AOP, Box-Behnken, Fenton, Response Surface Methodology

1. Pendahuluan

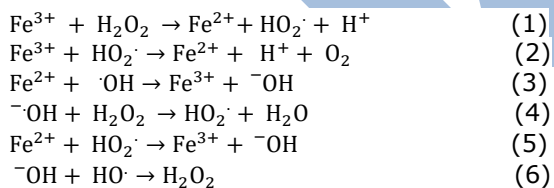
Dalam mengolah setiap ton tandan buah segar (TBS), pabrik kelapa sawit (PKS) menghasilkan sekitar 120 – 200 kg minyak kelapa sawit mentah (CPO), 230 – 250 kg tandan kosong kelapa sawit (TKKS), 130 – 150 kg serat, 60 – 65 kg cangkang, 55 – 60 kg kernel, dan 0,7 m³ air limbah (Hanum, 2009). Untuk memproduksi 1 ton CPO, PKS memerlukan 5–7,5 ton air dimana lebih dari 50 persen airnya berakhir sebagai limbah cair dan sisa airnya hilang sebagai uap (Ji dkk., 2013). Limbah yang menjadi perhatian di PKS adalah limbah cair atau yang lebih dikenal dengan limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS). LCPKS merupakan air buangan yang berasal dari unit pengolahan minyak sawit yang berbeda yaitu 60 persen dari total LCPKS berasal dari stasiun klari-fikasi, 36

persen dari stasiun rebusan, dan 4 persen dari stasiun inti (Pahan, 2012). LCPKS di aliran air sangat mengganggu, karena mengandung senyawa organik berkonsentrasi tinggi, berbau tidak sedap, dan mengandung total padatan tersuspensi (TSS) yang melebihi batas normal (Lam dan Lee, 2011). Selain itu juga, LCPKS mengandung asam mineral yang menyebabkan pHnya berada dalam kondisi asam yaitu disekitar 4,3 (Kasnawati, 2011). Oleh karena itu, LCPKS harus memenuhi standar baku mutu air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Hal ini sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 Tahun 2010 tentang baku mutu limbah cair bagi kawasan industri minyak sawit.

Selama ini, pengolahan LCPKS yang ada di Indonesia masih secara konvensional.

Pengolahan dilakukan secara biologi yang memanfaatkan mikroba di dalam kolam *anaerobic* dan *aerobic*. Untuk kapasitas produksi 30 ton TBS per jam, metode pengolahan LCPKS secara biologi akan membutuhkan lahan yang sangat luas yaitu sekitar 7 ha dan masa retensi 120 hari. Selain itu, kolam *aerobic* membutuhkan energi yang besar dan lumpur yang dihasilkan banyak (Henny, 2012). Oleh karena itu, kolam sering mengalami pendangkalan akibatnya baku mutu limbah tidak dapat mencapai standar baku yang ditetapkan.

Alternatif penanganan LCPKS dapat dilakukan dengan metode *advanced oxidation process* (AOP). Reaksi Fenton termasuk dalam salah satu sistem AOP. Reaksi Fenton melibatkan gugus reaktif yaitu radikal hidroksil yang dihasilkan dari reaksi oksidasi antara hidrogen peroksida dan garam Fe(II) (Tiwari dan Upadhyay, 2013; Alver dkk., 2015). Radikal hidroksil mempunyai potensial oksidasi yang tinggi, sehingga dapat mengurangi kadar COD dan TSS dalam limbah cair. Reaksi fenton ditunjukkan pada persamaan berikut (Hashemian, 2013):



Keuntungan proses AOP dengan reaksi Fenton adalah memiliki waktu reaksi yang pendek diantara proses AOP lainnya, reagen hidrogen peroksida yang digunakan sedikit, dan dapat mendegradasi komponen organik yang sulit terurai serta dapat mengubah senyawa organik yang terkandung menjadi karbon dioksida dan air (Alalm dan Tawfik, 2013; Bokare dan Choi, 2014). Mert dkk. (2010) menggunakan proses Fenton untuk mwngolah limbah cair industri minyak zaitun. Didapatkan bahwa penyisihan COD mencapai 81% dapat diperoleh dengan proses Fenton. Beberapa parameter yang berpengaruh pada proses Fenton adalah pH, konsentrasi besi(II), dan konsentrasi hidrogen peroksida. Desain percobaan yang dapat digunakan dalam menentukan respon paling optimum setiap variabel adalah menggunakan *response surface methodology* (RSM) yang didasarkan pada desain Box Behnken.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah LCPKS dari PT. Syaukath Seujahtera di Geurugok, Kecamatan Gandapura, Kabupaten Bireuen. Bahan kimia yang digunakan berasal dari Merck, yaitu $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, H_2O_2 , NaOH, Kalium dikromat, H_2SO_4 , dan indikator Ferroin dan Ferro Ammonium Sulfat (FAS). Alat yang diguna-kan pada percobaan batch ini adalah *beaker glass*, gelas ukur, labu ukur, pH meter, *Jar Test*, *Erlenmeyer*, timbangan digital, dan reaktor COD.

2.2. Prosedur Analisis

Sebelum dilakukan percobaan, sampel LCPKS yang diperoleh dari kolam pertama *anaerobic* dianalisis karakteristik awal dan diambil sebanyak 400 ml untuk dilakukan percobaan pada berbagai parameter *fenton* dan pH. pH diatur dengan menggunakan H_2SO_4 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Kemudian limbah tersebut diaduk selama 2 menit (120 rpm), dan 20 menit (20 rpm). Setelah pengadukan limbah didiamkan selama 4 jam dan disaring. Filtrat yang diperoleh dianalisis karakteristiknya, yaitu COD, TSS, dan pH sesuai dengan SNI masing-masing. Analisis COD dilakukan secara titrimetri reflus tertutup (SNI 6989.73.2009), TSS secara Gravimetri (SNI 06-6989.3-2004) dan pH dengan pH meter (SNI06-6989.11-2004). Percobaan ini dilakukan berdasarkan metode Box-Behnken untuk tiga parameter. Hasil *run* memberikan 15 kali perlakuan.

2.3. Desain Percobaan

Analisis data percobaan menggunakan *Box-Behnken design* yang dilakukan dengan *software Design Expert Version 7.00* untuk mengoptimasi jumlah percobaan dan menentukan pengaruh pH, konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan H_2O_2 pada level, tinggi (+), rendah (-) dan tengah (0). *Response surface quadratic model* digunakan untuk menginterpretasi data percobaan untuk mendapatkan persamaan regresi. Seleksi model dilakukan dengan beberapa uji, seperti *F-test* dan *lack of fit* yang bertujuan untuk menganalisis proses atau sistem terkait terhadap *response* (Y). Hubungan antara parameter *response* dan *input* parameter adalah sebagai berikut:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon \quad (7)$$

dimana ε merupa kesalahan terhadap *response* Y. Metode regresi secara manual digunakan untuk menguji model kuadratik yang meliputi fungsi linear, hubungan dua parameter, dan/atau fungsi kuadrat yang diilustrasikan seperti pada Persamaan 8.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (8)$$

Dimana β_0 adalah konstanta, β_i adalah pengaruh *input* faktor x_i secara *linear*, β_{ii} adalah pengaruh *input* faktor x_i secara *kuadrat*, dan β_{ij} pengaruh interaksi dua parameter antara *input* faktor x_i dan x_j (Ding dkk., 2016; Nandiwale dan Bokade, 2016).

Tabel 1. Level desain Box-Behnken

Variabel	Parameter	Level		
		Rendah (-1)	Sedang (0)	Tinggi (+1)
X ₁	pH	3	4	5
X ₂	konsentrasi FeSO ₄ ·7H ₂ O (ppm)	2000	4000	6000
X ₃	Konsentrasi H ₂ O ₂ (ppm)	3000	5000	7000

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Karakterisasi Limbah Cair Minyak Kelapa Sawit (LCPKS)

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah LCPKS yang berasal dari limbah keluaran pertama kolam ketiga yaitu kolam anaerobik. Sifat kimia dan fisika LCPKS yaitu pH, COD dan TSS dianalisis berdasarkan SNI masing-masing. Sampel yang akan diolah terlebih dahulu dianalisis sesuai dengan SNI untuk setiap parameter. Hasil analisis awal dari LCPKS adalah kadar COD = 9600 ppm, TSS = 7700 ppm, dan pH = 6,9.

3.2. Prediksi Kondisi Optimum

Desain Box-Behnken memberikan prediksi kondisi optimasi dari reaksi Fenton yang terdiri dari tiga faktor, tiga level, dan meliputi tiga pengulangan pada titik tengah yang dilakukan secara acak seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3, model kuadrat adalah yang paling sesuai untuk hasil eksperimen yang ditunjukkan oleh nilai R^2 dan *adjusted* R^2 masing-masing sebesar 0,9853 dan 0,9588 dan persen penurunan TSS sebesar 0,9841 dan 0,9554. Pada model kubik, R^2 dan *adjusted* R^2 nya tinggi. Akan tetapi, model kubik tidak menunjukkan adanya nilai *pre-R*²

dan PRESS yang membuat pengaruh setiap variabel yang memiliki perbedaan sinyal menjadi tidak berbeda atau *aliased* (Qiu dkk., 2013). Model kubik tidak sesuai untuk data hasil eksperimen dalam penelitian ini. Model linear dan model 2FI memiliki nilai R^2 dan Adj- R^2 yang sangat rendah, menunjukkan bahwa kedua model tidak layak untuk data eksperimen.

Zulkifli (2011) melaporkan suatu model yang baik ditandai oleh R^2 yang besar dan PRESS yang rendah. Dalam hal ini, model kuadrat memiliki nilai PRESS yang paling rendah dibandingkan dengan model linier dan model 2FI. Model kuadrat yang terevaluasi dalam penelitian dapat menjelaskan dengan baik reaksi yang terjadi. Analisis varian model kuadrat untuk data eksperimen penurunan COD dan penurunan TSS ditunjukkan pada Tabel 4. Dari Tabel 5 dapat disimpulkan bahwa pH, konsentrasi FeSO₄·7H₂O dan konsentrasi H₂O₂ berpengaruh signifikan. Artinya variabel-variabel tersebut memiliki pengaruh penting terhadap persen penurunan COD. Dari ketiga variabel independennya, pH yang paling signifikan pengaruhnya terhadap persen penurunan COD. Hal ini terjadi karena pH menentukan besarnya kelarutan ion Fe(II) dalam LCPKS. Dalam kondisi asam, ion Fe(II) lebih cepat larut dalam LCPKS yang ditunjukkan dari hasil eksperimen dalam penelitian ini yaitu persen penurunan COD lebih besar pada pH 3 dibandingkan pada pH 4 dan pH 5.

Model kuadrat berpengaruh signifikan terhadap persen penurunan TSS (Tabel 5). Variabel pH (*p-value* sebesar 0,0002), konsentrasi FeSO₄·7H₂O (*p-value* sebesar 0,0011) dan konsentrasi H₂O₂ (*p-value* sebesar 0,0005) berpengaruh signifikan. *Lack of fit* berada di atas nilai 0,05. Ketidaksigifikan *lack of fit* membuktikan bahwa model dan data eksperimen persen penurunan TSS Fenton bersesuaian dengan baik. Hubungan empiris antara persen penurunan COD dan persen penurunan TSS terhadap tiga variabel signifikannya ditunjukkan pada Persamaan (9) dan (10). Dimana pH (A), konsentrasi FeSO₄·7H₂O (B) berbanding terbalik dengan persen penurunan COD dan persen penurunan TSS. Sementara, konsentrasi H₂O₂ (C) berbanding lurus dengan persen penurunan COD dan persen penurunan TSS.

$$COD = 63,89 - 9,06 A - 3,02 B + 2,08 C + 2,92 AB - 0,21 AC + 4,79 BC - 2,15 A^2 - 10,49 B^2 - 3,19 C^2 \quad (9)$$

$$TSS = 81,30 - 6,62 A - 4,52 B + 5,37 C + 3,96 AB - 0,84 AC + 0,89 BC - 2,15 A^2 - 8,50 B^2 - 2,72 C^2 \quad (10)$$

Keterangan :

A : pH, B : konsentrasi FeSO₄·7H₂O, C: konsentrasi H₂O₂

Tabel 2. Hasil pengamatan penurunan COD dan penurunan TSS

Run	Batasan dan Level Variabel (X)			Penurunan COD (%)		Penurunan TSS (%)	
	X ₁ (pH)	X ₂ (FeSO ₄)	X ₃ (H ₂ O ₂)	Ekperimen	Prediksi	Ekperimen	Prediksi
1	4	2000	3000	56,67	55,94	69,22	70,13
2	4	4000	5000	63,33	63,89	79,74	81,30
3	4	2000	7000	51,67	50,52	77,60	79,08
4	4	6000	7000	53,33	54,06	72,73	71,82
5	5	2000	5000	48,33	48,12	65,84	64,59
6	5	4000	7000	50,00	51,36	74,55	73,33
7	3	6000	5000	60,00	60,21	67,53	68,79
8	4	4000	5000	63,33	63,89	81,04	81,30
9	4	4000	5000	65,00	63,89	83,12	81,30
10	3	4000	7000	70,83	69,90	89,61	89,26
11	4	6000	3000	39,17	40,32	60,78	59,30
12	5	4000	3000	46,67	47,61	64,94	65,28
13	5	6000	5000	38,33	36,25	62,34	63,47
14	3	2000	5000	58,33	60,41	86,88	85,76
15	3	4000	3000	66,67	65,32	76,62	76,84

Tabel 3. Model statistik penurunan COD (%) dan penurunan TSS (%) LCPKS dengan proses fenton

Response	Source	Std. Dev	R-Square	Adj-R ²	Pre-R ²	PRESS
Persen Penurunan COD	Linear	7,25	0,5695	0,4520	0,2376	1023,7905
	2FI	7,52	0,6633	0,4108	0,1217	1506,2840
	Quadratic	1,99	0,9853	0,9588	0,7838	290,3890
	cubic	0,96	0,9986	0,9903		+
Persen Penurunan TSS	Linear	5,85	0,6645	0,5730	0,4219	647,8943
	2FI	6,20	0,7259	0,5203	0,1304	974,5543
	Quadratic	1,89	0,9841	0,9554	0,8161	206,1511
	cubic	1,70	0,9948	0,9638		+

Tabel 4. ANOVA untuk model kuadrat hasil eksperimen COD proses fenton

Source	Sum of Square	Df	Mean Square	F value	P-value Prob>F	Karakteristik
Model	1323,16	9	147,02	37,24	0,0005	Signifikan
A-pH	657,03	1	657,03	166,41	< 0,0001	
B-FeSO ₄	73,02	1	73,02	18,50	0,0077	
C-H ₂ O ₂	34,68	1	34,68	8,78	0,0314	
AB	34,05	1	34,05	8,62	0,0324	
AC	0,17	1	0,17	0,04	0,8428	
A ²	91,84	1	91,84	23,26	0,0048	
B ²	17,14	1	17,14	4,34	0,0917	
C ²	406,06	1	406,06	102,85	0,0002	
Residual	37,62	1	37,62	9,53	0,0273	
Lack of Fit	19,74	5	3,95			Tidak signifikan
Pure Error	17,89	3	5,96	6,44	0,1374	
Cor Total	1,85	2	0,93			
	1342,90	14				

R² = 0,9853; Adj-R² = 0,9588.

Tabel 5. ANOVA untuk model kuadrat hasil eksperimen TSS proses fenton

Source	Sum of Square	Df	Mean Square	F value	P-value Prob>F	Karakteristik
Model	1102,86	9	122,54	34,29	0,0006	Signifikan
A-pH	350,95	1	350,95	98,19	0,0002	
B-FeSO ₄ ·7H ₂ O	163,52	1	163,52	45,75	0,0011	
C-H ₂ O ₂	230,28	1	230,28	64,43	0,0005	
AB	62,76	1	62,76	17,56	0,0086	
AC	2,85	1	2,85	0,80	0,4128	
BC	3,19	1	3,19	0,89	0,3883	
A ²	17,08	1	17,08	4,78	0,0805	
B ²	266,66	1	266,66	74,61	0,0805	
C ²	27,30	1	27,30	7,64	0,0003	
Residual	17,87	5	3,57	1,39	0,0397	Tidak signifikan
Lack of Fit	12,07	3	4,02		0,4450	
Pure Error	5,80	2	2,90			
Cor Total	1120,73	14				

$R^2 = 0,9841$; $Adj-R^2 = 0,9554$

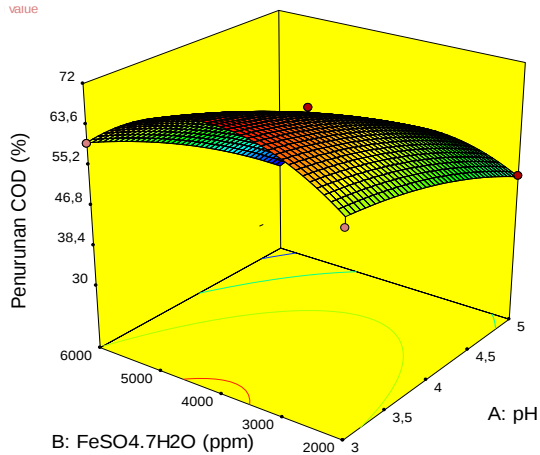
3.3. Pengaruh Konsentrasi FeSO₄·7H₂O dan H₂O₂, serta pH terhadap Penurunan COD

Gambar 1 menunjukkan pengaruh pH dan konsentrasi FeSO₄·7H₂O terhadap penurunan COD pada konsentrasi H₂O₂ tetap 5000 ppm. Persen penurunan COD meningkat seiring dengan menurunnya pH. Persen penurunan COD yang paling tinggi diperoleh pada pH 3 yaitu 65,04 persen. Tiwari dan Upadhyay (2013) menyatakan bahwa reaksi Fenton efektif dalam kondisi asam dimana ion Fe(II) yang dilepaskan ke dalam larutan lebih banyak. Ion Fe(II) ini bertindak sebagai katalis dalam dekomposisi H₂O₂ menghasilkan radikal hidroksil.

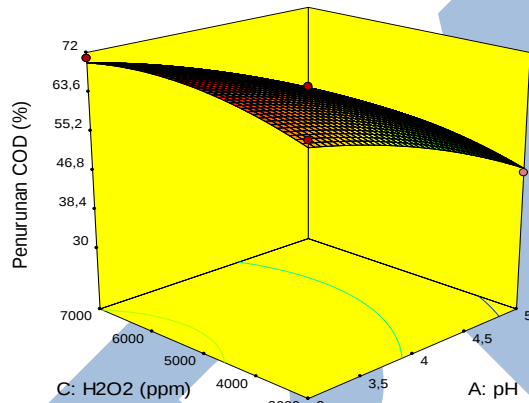
Pada pH yang sangat rendah, H₂O₂ membentuk ion oksonium, H₃O₂⁺. Ion oksonium meningkatkan kestabilan H₂O₂ dan mengurangi kereaktifitasnya dengan ion Fe(II). Sehingga reaksi antara ion Fe(II) dan H₂O₂ berjalan dengan lebih lambat. Menurut Hasan dan Hameed (2011), kondisi sangat asam juga menghasilkan spesi kompleks [Fe(H₂O)₆]²⁺ dan [Fe(H₂O)₆]³⁺ yang bereaksi lambat dengan peroksida. Pada pH 5, persen penurunan COD diperoleh hanya 42 persen. Hal ini terjadi karena FeSO₄·7H₂O terpresipitasi menjadi kompleks ferri hidroksida, [Fe(OH)₃] (Mandal dkk., 2010). Sedangkan pada konsentrasi FeSO₄·7H₂O 4000 ppm, persen penurunan COD maksimum dicapai. Pada konsentrasi tersebut, ion Fe(II) yang berada dalam larutan lebih banyak sehingga ion-ion Fe(II) mempercepat proses dekomposisi hidrogen peroksida yang menyebabkan laju oksidasi lebih cepat.

Menurut Qiu dkk. (2013), peningkatan konsentrasi FeSO₄·7H₂O melewati konsentrasi kritisnya, reaksi Fenton tidak mampu mengoksidasi lebih lanjut karena keberadaan ion Fe(II) dalam larutan sudah berlebih. Kondisi ini menyebabkan terjadinya kompetisi antara ion Fe(II) yang berlebih dengan komponen-komponen organik untuk bereaksi dengan radikal hidroksil. Kondisi ini disebut rekombinasi radikal hidroksil (Kumar dkk., 2012).

Gambar 2 menunjukkan pengaruh pH dan konsentrasi H₂O₂ terhadap penurunan COD pada konsentrasi FeSO₄·7H₂O tetap 4000 ppm. Persen penurunan COD meningkat seiring dengan naiknya konsentrasi H₂O₂. Saat konsentrasi H₂O₂ berada di atas konsentrasi kritisnya, persen penurunan COD mulai terjadi pengurangan. Pada konsentrasi H₂O₂ antara 5000 dan 6000 ppm dicapai persen penurunan COD maksimal yaitu 67 persen. Menurut Mandal dkk. (2010), semakin banyak hidrogen peroksida yang bereaksi dengan FeSO₄·7H₂O maka akan semakin banyak radikal hidroksil yang dihasilkan untuk mengoksidasi komponen organik dalam LCPKS. Akan tetapi, saat konsentrasi H₂O₂ di atas 6000 ppm, persen penurunan CODnya menjadi lebih sedikit. Hal ini disebabkan oleh adanya efek *scavenging* yang ditimbulkan dari konsentrasi H₂O₂ yang berlebih (Qiu dkk., 2013). H₂O₂ akan berperan sebagai antioksidan untuk hidroksil radikal. Sedangkan pH memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan persen penurunan COD, dimana semakin besar pH dalam LCPKS maka semakin rendah persen penurunan yang terjadi (Nannan dkk., 2015).



Gambar 1. Pengaruh pH dan konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ terhadap penurunan COD (waktu reaksi 4 jam, konsentrasi H_2O_2 5000 ppm).



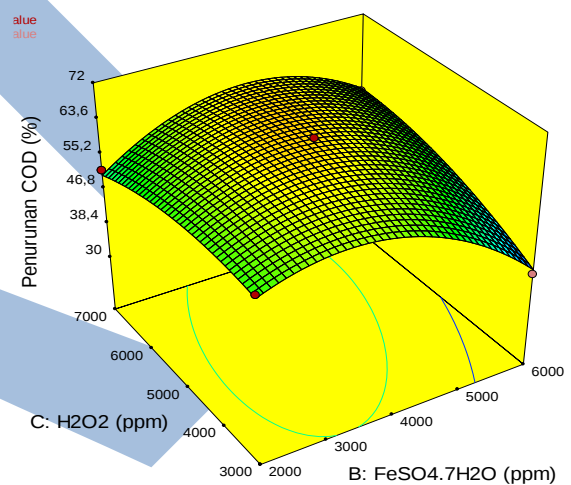
Gambar 2. Pengaruh pH dan konsentrasi H_2O_2 terhadap penurunan COD (Waktu Reaksi 4 Jam, Konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 4000 ppm).

3.4. Pengaruh Konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan H_2O_2 terhadap Penurunan COD dan TSS

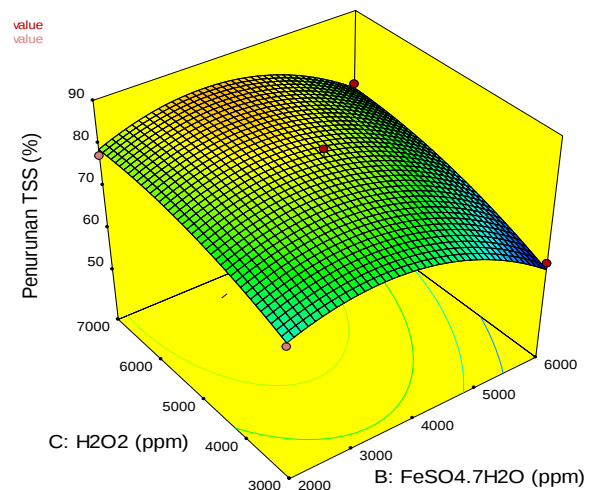
Pengaruh Konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan konsentrasi H_2O_2 terhadap penurunan COD pada pH tetap 4 dapat dilihat pada Gambar 3. Konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan konsentrasi H_2O_2 memiliki kecenderungan yang hampir sama terhadap persen penurunan COD, dimana semakin besar konsentrasi keduanya, maka akan semakin tinggi persen penurunan COD yang terjadi.

Gambar 4 menunjukkan pengaruh konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan konsentrasi H_2O_2 terhadap penurunan TSS pada pH tetap 4. semakin besar konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ maka semakin tinggi persen penurunan TSS hingga pada konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ tertentu yaitu

4000 ppm. Saat konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ di atas 4000 sampai 6000 ppm, persen penurunan TSS yang diperoleh berkurang, karena Fe^{3+} bereaksi dengan $\text{HO}_2^\cdot$ sehingga reaksi terhadap $^\cdot\text{OH}$ berkurang (Hashemian, 2013). Sedangkan semakin tinggi konsentrasi H_2O_2 maka semakin besar penurunan TSS yang terjadi dari 3000 sampai 7000 ppm. Hal ini disebabkan oleh peran Fe^{+3} dalam mendegradasi H_2O_2 menjadi $^\cdot\text{OH}$ pada proses fenton. Plot konturnya menunjukkan bahwa persen penurunan TSS maksimal diperoleh pada konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ mendekati 4000 ppm dan konsentrasi H_2O_2 berada antara 6000 – 7000 ppm dengan penurunan TSS sebesar 80,16 persen.



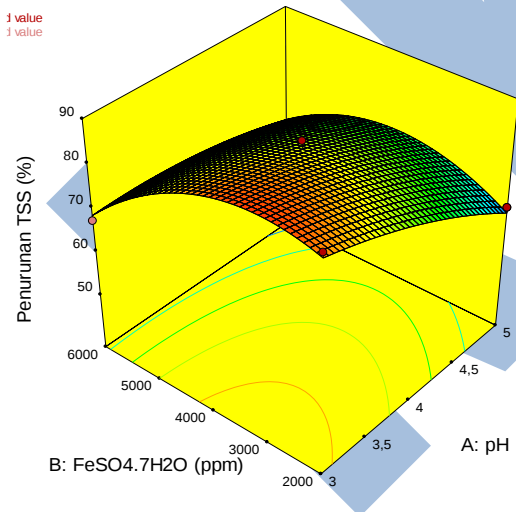
Gambar 3. Pengaruh konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan konsentrasi H_2O_2 terhadap Penurunan COD (Waktu Reaksi 4 Jam, pH 4).



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan konsentrasi H_2O_2 terhadap penurunan TSS (waktu reaksi 4 jam, pH 4).

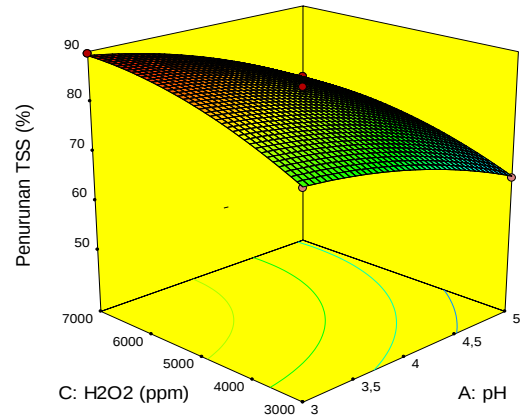
3.5. Pengaruh pH, Konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan H_2O_2 terhadap Penurunan TSS

Gambar 5 memperlihatkan pengaruh pH dan konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ terhadap persen penurunan TSS pada konsentrasi H_2O_2 tetap 5000 ppm. Persen penurunan TSS semakin meningkat dengan turunnya pH. Dalam penurunan TSS, pH berpengaruh pada stabilisasi suspensinya. Pada pH 3, flok-flok lebih banyak terbentuk sehingga kadar padatan tersuspensi dalam LCPKS lebih besar penurunannya. Pada pH 5, persen penurunan TSS masih rendah dalam LCPKS. Menurut Saifuddin dan Dinara (2011), hal ini terjadi karena *dissolution* dari flok yang terbentuk yang dapat menaikkan kembali kadar padatan tersuspensi. Kondisi tersebut membuat penurunan TSS yang terjadi hanya sedikit. Sedangkan semakin besar konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (dari 2000 ppm ke 3500 ppm) maka semakin besar penurunan TSS. Saat konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ di atas 3500 ppm, persen penurunan TSS mulai berkurang. Hal ini terjadi karena koloid terdispersi kembali ke dalam LCPKS.

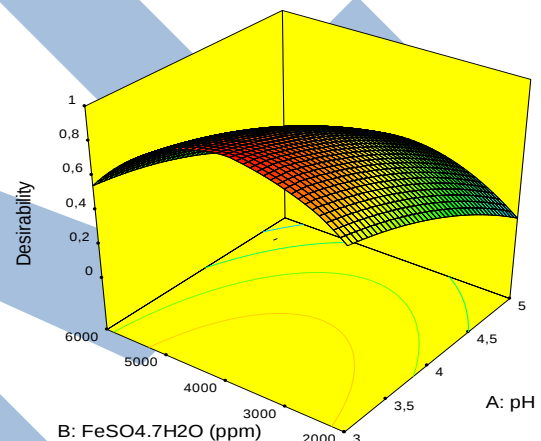


Gambar 5. Pengaruh pH dan konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ terhadap persen penurunan TSS (waktu reaksi 4 jam, konsentrasi H_2O_2 5000 ppm).

Pengaruh pH dan konsentrasi H_2O_2 terhadap penurunan TSS pada konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ tetap 4000 ppm dapat dilihat pada Gambar 6. Persen penurunan TSS meningkat tajam dengan naiknya konsentrasi H_2O_2 . Sementara itu, semakin tinggi pH maka semakin rendah persen penurunan TSS yang terjadi. Selanjutnya plot kondisi optimum proses Fenton secara 3D diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Pengaruh pH dan konsentrasi H_2O_2 terhadap persen penurunan TSS (waktu reaksi 4 jam, konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 4000 ppm).



Gambar 7. Plot 3D *response surface* pada kondisi optimum Fenton.

3.6. Optimasi Fenton

Hasil optimasi memberikan delapan solusi proses Fenton yang dapat dipilih untuk menghasilkan prediksi respon yang optimal yang ditunjukkan Tabel 6. Solusi nomor lima dipilih sebagai prediksi kondisi optimum karena tingkat desirabilitasnya tinggi yaitu 0,992 dan persen penurunan COD yang dihasilkan juga tinggi. Solusi nomor 6 menghasilkan persen penurunan COD yang lebih rendah dari solusi nomor 5. Sedangkan solusi nomor 7 memiliki desirabilitas yang lebih rendah dari solusi nomor 5 dan 6. Oleh karena itu, prediksi kondisi optimum proses Fenton dalam penelitian ini berada pada pH 3,00, konsentrasi $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sebesar 3741,96 ppm dan konsentrasi H_2O_2 sebesar 6314,69 ppm dengan persen penurunan COD sebesar 70,3551% dan persen penurunan TSS dan sebesar 89,5548%. Desirabilitas kondisi optimum sebesar 0,992.

Tabel 6. Solusi optimasi pengolahan LCPKS fenton

No.	pH	FeSO ₄ ·7H ₂ O	H ₂ O ₂	Penurunan COD (%)	Penurunan TSS (%)	Desirabilitas
1	3,00	3731,55	6335,30	70,2983	89,6099	0,992
2	3,00	3739,22	6353,19	70,2972	89,6100	0,992
3	3,00	3722,85	6306,04	70,3103	89,5976	0,992
4	3,00	3745,77	6368,58	70,2959	89,6099	0,992
5	3,00	3741,96	6314,66	70,3551	89,5548	0,992
6	3,00	3704,14	6275,48	70,2927	89,6095	0,992
7	3,00	3687,27	6156,26	70,3803	89,4897	0,991
8	3,00	3703,52	5586,43	70,7704	88,3897	0,978

Plot 3D menunjukkan desirabilitas tertinggi berada pada pH 3, konsentrasi FeSO₄·7H₂O 4000 ppm yaitu sebesar 0,978. pH optimum yang diperoleh dalam penelitian ini sesuai dengan penelitian Zazouli dkk. (2012), Sievers (2011), Mert dkk. (2010), Ertugay dan Malkoc (2013) dan Yan dkk. (2014). Hasil verifikasi pada kondisi optimum pH 3,00, konsentrasi FeSO₄·7H₂O sebesar 3703,52 ppm dan konsentrasi H₂O₂ sebesar 5586,43 ppm diperoleh penurunan COD sebesar 70,7704% dan penurunan TSS sebesar 88,3897%. Dari kedua hasil optimasi di atas, maka dapat diasumsikan bahwa model kuadrat yang diperoleh dapat menentukan kondisi optimum untuk pengolahan LCPKS dengan Fenton.

4. Kesimpulan

Reaksi Fenton mengikuti model persamaan kuadrat yang berkontribusi pada kemampuan pH, konsentrasi FeSO₄·7H₂O, konsentrasi FeCl₃·6H₂O dan konsentrasi H₂O₂ untuk menurunkan COD dan TSS dalam LCPKS. Kondisi optimum Fenton berada pada pH 3,00, konsentrasi FeSO₄·7H₂O sebesar 3703,52 ppm dan konsentrasi H₂O₂ sebesar 5586,43 ppm diperoleh penurunan COD sebesar 70,7704% dan penurunan TSS sebesar 88,3897%. Penelitian membuktikan bahwa desain Box-Behnken dapat mengoptimalkan penurunan COD dan penurunan TSS, sehingga dapat meminimumkan jumlah eksperimen dan biaya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pimpinan PT. Pupuk Iskandar Muda (PT. PIM) Lhokseumawe yang telah memberikan fasilitas laboratorium untuk pelaksanaan penelitian ini dan PT. Syaukath Sejahtera yang telah memberikan izin pengambilan sampel.

Daftar Pustaka

- Alalm, M. G., Tawfik, A. (2013) Fenton and solar photo fenton oxydation of industrial waste containing pepticides, *International Water Technology Conference, IWTC 17, Istanbul*, 1 – 10.
- Alver, A., Basturk, T., Ahmed, K., Karatas, M. (2015) Biodegradability of olive-oil mill effluent through advanced oxidation process, *process safety and environment Protection*, 98, 319 – 324.
- Bokare, A. D., Choi, W. (2014) Review of iron-free Fenton-like systems for activating H₂O₂ in advanced oxidation processes, *Journal of Hazardous Materials*, 275, 121 – 135.
- Ding, Y., Zheng, J., Xia, X., Ren, T., Kan, J. (2016) Box-Behnken design for the optimization of nanoscale retrograded starch formation by high-power ultrasonication, *LWT – Food Science and Technology*, 67, 206 – 213.
- Ertugay, N., Malkoc, E. (2013) Removal of acid red 92 by homogeneous and heterogeneous fenton and fenton like processes, *ICOEST 2013-CAPPADOCIA. Urgup, Turkey*, 18 – 21.
- Hanum, F. (2009) Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dari unit deoiling ponds menggunakan membran mikro-filtrasi, *M.S. Thesis*, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Hasan, H., Hameed, B. H. (2011) Fenton-like oxidation of acid red 1 solutions using heterogeneous catalyst based on ball clay, *International Journal of Environmental Science and Development*, 3, 218 – 222.

- Hashemian, S. (2013) Fenton like oxidation of malachite green solutions: kinetic and thermodynamic study, *Journal of Chemistry*, 13, 1 – 7.
- Henny, C. (2012) Kajian pengolahan limbah olahan kelapa sawit dengan sistem lahan basah buatan untuk pengendalian pencemaran di riau workshop teknologi industri kimia dan kemasan, *Laporan Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa*, LIPI, Jakarta.
- Ji, C. M., Eong, P. P., Ti, T. B., Seng, C. E., Ling, C. K. (2013) Biogas POME: opportunities and challenges from Malaysia's perspective, *Renewable and Sustainable Energy Review*, 26, 717 – 726.
- Kasnowati (2011) Penggunaan limbah sabut kelapa sawit sebagai bahan untuk mengolah limbah cair, *Jurnal ILTEK*, 6(12), 891 – 898.
- Kumar, M., Ulavi, S. U., Ramesh, H. S., Asha, G. (2012) Pre-treatment of coffee pulping wastewater by fenton's reagent, *Indian Journal of Chemical Technology*, 19, 213 – 217.
- Lam, M. K., Lee, K. T. (2011) Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): win-win strategies toward better environmental protection, *Journal of Biotechnology Advances*, 29, 124 – 141.
- Mandal, T., Maity, S., Dasgupta, D., Datta, S. (2010) Advanced oxidation process and biotreatment: their roles in combined industrial wastewater treatment, *Journal of Desalination*, 250, 87 – 94.
- Mert, B. K., Yonar, T., Yalili, M., Kestioglu, K. (2010) Pre-Treatment studies on olive mill effluent using physicochemical, fenton and fenton-like oxidations processes, *Journal of Hazardous Materials*, 174, 122 – 128.
- Nandiwale, K. Y., Bokade, V. V. (2016) Optimization by Box-Behnken experimental design for synthesis of *n*-hexyllevulinate biolubricant over hierarchical H-ZSM-5: An effort towards agricultural waste minimization, *Process Safety and Environmental Protection*, 99, 159 – 166.
- Nannan, W., Zheng, T., Zhang, G., Wang, P. (2015) A review on Fenton-like processes for organic wastewater treatment, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 762 – 787.
- Pahan, I. (2012) *Panduan Lengkap Kelapa Sawit: Manajemen Agribisnis dari Hulu Hingga Hilir*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kawasan Industri Minyak Sawit.
- Qiu, P., Cui, M., Kang, K., Park, B., Sun, Y., Khim, E., Jang, M., Khim, J. (2013) Application of Box-Behnken design with response surface methodology for modelling and optimizing ultrasonic oxidation of arsenite with H₂O₂, *Central European Journal of Chemistry*, 12, 164 – 172.
- Saifuddin, N., Dinara, S. (2011) Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using magnetic chitosan, *E-Journal of Chemistry*, 8(1), 67 – 78.
- Sievers, M. (2011) *Advanced Oxidation Processes*, CUTEC Institut, Germany.
- Tiwari, A. K., Upadhyay, V. K. (2013) Fenton reagent dose calculation with respect to COD value and the process requirement optimization for effective oxydation of aqueous mother liquor effluent of api manufacturing industry at large scale, *International Journal of Advanced Research*, 1, 158 – 164.
- Yan, L., Wang, Y., Li, J., Ma, H., Li, T., Zhang, Y. (2014) Comparative study of different electrochemical methods for petroleum refinery wastewater treatment, *Desalination*, 341, 87 – 93.
- Zazouli, M. A., Yousefi, Z., Eslami, A., Ardebilian, M. B. (2012) Municipal solid waste landfill leachate treatment by fenton, photo-fenton and fenton-like processes, effect of some variables, *Journal Iranian Environment Health Science Engineering*, 9(3), 1 – 9.
- Zulkifli (2011) Optimasi proses densifikasi jerami padi sebagai bahan bakar alternatif, *Jurnal Teknologi*, 11(1), 1 – 7



Mesopori MCM-41 sebagai Adsorben: Kajian Kinetika dan Isotherm Adsorpsi Limbah Cair Tapioka

Mesoporous MCM-41 as Adsorbent: Study of Kinetics and Adsorption Isotherms of Tapioca Liquid Waste

Darmansyah^{1*}, Simparmin br. G.¹, Lisa Ardiana¹, Hens Saputra²

¹Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

²Pusat Teknologi Industri Proses – TIRBR, BPPT, Jakarta, Indonesia

*E-mail: darmansyah82@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian penggunaan material aluminasilikat MCM-41 sebagai adsorben limbah cair tapioka. Dalam penelitian ini dipelajari permodelan isothermal dan kinetika adsorpsi dari material MCM-41 pada proses adsorpsi limbah cair tapioka. Isothermal Langmuir dan Freundlich digunakan sebagai permodelan isothermal data penelitian. Dari data penelitian yang diperoleh pada konsentrasi COD sebesar 416 - 784 mg/L, proses adsorpsi limbah cair tapioka oleh MCM-41 sesuai dengan pendekatan isothermal Langmuir. Kapasitas maksimum adsorpsi MCM-41 diperoleh dari pendekatan Langmuir adalah sebesar 15,92 mg/g. Model kinetika pseudo-orde pertama dan pseudo-orde kedua digunakan untuk analisis kinetika adsorpsi pada data penelitian. Model kinetik pseudo-orde pertama yang sesuai dengan proses adsorpsi limbah cair tapioka dengan laju penyerapan adalah $7,48 \times 10^{-2}$ dan $7,37 \times 10^{-2}$ g/(min-mg) untuk konsentrasi awal secara berturut-turut adalah 608 dan 784 mg/L.

Kata kunci: adsorpsi, kinetika adsorpsi, limbah cair, MCM-41, tapioka

Abstract

Aluminasilicate MCM - 41 material was studied as an adsorbent for tapioca wastewater. The adsorption isotherm modeling and adsorption kinetics of MCM - 41 to the liquid waste of tapioca was investigated. Langmuir and Freundlich isotherms were applied to describe the experimental data. Equilibrium data fitted well to the Langmuir model for COD concentration range of 416 - 784 mg/L. The maximum adsorption capacity of the MCM-41 obtained from the Langmuir model was 15.92 mg/g. The pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic models were employed to describe the kinetic data. The experimental data fitted well to the pseudo-first-order kinetic model with constant rates 7.48×10^{-2} and 7.37×10^{-2} g/(min-mg) for initial concentrations 608 and 784 mg/L, respectively.

Keywords: adsorption, kinetic adsorption, MCM-41, tapioca, wastewater

1. Pendahuluan

Provinsi Lampung adalah salah satu daerah penghasil tepung tapioka terbesar di Indonesia (Darmansyah dkk., 2016; BPS, 2014). Beberapa industri tapioka yang ada mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan gerak roda perekonomian di provinsi Lampung khususnya di Kabupaten Lampung Utara, Lampung Tengah dan Lampung Timur (Dinas Perindustrian, 2014). Namun adanya industri tapioka ini dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar di tempat industri tapioka tersebut berada.

Dampak negatif yang ada pada daerah industri tersebut salah satunya adalah limbah cair yang mencemari badan air sehingga kualitas air menurun karena terjadi

proses penguraian bahan organik yang terkandung di dalam limbah cair tapioka.

Bahan organik akan dipecah menjadi senyawa sulfida dan senyawa fosfor yang menimbulkan bau busuk. Selain itu juga dihasilkan gas beracun berupa metana, amoniak, dan karbondioksida yang dapat mengganggu kehidupan akuatik (Setiawaty dkk., 2012). Untuk menghindari timbulnya bau busuk dan terpaparnya gas beracun ke lingkungan, maka perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum limbah cair tapioka dibuang ke lingkungan. Sementara itu, untuk limbah yang telah terbuang ke lingkungan harus diturunkan kandungan bahan organik sampai pada ambang batas yang aman bagi kesehatan manusia dan biota lainnya (KLH, 2013).

Salah satu proses yang dapat dilakukan untuk mengurangi kandungan bahan organik yaitu dengan proses adsorpsi. Adsorpsi adalah proses fisik atau kimia dimana senyawa berakumulasi di permukaan (*interface*) antar dua fase. *Interface* merupakan suatu lapisan yang homogen antara dua permukaan yang saling berkontak. Substansi yang diserap disebut adsorbat sedangkan material yang berfungsi sebagai penyerap disebut adsorben (Horinek dkk., 2009).

Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi antara lain:

1. Luas permukaan adsorben yang besar, sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi.
2. Memiliki aktifitas terhadap adsorbat.
3. Memiliki daya tahan guncang yang baik.
4. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi.

Berdasarkan karakteristik adsorben tersebut maka pada penelitian ini digunakan adsorben mesopori MCM-41 untuk proses adsorpsi bahan organik limbah cair tapioka. Mesopori MCM-41 memiliki pori berbentuk batang yang tersusun dalam kemasan heksagonal berdimensi-1 dengan ukuran pori yang seragam, dan luas permukaan spesifik maupun volume pori yang besar (Araujo dkk., 2007). Sifat mesopori MCM-41 dapat memberikan akses kepada molekul berukuran relatif besar dan memberikan kemudahan terjadinya difusi, hal ini tidak dimiliki oleh bahan mikropori seperti zeolit (Ginting, 2009).

Proses adsorpsi pada permukaan padatan adsorben terjadi karena adanya interaksi elektrostatis, pertukaran ion, interaksi ion-dipol, koordinasi permukaan kation, ikatan hidrogen, dan interaksi hidrofobik (Qin, 2007). Adsorpsi yang dilakukan material MCM-41 terhadap limbah cair tapioka ini bertujuan untuk mengurangi nilai COD yang dimiliki oleh limbah tersebut. Semakin tinggi nilai COD menunjukkan bahwa kandungan bahan organik di dalam limbah cair tinggi.

Bahan organik yang terdapat dalam limbah cair ini terdiri dari karbohidrat dalam bentuk pati, lemak, dan protein. Bahan organik ini sebagian besar bersifat non-polar, sehingga dapat diadsorpsi oleh MCM-41 yang bersifat hidrofobik, material MCM-41 yang digunakan adalah memiliki rasio Si/Al 60 mol/mol. Material MCM-41 mampu mengadsorpsi bahan organik yang bersifat non-polar. Berkurangnya bahan organik yang bersifat non-polar akan mengurangi nilai COD limbah cair tapioka. Adsorpsi ini terjadi karena adanya

interaksi hidrofobik antara material MCM-41 dengan bahan organik yang bersifat non-polar.

Berdasarkan penelitian terdahulu juga telah dilakukan aplikasi material MCM-41 yang bersifat hidrofobik terhadap nitrobenzen yang bersifat hidrofobik, dimana adsorpsi MCM-41 terhadap nitrobenzen terjadi secara cepat, dan model isothermal Langmuir sesuai dengan proses adsorpsi nitrobenzen. Kapasitas maksimum penyerapan nitrobenzen oleh adsorben MCM-41 menurun dari mula-mula 3,705 $\mu\text{mol/g}$ menjadi 1,841 $\mu\text{mol/g}$ dengan meningkatnya suhu dari 278 K ke 308 K pada pH 5,8 (Qin, 2007).

Isotermal adsorpsi menunjukkan konsentrasi yang bergantung pada kesetimbangan distribusi ion-ion logam antara larutan dan fase padat pada suhu tetap. Untuk mendapatkan data kesetimbangan, konsentrasi awal dibuat bervariasi sedangkan massa adsorben dalam tiap sampel tetap. Untuk menguji hubungan data antara adsorben dan konsentrasi larutan pada kesetimbangan digunakan model isothermal adsorpsi yaitu model isothermal Langmuir dan Freundlich (Nomanbhay dan Palanisamy, 2005).

Model adsorpsi isothermal ini digunakan untuk menentukan proses adsorpsi adsorben terhadap adsorbat serta mengetahui besarnya kapasitas maksimum adsorben terhadap adsorbat. Model isothermal Langmuir merupakan suatu proses adsorpsi satu lapis (*monolayer*) artinya jumlah situs aktif yang ada dalam adsorben mengadsorpsi adsorbat dengan jumlah yang sama sedangkan isotherm Freundlich menggambarkan suatu proses adsorpsi multilayer sehingga lebih berinteraksi secara fisisorpsi (Ahda, 2013). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pemodelan isothermal adsorpsi serta kinetika adsorpsi MCM-41 terhadap limbah cair tapioka serta besarnya kapasitas maksimum MCM-41 pada proses adsorpsi.

2. Metodologi

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah labu erlenmeyer 250 ml, *magnetic stirrer*, *stopwatch*, gelas ukur, neraca analitik, pipet tetes, gelas beaker, buret, oven, kertas saring, dan pH meter.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminasilkat MCM-41, air limbah tapioka dengan nilai COD 416 – 784 mg/L, HNO_3 , natrium tiosulfat 0,05 N, larutan

kanji 2%, KMnO_4 0,1 N, H_2SO_4 6 M, dan larutan KI 10%.

2.2. Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi MCM-41 terhadap limbah dilakukan pada labu erlenmeyer ukuran 250 mL, temperatur 25°C dengan pengadukan pada 600 rpm selama 100 menit. Adsorben aluminasilikat MCM-41 sebanyak 1 gram dicampur dengan 100 mL air limbah tapioka dengan variasi nilai COD awal yaitu 416 mg/L, 480 mg/L, 512 mg/L, 576 mg/L, 608 mg/L, dan 784 mg/L dengan pH awal 3 dilakukan dengan variasi waktu 0 menit, 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, 60 menit, 70 menit, 80 menit, 90 menit. Kemudian dilakukan pemisahan campuran antara limbah cair tapioka dan MCM-41 dengan menggunakan kertas saring untuk memisahkan padatan dan cairan. Setelah itu limbah cair diasamkan dengan menambahkan 2% HNO_3 untuk menurunkan pH sampai dibawah 3.

2.3. Analisis COD

Limbah cair dianalisis untuk mengetahui kandungan COD di dalamnya dengan menggunakan metode titrasi. Metode titrasi dilakukan dengan memasukkan 50 mL larutan sampel ke dalam labu erlenmeyer 250 mL, ditambahkan 5 mL KMnO_4 0,1 N dan dipanaskan selama satu jam dalam oven. Kemudian didinginkan selama 10 menit, lalu ditambahkan larutan KI 10% dan 10 mL H_2SO_4 6 M. Setelah itu, dititrasi dengan larutan thiosulfat 0,05 N sampai warna kuning, lalu ditambahkan 1 - 2 ml indikator kanji sampai timbul warna biru dan kemudian titrasi dilanjutkan sampai warna biru hilang. Metode analisis ini dilakukan pada limbah cair sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Perhitungan kadar COD ditentukan dengan persamaan (1).

$$\text{COD} = \frac{(V_b - V_s) \times N_{\text{thio}} \times M_{r, \text{O}_2} \times 1000}{V_{s0}} \quad (1)$$

Dimana:

V_{s0} = volume natrium thiosulfat pada titrasi sampel awal (limbah cair sebelum adsorpsi, mL)

V_s = volume natrium thiosulfat pada titrasi sampel (limbah cair setelah adsorpsi, mL)

V_b = volume natrium thiosulfat pada titrasi blanko (limbah cair sebelum adsorpsi, mL)

N_{thio} = normalitas natrium thiosulfat (0,05N)
 M_{r, O_2} = Massa relatif O_2 (32 gram/mol)

Metode-metode yang digunakan antara lain adalah sebagai berikut.

2.4. Isotermal Langmuir

Isotermal Langmuir mengasumsikan adsorpsi lapisan tunggal pada permukaan yang mengandung sejumlah tertentu pusat adsorpsi dengan energi-energi adsorpsi yang seragam tanpa perpindahan adsorbat pada bidang permukaan. Bentuk linear dari persamaan isotermal Langmuir ditunjukkan pada persamaan (2).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{mb}} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

C_e adalah konsentrasi kesetimbangan (mg/L), q_e adalah jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan (mg/g), q_m adalah kapasitas adsorpsi maksimal dan b adalah konstanta Langmuir.

2.5. Isotermal Freundlich

Isotermal Freundlich ini digunakan pada energi permukaan yang heterogen dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Bentuk linear dari isoterm Freundlich ditunjukkan oleh persamaan (3).

$$\ln q_e = \frac{1}{n} \ln C_e + \ln K_f \quad (3)$$

C_e adalah konsentrasi kesetimbangan (mg/L), q_e adalah jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan (mg/g), K_f merupakan konstanta Freundlich (Namasivayam, 2001). Pada kedua persamaan model isotermal, terdapat C_e dimana C_e diperoleh dari data penelitian yaitu besarnya konsentrasi COD yang tetap terhadap perubahan waktu. Sedangkan q_e dihitung dengan persamaan (4).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{W} \quad (4)$$

Dimana:

C_e = konsentrasi kesetimbangan (mg/liter)

C_0 = konsentrasi awal (mg/liter)

V = volume sampel (0,1 liter)

W = berat adsorben (1 gram)

Model kinetika yang dipilih untuk kajian sistem adsorpsi limbah cair tapioka material aluminasilikat MCM-41 ini diantaranya pseudo orde-pertama, pseudo orde-kedua, berdasarkan pada kapasitas adsorpsi dengan laju penyerapan.

2.6. Model Kinetika Pseudo Orde Pertama

Persamaan kinetik orde pertama pseudo dinyatakan seperti pada persamaan (5).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (5)$$

integrasi pada kondisi $t = 0 - t$ dan $q_t = 0 - q_t$, maka persamaan menjadi:

$$\ln\left(\frac{q_e}{q_e - q_t}\right) = K_1 t \quad (6)$$

Dan bentuk linearnya adalah:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \quad (7)$$

Dengan q_e dan q_t adalah jumlah adsorbat yang terserap pada waktu kesetimbangan dan waktu t (mg/g), k_1 tetapan laju pseudo orde-pertama (min^{-1}) proses adsorpsi. Nilai q_e dan k_1 didapat dari plot $\ln(q_e - q_t)$ versus t , dengan k_1 slope dan q_e intercept (Bhattacharyya dan Gupta, 2008; Al-Degs dkk., 2006; Crini dkk., 2007; Gupta dan Babu, 2009; Naiya dkk., 2009).

2.7. Model Kinetika Pseudo Orde Kedua

Model kinetika orde kedua dinyatakan seperti persamaan 8.

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (8)$$

Pada batas $t = 0 - t$ dan $q_t = 0 - q_t$, maka bentuk linear dari integrasinya ditulis seperti persamaan 9.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (9)$$

Parameter q_e (mg/g) dan k_2 (g/mg.min) dihitung dari plot t/q_t versus t , dengan $h = k_2 q_e^2$ (mg/g.min) adalah laju serapan awal pada $t \rightarrow 0$ (Crini dkk., 2007; Mane dkk., 2007; Anirudhan dan Radhakrishnan, 2008; Gupta dan Bhattacharyya, 2005; Gupta dan Babu, 2009).

3. Hasil dan Pembahasan

Untuk menentukan isothermal adsorpsi dan kapasitas adsorpsi dilakukan percobaan adsorpsi dengan variasi konsentrasi awal dari COD limbah cair tapioka.

3.1. Kapasitas Adsorpsi

Hasil penelitian adsorpsi selama 90 menit dengan perbandingan adsorben sebesar 1% terhadap limbah cair tapioka diperlihatkan

pada Tabel 1. Adsorpsi ini dengan variasi konsentrasi COD awal dilakukan dengan MCM-41 pada rasio Si/Al 60 mol/mol. Dapat disimpulkan bahwa jumlah konsentrasi COD berkurang seiring bertambahnya waktu kontak pada rentang waktu kontak dari 0 - 70 menit. Kemudian pada rentang waktu kontak antara 70 - 90 menit jumlah konsentrasi COD tidak mengalami perubahan.

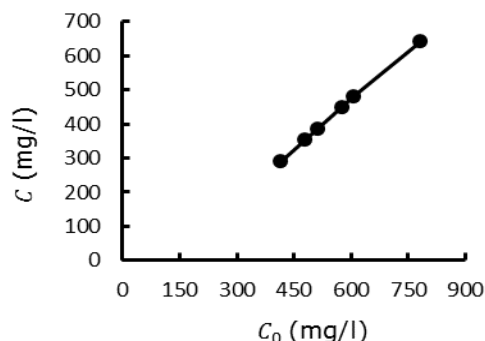
Hubungan konsentrasi awal COD terhadap konsentrasi kesetimbangannya diperlihatkan pada Gambar 1. Dapat terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi awal, maka semakin tinggi konsentrasi kesetimbangan COD. Hal ini terjadi karena pada konsentrasi adsorbat tinggi, jarak antar partikel menjadi semakin dekat sehingga adsorbat yang diserap akan semakin banyak. Hal ini ditandai dengan kapasitas penyerapan yang tinggi. Dimana konsentrasi kesetimbangan COD adalah konsentrasi COD pada proses adsorpsi yang sudah tidak mengalami perubahan terhadap waktu.

Tabel 1. Hasil penelitian adsorpsi COD selama 90 menit

Waktu	COD ₁	COD ₂	COD ₃	COD ₄	COD ₅	COD ₆
0	784	608	576	512	480	416
10	736	560	560	512	464	400
20	720	560	560	496	432	352
30	704	528	528	480	400	352
40	688	528	528	480	400	336
50	672	512	512	448	384	320
60	672	496	496	448	368	304
70	640	480	448	384	352	288
80	640	480	448	384	352	288
90	640	480	448	384	352	288

Waktu : waktu adsorpsi (menit)

COD_{1,2,3,4,5,6} : COD awal (mg/L)



Gambar 1. Hubungan konsentrasi awal terhadap konsentrasi kesetimbangan

3.2. Isothermal adsorpsi

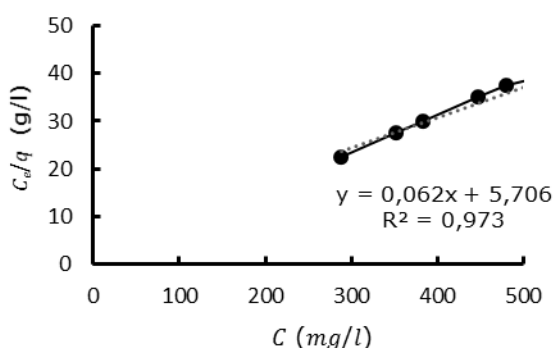
Adsorpsi isothermal yang sesuai dengan adsorpsi limbah cair tapioka didapatkan dengan menghitung nilai q_e dari persamaan 3. Selanjutnya hasil perhitungan untuk semua kondisi penelitian ditabulasikan pada

Tabel 2. Lebih detail, pada Tabel 2 juga ditampilkan data hasil penelitian untuk parameter C_0 dan C_e . Berdasarkan data pada Tabel 2, dibuat kurva untuk mengetahui kapasitas maksimum adsorpsi dan isothermal adsorpsi yang sesuai dengan adsorpsi limbah cair tapioka. Kurva dibuat dengan memplotkan hubungan antara C_e/q_e dan C_e untuk isothermal Langmuir, dan $\ln C_e$ dan $\ln q_e$ untuk isothermal Freundlich.

Tabel 2. Jumlah konsentrasi kesetimbangan adsorbat

C_0	C_e	Q_e	C_e/q_e	$\ln C_e$	$\ln q_e$
416	288	12,8	22,5	5,66	2,54
480	352	12,8	27,5	5,86	2,54
512	384	12,8	30,0	5,95	2,54
576	448	12,8	35,0	6,2	2,54
608	480	12,8	37,5	6,17	2,54
784	640	14,4	44,4	6,46	2,66

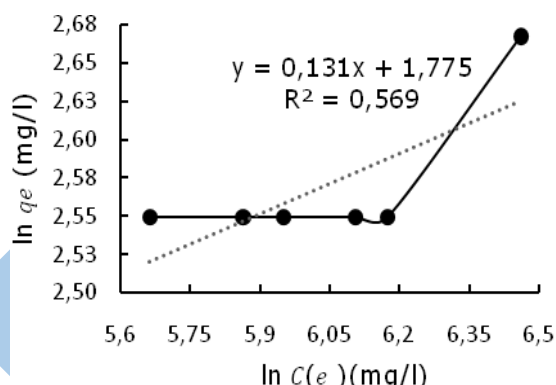
Persamaan isotherm Freundlich merupakan sebuah persamaan eksponensial. Oleh karena itu dalam persamaan Freundlich ini, K dan $1/n$ adalah konstanta Freundlich yang menyatakan tingkat adsorpsi dan faktor heterogenitas. Sehingga isotherm Freundlich ini digunakan untuk menggambarkan sistem yang heterogen. Untuk nilai $1/n > 1$, menunjukkan bahwa kejenuhan tidak tercapai, sebaliknya, pada kebanyakan sistem adsorpsi di mana $1/n < 1$, $1/n \rightarrow 0$, adsorben sudah jenuh dengan molekul adsorbat ketika energi adsorpsi menurun terhadap kerapatan permukaan.



Gambar 2. Isotherm Lagmuir

Gambar 2 merupakan grafik hasil hubungan C_e/q_e dan C_e . Dari hasil plotting data penelitian ini didapat persamaan berupa persamaan linier $y = 0,062x + 5,706$ dengan nilai $R^2 = 0,973$ ini menunjukkan bahwa pada grafik hasil hubungan antara

C_e/q_e dan C_e merupakan permodelan dari isothermal Langmuir. Kurva hubungan $\ln C_e$ dan $\ln q_e$ untuk isothermal Freundlich diperlihatkan pada Gambar 3. Dimana hasil plotting data penelitian menghasilkan persamaan linier, yaitu $y = 0,131x + 1,775$ dengan nilai $R^2 = 0,569$.



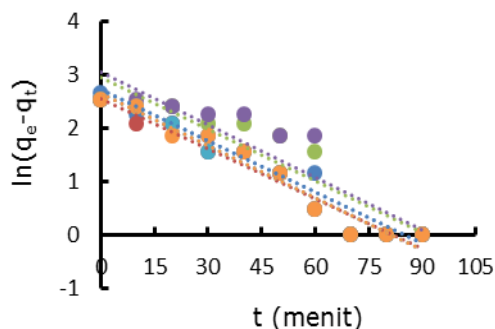
Gambar 3. Isotherm Freundlich

Dari Gambar 2 dan 3 didapatkan nilai yang terangkum dalam Tabel 3. Dari Tabel 3, terlihat bahwa nilai koefisien korelasi (R^2) yang tertinggi terdapat pada isothermal Langmuir, hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi limbah cair tapioka oleh MCM-41 memiliki pendekatan isotherm Langmuir dengan kapasitas maksimum penyerapan 15,923 mg/g. Dari penelitian terdahulu penyerapan COD dengan menggunakan *fly ash* batubara memiliki kapasitas maksimum penyerapan adalah sebesar 13,6 mg/g (Afrinata, dkk., 2010). Sehingga penyerapan COD dengan menggunakan MCM-41 sebagai adsorben lebih ini baik dibandingkan dengan menggunakan *fly ash* batubara.

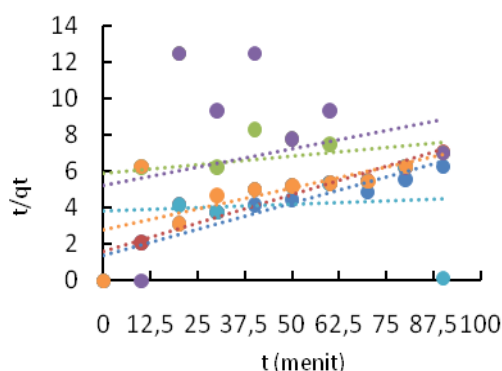
Kinetika adsorpsi dengan permodelan pseudo orde pertama, dilakukan dengan memplotkan $\ln(q_e - q_t)$ versus t ditunjukkan pada Gambar 4. Bentuk linear dari grafik ini memberikan tetapan laju k_1 , q_e dan R^2 seperti dalam Tabel 3. Sedangkan untuk pseudo orde kedua dilakukan dengan memplotkan t/q_t versus t dari persamaan 9 yang ditunjukkan pada Gambar 5. Bentuk linear dari grafik ini memberikan tetapan laju k_2 dan q_e .

Tabel 3. Parameter isothermal adsorpsi limbah cair tapioka

Isotherm Langmuir	
R^2	0,973
q_m (mg/g)	15,923
b (L/mg)	0,01101
Isotherm Freundlich	
R^2	0,569
K_f (mg/g)	5,902
$1/n$	0,1315



Gambar 4. Grafik model kinetika pseudo orde pertama adsorpsi COD limbah cair tapioka oleh MCM-41



Gambar 5. Grafik model kinetika pseudo orde kedua adsorpsi COD limbah cair tapioka oleh MCM-41

Pada Gambar 5 terlihat bahwa laju k_2 dan q_e tidak linear dengan nilai R^2 yang rendah. Terutama pengujian yang dilakukan pada COD_6 yang hanya memiliki nilai R^2 sebesar 0,0105. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan dengan adsorpsi pseudo orde kedua tidak sesuai dalam penelitian ini. Dari hasil perhitungan didapat nilai $COD_1 - COD_6$ berturut-turut adalah 0,877; 0,848; 0,0349; 0,0789; 0,4155; dan 0,0105.

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan nilai koefisien korelasi (R^2) tertinggi pada permodelan kinetika adsorpsi pseudo orde pertama. Nilai q_e perhitungan lebih mendekati dengan nilai q_e yang dihasilkan pada penelitian dibandingkan oleh permodelan kinetika adsorpsi pseudo orde kedua. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi yang dilakukan pada penelitian sesuai dengan permodelan kinetika adsorpsi pseudo orde pertama. Proses adsorpsi yang terjadi antara MCM-41 dengan limbah cair tapioka terjadi secara kemisorpsi, ini ditunjukkan dengan model isoterm Langmuir dengan adsorpsi pseudo orde pertama.

Tabel 4. Nilai parameter model kinetika adsorpsi COD limbah cair tapioka oleh MCM-41

<i>Pseudo-first orde kinetic model</i>			
	COD_1	COD_2	COD_3
R^2	0,947	0,952	0,844
K_1	0,0737	0,0721	0,0748
q_e (cal)	15,08	12,182	18,17
q_e (exp)	14,4	12,8	12,8
	COD_4	COD_5	COD_6
R^2	0,807	0,959	0,9551
K_1	0,0753	0,0748	0,0736
q_e (cal)	20,08	13,46	13,46
q_e (exp)	12,8	12,8	12,8
<i>Pseudo-second orde kinetic model</i>			
	COD_1	COD_2	COD_3
R^2	0,877	0,848	0,0349
K_2	1,0927	0,6528	0,000407
q_e (cal)	4,006	4,93	359,423
q_e (exp)	14,4	12,8	12,8
	COD_4	COD_5	COD_6
R^2	0,0789	0,4155	0,0105
K_2	0,000749	0,08842	0,0641
q_e (cal)	181,073	15,66	44,70
q_e (exp)	12,8	12,8	12,8

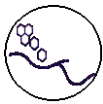
4. Kesimpulan

Proses adsorpsi limbah cair tapioka oleh material MCM-41 dipengaruhi oleh waktu kontak dan konsentrasi awal COD. Semakin tinggi konsentrasi awal COD maka semakin tinggi pula konsentrasi kesetimbangan COD. Waktu kontak optimum pada proses adsorpsi terjadi pada menit ke 70, hal ini terlihat pada jumlah konsentrasi COD yang tetap. Adsorpsi limbah cair tapioka oleh MCM-41 memiliki permodelan isotermal Langmuir dengan kapasitas maksimum penyerapan 15,923 mg/g, kinetika adsorpsi pseudo orde pertama yang sesuai dengan adsorpsi limbah cair tapioka.

Daftar Pustaka

- Afrinata, R., Fitria, D., Sari, P. R. (2010) Pemanfaatan fly ash batubara sebagai adsorben dalam penyisihan chemical oxygen demand (COD) dari limbah cair domestik (studi kasus: limbah cair Hotel Inna Muara, Padang), *Jurnal Teknik Unand*, 1(33), 81 – 93.
- Ahda, M. (2013) Sintesis silika MCM-41 dan uji kapasitas adsorpsi terhadap metilen biru, *Jurnal Ilmiah Kefarmasian*, 3(1), 1 – 8.
- Al-Degs, Y. S., El-Barghouthina, M. I., Issa, A. A., Khraishebb, M. A., Walker, G. M. (2006) Sorption of Zn(II), Pb(II), and Co(II) using natural adsorbents:

- Equilibrium and Kinetic Studies, *Water Research*, 40, 2645 – 2658.
- Anirudhan, T.S., Radhakrishnan, P.G. (2008) Thermodynamics and kinetic adsorption of Cu(II) from aqueous solution onto a new cation exchanger derived from tamarind fruit shell, *Journal Chemical Thermodynamics*, 40, 702 – 709.
- Araujo, R. S., Costa, F. S., Maia, D. A. S., Santana, H. B., Cavalcante Jr., C. L. (2007) Synthesis and characterization of Al- and Ti-MCM-41 materials: Application to oxidation of anthracene, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 24(1), 135 – 141.
- Badan Pusat Statistik (BPS) (2014) Jakarta.
- Bhattacharyya, K.G., Gupta, S.S. (2008) Influence of Acid activation on Adsorption of Ni(II) and Cu(II) on Kaolinite and Montmorillonite: Kinetic and Thermodynamic Study, *Chemical Engineering Journal*, 136, 1 – 13.
- Crini, G., Peindy, H.N., Gimbert, F., and Robert, C. (2007) Removal of C. I basic green 4 (malachite green) from aqueous solutions by adsorption using cyclodextrin-based adsorbent: kinetic and equilibrium studies, *Separation and Purification Technology*, 53, 97 – 110
- Darmansyah, Saputra, H., Simparmin, Br. G., Ardiana, L. (2016) Synthesis and characterization of MCM-41 from coal fly ash for tapioca wastewater treatment, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(7),
- Dinas Perindustrian Provinsi Lampung. (2014).
- Ginting, S. B. (2009) Analisis kinetika pertukaran ion NH_4^+ dan H^+ pada zeolit alam Lampung dengan *Shrinking Core Model*, *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 7(4), 197 – 204.
- Gupta, S. S., Bhattacharyya, K. G. (2005) Interaction of metal ions with clays: A case study with Pb(II), *Applied Clay Science*, 30, 199 – 208.
- Gupta, S. S., Babu, B. V. (2009) Removal of toxic metal Cr(VI) from aqueous solution using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies, *Chemical Engineering Journal*, 150, 352 – 365.
- Horinek, D., Herz, A., Vrbka, L., Sedlmeier, F., Mamatkulov, S. I., Netz, R. R. (2009) Specific ion adsorption at the air/water interface: the role of hydrophobic solvation, *Chemical Physics Letters*, 479 (2009), 173 – 183.
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). (2013) Jakarta.
- Mane, V. S., Mall, I. D., Srivasta, V. C. (2007) Kinetic equilibrium isotherm studies for adsorptive removal of brilliant green dye from aqueous solution by rice husk ash, *Journal of Environmental Management*, 84, 390 – 400.
- Naiya, T. K., Clowdhury, P., Bhattacharya, A. K., Das, S. K. (2009) Sawdust and neem bark as low cost natural biosorbent for adsorptive removal of Zn(II) and Cd(II) ions from aqueous solutions, *Chemical Engineering Journal*, 148, 86 – 99.
- Namasivayam, C. (2001) Uptake of dyes by a promising locally available agriculture solid waste: Coir Pith, *Waste Management*, 21, 381 – 387.
- Nomanbhay, S. M., Palanisamy, K. (2005) Removal of heavy metal from industrial wastewater using chitosan coated oil palm shell charcoal, *Electronic Journal of Biotechnology*, 8, 43 – 53.
- Qin, Q. (2007) Adsorption of nitrobenzene from aqueous solution by MCM-41, *Journal of colloid and interface science*, 315, 80 – 86.
- Setyawaty, R., Setiadi, T., Katayama-Hirayama, K., Kaneko, H., Hirayama, K. (2012) Polyhydroxyalkanoate (PHA) production from tapioca industrial wastewater treatment: Influence of operating conditions on PHA content, *Sustain. Environment. Res.*, 22(2), 123 – 127.



Pengolahan Sampah Plastik Polipropilena (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Metode Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Sintetis

Processing of Polypropylene (PP) Plastic Waste Into Oil Fuel by Catalytic Cracking Method Using Synthetic Catalyst

Ekky Wahyudi*, Zultiniar, Edy Saputra

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km. 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293
*E-mail: ekkywahyudi16@gmail.com

Abstrak

Sampah plastik memiliki dampak buruk bagi lingkungan apabila tidak diolah lebih lanjut. Penelitian ini dilakukan untuk mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak menggunakan katalis sintetis yang disintesis dari abu terbang batubara yang selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh variasi suhu dan rasio katalis/plastik. Sebanyak 100 gram plastik jenis polipropilena direngkah di dalam reaktor batch pada suhu 350°C, 400°C, dan 450°C selama 60 menit dengan variasi rasio katalis/plastik 0,5; 1; 1,5 (% berat). *Yield* (%) tertinggi adalah 76,09% yang diperoleh pada variasi suhu 450°C dan rasio katalis/plastik 1,5%. Nilai kalor produk adalah 45,56 MJ/kg. Hasil analisis GC-MS menunjukkan % area produk mengandung bahan bakar seperti bensin (60,46%), kerosin dan solar (7,48%).

Kata Kunci: abu terbang batubara, bahan bakar minyak, perengkahan, polipropilena, sampah plastik

Abstract

Plastic waste has a bad impact on the environment if it is not processed further. The objective of this research is to convert a waste plastic into liquid fuel using synthetic catalyst which it is synthesized from coal fly ash, further characterized by XRD. This research aims to see the effect of various temperature and catalyst/plastic ratio. 100 grams of polypropylene-type plastic are cracked in a batch reactor at 350°C, 400°C, and 450°C during 60 minutes with various catalyst/plastic ratios were 0.5; 1.0; 1.5 (% wt). The highest yield (%) was 76.09% that is obtained at 450°C and catalyst/plastic ratio is 1.5%. Heating value of product is 45.56 MJ/kg. GC-MS result shows % area of the product contains of fuel such as gasoline (60.46%), kerosene and diesel (7.48%).

Keywords: coal fly ash, cracking, liquid fuel, polypropylene, plastic waste

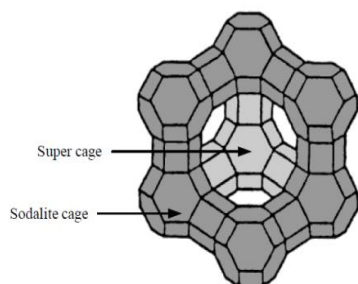
1. Pendahuluan

Kebutuhan masyarakat akan bahan bakar minyak (BBM) yang berasal dari fosil semakin hari semakin meningkat, menyebabkan semakin menipisnya cadangan minyak dan gas bumi. Menurut Dudley (2015), cadangan minyak bumi dunia pada akhir tahun 2014 adalah sebesar 1700,1 miliar barel, sedangkan Indonesia hanya memiliki cadangan minyak terbukti sebesar 3,7 miliar barel dan jumlah tersebut hanya 0,2% dari jumlah cadangan minyak di dunia. Jumlah produksi minyak sebesar 852 ribu barel/hari dengan konsumsi 1,641 juta barel/hari. Dari data di atas, dapat dilihat bahwa terdapat ketimpangan antara produksi dan konsumsi.

Sampah plastik merupakan salah satu permasalahan pokok yang dihadapi saat ini yang dapat berdampak buruk pada manusia maupun lingkungan karena sifatnya yang *non-biodegradable*. Salah satu metode pengolahan sampah plastik yang dilakukan saat ini adalah dengan mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar hidrokarbon. Hal ini mengingat bahan baku plastik berasal dari turunan minyak bumi sehingga dapat dikembalikan menjadi hidrokarbon sebagai bahan dasar energi. Konversi sampah plastik dapat dilakukan dengan proses perengkahan (*cracking*), yaitu reaksi pemutusan ikatan C - C dari rantai karbon panjang dan berat molekul besar menjadi rantai karbon pendek dengan berat molekul

yang kecil (Sibarani, 2012). Perengkahan katalitik adalah metode perengkahan yang sering digunakan karena menggunakan katalis yang dapat mereduksi suhu tinggi yang digunakan pada proses perengkahan termal dan menghemat konsumsi energi. Dalam proses perengkahan katalitik, katalis yang digunakan adalah katalis padat (heterogen). Beberapa jenis katalis yang digunakan dalam proses perengkahan sampah plastik adalah zeolit beta (Wanchai dan Chaisuwan, 2013), H-zeolit (Melyna, 2013), zeolit HY, ZSM-5 (Anggoro, 2006) dan beberapa jenis katalis lainnya.

Zeolit X merupakan salah satu tipe zeolit sintetis dan termasuk ke dalam kelompok mineral Faujasit (FAU), yaitu zeolit yang memiliki diameter α -cage (*super cage*) 13 Å dan diameter β -cage (*sodalite cage*) 6,6 Å dengan diameter pori 7,4 Å membentuk struktur tiga dimensi dengan nisbah Si/Al 1,0 - 1,5 (Thammavong, 2003). Struktur dari zeolit X diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Zeolit X (Thammavong, 2003)

Zeolit X biasanya digunakan dalam proses *catalytic cracking* (FCC), *hydrocracking* dan reduksi NO, NO₂, CO₂. Selain itu, zeolit X juga dapat digunakan sebagai adsorben, penukar ion (Querol dkk., 2007; Balkus dan Ly, 1991; Ulfah dkk., 2006). Zeolit X pernah digunakan sebagai katalis perengkah minyak bumi pada tahun 60-an sehingga diharapkan katalis ini mampu untuk mengkonversi sampah plastik yang berbahan baku turunan minyak bumi menjadi bahan bakar minyak.

Proses pembuatan zeolit X dalam penelitian ini yaitu peleburan dengan NaOH pada suhu 550°C dan dilanjutkan dengan proses hidrotermal pada suhu 100°C. Menurut Fiore dkk. (2009), proses hidrotermal dan peleburan dengan suhu tinggi akan memberikan konversi abu layang untuk menjadi zeolit lebih besar daripada hanya dilakukan proses peleburan saja. Bahan bakar minyak adalah bahan bakar cair yang biasanya merupakan produk pengolahan minyak bumi (*petroleum*). Contoh bahan bakar minyak yang dipasarkan adalah bensin

(*gasoline*), kerosin (minyak tanah), solar (*diesel*).

Pada penelitian ini dilakukan perengkahan katalitik sampah plastik polipropilena (PP) menggunakan katalis Zeolit X dengan variasi suhu reaksi 350°C, 400°C, dan 450°C, serta rasio katalis/plastik 0,5; 1; dan 1,5 (% berat) dengan waktu reaksi 60 menit. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi suhu dan rasio katalis/plastik pada proses perengkahan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak, serta mengetahui komponen kimia produk.

2. Metodologi

2.1. Persiapan Bahan Baku

Pada tahap ini bahan baku plastik polipropilena (PP) didapat dari pengumpulan sampah plastik yang dibuang oleh masyarakat. Plastik tersebut dibersihkan terlebih dahulu, dicuci, dikeringkan kemudian dipotong kecil dengan ukuran $\pm 1 \times 1$ cm untuk memperbesar luas permukaan kontak antara plastik dengan katalis.

2.2. Pembuatan Sodium Aluminat (NaAlO₂)

Sodium aluminat digunakan untuk mengontrol rasio Si/Al pada pembuatan katalis. Sebanyak 109,5 gram NaOH dilarutkan ke dalam 1 liter akuades. Selanjutnya dimasukkan 76 gram Al(OH)₃ sambil diaduk sampai homogen. Setelah semua Al(OH)₃ larut kemudian didiamkan hingga terbentuk endapan. Campuran disaring dan endapan dikeringkan di dalam oven sampai berat konstan (Zahrina dkk., 2006).

2.3. Sintesis Katalis Zeolit X

Zeolit X disintesis dengan mencampurkan abu terbang batubara dan NaOH dengan perbandingan 1:1,2 dan digerus. Campuran dilebur pada suhu 550°C (823 K) selama 1 jam, kemudian didinginkan pada suhu ruang dan digerus lagi. Setelah dingin, sebanyak 0,65 gram sodium aluminat ditambahkan ke dalam campuran untuk mengontrol rasio molar SiO₂/Al₂O₃ dan dicampur dengan 200 mL akuades. Campuran kemudian diaduk pada suhu ruang selama 16 jam dan selanjutnya dipanaskan pada suhu 100°C (373 K) di dalam oven untuk proses sintesis hidrotermal selama 24 jam. Setelah didinginkan pada suhu ruang, suspensi disaring dan padatan dicuci berulang-ulang dengan 1 liter akuades dan dikeringkan pada

suhu 105°C (378 K) selama 16 jam (Izidoro dkk., 2013).

2.4. Proses Perengkahan Katalitik Sampah Plastik

Sebanyak 100 gram plastik polipropilena yang sudah bersih dimasukkan ke dalam reaktor *batch* pada suhu 350°C, 400°C, dan 450°C dengan variasi rasio katalis/plastik 0,5; 1 dan 1,5 (% berat) selama 60 menit. Gas N₂ dialirkan untuk mencegah terjadinya reaksi pembakaran akibat adanya O₂ yang terdapat di dalam reaktor. Selanjutnya produk cair ditampung sebagai bahan bakar minyak (cairan hidrokarbon).

2.5. Analisis Bahan dan Produk

Analisis abu terbang batubara menggunakan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), sedangkan katalis Zeolit X dikarakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD). Analisis meliputi fisika dan kimia. Analisis fisika terdiri dari uji densitas dan uji nilai kalor, sedangkan analisis kimia dilakukan menggunakan metode *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Karakterisasi Abu Terbang Batubara

Analisis komponen yang terkandung di dalam abu terbang batubara dilakukan dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*). Analisis dilakukan untuk mengetahui kadar SiO₂ dan Al₂O₃ di dalam abu terbang batubara untuk menghitung rasio Si/Al pada proses sintesis katalis. Hasil analisis AAS dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis AAS abu terbang batubara

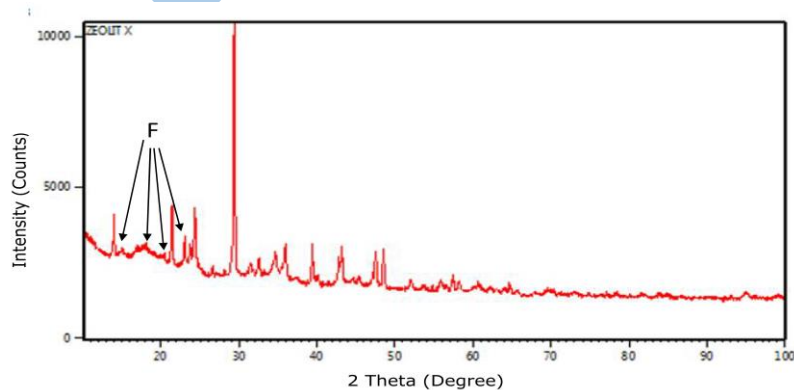
No.	Parameter	Kadar (% berat)
1	SiO ₂	46,49
2	Al ₂ O ₃	17,97

Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa abu terbang memiliki kadar SiO₂ yang cukup tinggi, yaitu 46,49% dan kadar Al₂O₃ 17,97%. SiO₂ dan Al₂O₃ merupakan komponen utama pembentuk zeolit sehingga dapat disimpulkan abu terbang tersebut dapat disintesis menjadi zeolit, salah satunya adalah zeolit X.

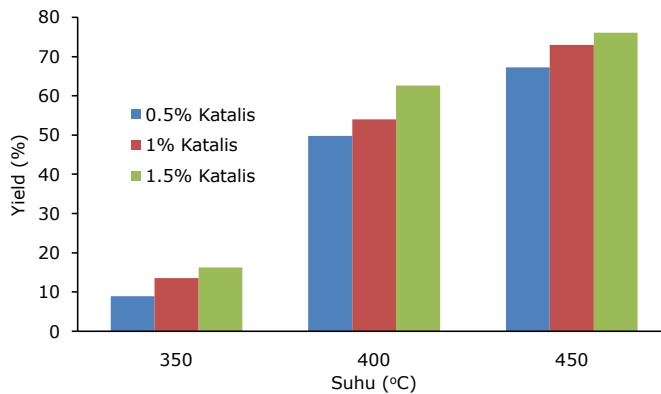
Zeolit X merupakan salah satu jenis zeolit sintetis yang termasuk kelompok mineral Faujasit (FAU) dan memiliki rasio Si/Al 1,0 - 1,5. Jadi, untuk membuat zeolit X, maka kadar aluminium (Al) harus ditambah agar mendapatkan rasio Si/Al yang diinginkan. Penambahan Al ini dilakukan dengan cara menambahkan sodium aluminat (NaAlO₂) ke dalam campuran abu layang batubara dan NaOH sebelum dilakukan pengadukan. Dalam penelitian ini, pembuatan Sodium aluminat (NaAlO₂) dilakukan dengan mencampurkan Sodium hidroksida (NaOH), Aluminium hidroksida (Al(OH)₃) dan akuades lalu diaduk hingga homogen, disaring dan filtratnya dikeringkan di dalam oven sampai berat konstan.

3.2. Karakterisasi Katalis dengan XRD

Katalis yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-ray Diffraction*) untuk mengetahui jenis kristal zeolite. Proses XRD dijalankan dengan radiasi Cu-Kα yang dioperasikan pada 40 kV dan 100 mA dengan rentang 10-100 (°2θ). Hasil karakterisasi katalis menggunakan XRD dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola XRD zeolit X sintesis (F= Faujasit)



Gambar 3. Grafik perolehan *yield* (%)

Dari hasil analisis XRD diketahui puncak mineral (2θ) dan intensitas mineral yang menunjukkan tingkat kristalinitasnya (*crystallinity*). Dari Gambar 2 terlihat bahwa terdapat 4 puncak mineral Faujasit. Faujasit merupakan mineral utama penyusun zeolit X. Jadi dapat dikatakan bahwa proses pembentukan kristal tidak berjalan sempurna karena sedikitnya puncak Faujasit yang teridentifikasi dan rendahnya intensitas. Hal ini dapat terjadi karena distribusi suhu yang tidak merata pada saat proses hidrotermal yang merupakan proses pembentukan kristal zeolit. Jadi, dapat dikatakan bahwa zeolit X yang ingin disintesis pada penelitian ini belum terbentuk secara sempurna.

Tabel 2. Perbandingan puncak mineral zeolit X sintesis dengan zeolit X standar

Zeolit X Sintesis		Zeolit X Standar*	
2θ	Intensitas (%)	2θ	Intensitas (%)
13,961	39,65	14,143	0,04
17,631	4,14	17,547	0,13
19,755	8,50	19,995	2,45
22,149	0,58	22,384	0,18
22,324	0,57	22,384	0,18
22,567	4,37	22,448	1,13

*Treacy dan Higgins, (2001)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan antara zeolit sintesis dengan zeolit X standar sangat signifikan (Tabel 2). Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa intensitas zeolit X standar sangat kecil di-

bandingkan dengan zeolit sintesis sehingga dapat disimpulkan bahwa zeolit X sudah terbentuk namun belum sempurna. Hal ini diduga terjadi karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi, antara lain distribusi suhu yang tidak merata pada saat sintesis hidrotermal.

3.3. Pengaruh Suhu dan Rasio Katalis/Plastik terhadap Perolehan *Yield* (%) Bahan Bakar

Produk perengkahan berupa cairan hasil kondensasi uap hidrokarbon yang berasal dari plastik. Cairan inilah yang menjadi bahan bakar yang masih bercampur, seperti fraksi bensin, kerosin maupun solar. *Yield* dihitung menggunakan rumus:

$$Yield (\%) = \frac{m_p}{m_b} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

m_p : massa produk (gram)
 m_b : massa bahan baku (gram)

Hasil tersebut disajikan dalam bentuk grafik perolehan *yield* (%) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa *yield* yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya suhu dan rasio katalis/plastik. Hal yang sama juga dikemukakan oleh Houshmand dkk., (2013) bahwa dengan meningkatnya suhu maka semakin banyak ikatan yang terputus sehingga produk semakin banyak, *yield* juga semakin meningkat. Pada suhu 350°C dengan variasi rasio katalis/plastik, *yield* yang diperoleh kecil dibandingkan pada suhu

400°C dan 450°C yang meningkat secara signifikan. Hal ini dikarenakan proses perengkahan pada suhu yang lebih rendah menghasilkan produk wax yang tertinggal di dalam reaktor yang terdiri dari parafin dan arang (*char*) yang terkarbonisasi (Achilias dkk., 2007).

Pada variasi rasio katalis/plastik, *yield* yang diperoleh semakin tinggi seiring dengan meningkatnya rasio katalis/plastik. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah katalis yang ditambahkan maka akan meningkatkan laju reaksi pembentukan produk dengan jalan menurunkan energi aktivasi sesuai dengan persamaan Arrhenius:

$$k = k_0 e^{-E_a/RT} \quad (2)$$

Dimana :

k : Konstanta laju reaksi
 k_0 : Faktor frekuensi
 E_a : Energi aktivasi
 R : Konstanta gas
 T : Suhu

3.4. Uji Densitas dan Nilai Kalor

3.4.1. Hasil Uji Densitas

Uji densitas dilakukan dengan cara memasukkan sampel bahan bakar ke dalam piknometer yang sudah dibersihkan. Sebelumnya piknometer kosong ditimbang sebagai berat awal, selanjutnya berat akhir ditimbang setelah sampel dimasukkan ke dalam piknometer hingga penuh. Perhitungan dilakukan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Keterangan :

ρ : densitas (g/mL)
 m : berat produk (g)
 v : volume piknometer (mL)

Berikut ini adalah nilai densitas yang diperoleh pada tiap variasi penelitian.

Tabel 3. Hasil uji densitas

Rasio Katalis/Plastik (unit)	Suhu (°C)	Densitas (g/ml)
0,5%	350	0,892
	400	0,791
	450	0,781
1,0%	350	0,848
	400	0,771
	450	0,793
1,5%	350	0,813
	400	0,783
	450	0,792

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa densitas produk berada pada rentang bahan bakar jenis bensin, kerosin dan solar. Rentang densitas untuk bahan bakar jenis Bensin 88 adalah 0,715 - 0,780 g/mL, Kerosin 0,790 - 0,835 g/mL, dan Minyak Solar (*Automotive Diesel Oil/ADO*) 0,815 - 0,870 g/mL (Melyna, 2013). Namun, pada variasi suhu 350°C dan rasio katalis/plastik 0,5%, densitas yang didapat adalah 0,892 g/mL yang termasuk pada rentang minyak diesel (*Industrial Diesel Oil/IDO/MDF*), yaitu 0,840 - 0,920 g/ml (Melyna, 2013).

3.4.2. Hasil Uji Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut (Napitupulu, 2006). Uji nilai kalor (*heating value*) dilakukan menggunakan kalorimeter bom (bomb calorimeter) pada sampel dengan *yield* tertinggi. Nilai kalor yang diperoleh adalah sebesar 10.884 kal/g atau 45,56 MJ/kg. Nilai kalor tersebut sesuai dengan nilai kalor bahan bakar solar, yaitu 45,66 MJ/kg (International Energy Agency, 2010).

3.5. Hasil Analisis Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Analisis GC-MS dilakukan untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung di dalam produk. Besarnya kandungan komponen kimia ditunjukkan pada % area. Tabel 4 menunjukkan besarnya fraksi bahan bakar yang terkandung di dalam produk perengkahan yang ditentukan dari % areanya. Penentuan % area tersebut didasarkan pada penentuan senyawa yang teridentifikasi dari hasil GC-MS dan jenis bahan bakar diketahui dari panjang rantai karbon senyawa hidrokarbon. Rantai karbon bahan bakar meliputi fraksi bensin ($C_5 - C_{12}$), kerosin dan solar ($C_{13} - C_{20}$), minyak berat ($> C_{20}$) (Syamsiro dkk., 2014; Sriningsih dkk., 2014).

Tabel 4. Kandungan bahan bakar dari hasil analisis GC-MS

Jenis Bahan Bakar	Variasi Suhu dan Rasio Katalis/Plastik		
	1,5%	1,5%	1,5%
	350°C	400°C	450°C
Bensin (% area)	46,34	75,41	60,46
Kerosin dan Solar (% area)	5,82	2,08	7,48
Total (% area)	52,16	77,49	67,94

4. Kesimpulan

Katalis yang dihasilkan dari penelitian ini belum membentuk karakteristik zeolit X standar secara sempurna karena masih memiliki intensitas yang kecil sehingga dinamakan dengan zeolit X sintesis. Akan tetapi, katalis ini dapat digunakan sebagai katalis perengkah sampah plastik karena mengandung kristal yang terdapat di dalam zeolit X standar yaitu Faujasit. *Yield* (%) tertinggi diperoleh pada variasi suhu 450°C dan rasio katalis/plastik 1,5%, yaitu sebesar 76,09%. Nilai kalor yang dihasilkan adalah 10.884 kal/g atau setara 45,56 MJ/kg dan densitas produk berada pada rentang bahan bakar jenis bensin, kerosin dan solar. Dari hasil analisis GC-MS, produk mengandung fraksi bahan bakar bensin, kerosin dan solar sebesar 60,46% dan 7,48%. Untuk penelitian selanjutnya agar dapat dilakukan pemisahan fraksi produk dan *upgrading* untuk mendapatkan jenis bahan bakar yang diinginkan.

Daftar Pustaka

- Achilias, D. S., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A. A., Antonakou, E. V. (2007) Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP), *Journal of Hazardous Materials*, 149, 536 – 542.
- Anggoro, D. D. (2006) Produksi hidrokarbon cair dari plastik menggunakan katalis zeolit HY dan ZSM-5. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia*. Palembang,
- Balkus, K. J., Ly, K. T. (1991) The preparation and characterization of an X-type zeolite, *Journal of Chemical Education*, 68 (10), 875 – 877.
- Dudley, B. (2015) BP Statistical Review of World Energy June 2015 <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2015/BP-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>, diakses pada 20 Maret 2016.
- Fiore, S., Cavalcante, F., Belviso, C. (2009) Synthesis of Zeolites from Fly Ash, *U.S Patent No. 20090257948A1*.
- Houshmand, D., Roozbehani, B., Badakhshan, A. (2013) Thermal and catalytic degradation of polystyrene with a novel catalyst, *International Journal of Science & Emerging Technologies*, 5(1), 234-238.
- International Energy Agency (2010) Oil Information: Documentation for Beyond 2020 Files.
- Izidoro, J. C., Fungaro, D. A., Abbott, J. E., Wang, S. (2013) Synthesis of zeolites X and A from fly ash for cadmium and zinc removal from aqueous solutions in single and binary ion systems, *Fuel*, 103, 827 – 834.
- Melyna, E. (2013) Perengkahan sampah plastik (HDPE, PP, PS) menjadi *precursor* bahan bakar dengan variasi perbandingan bahan baku/katalis H-zeolit, *Skripsi*, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Napitupulu, F. H. (2006) pengaruh nilai kalor (heating value) suatu bahan bakar terhadap perencanaan volume ruang bakar ketel uap berdasarkan metode penentuan nilai kalor bahan bakar yang dipergunakan. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 7(1), 60 – 65.
- Querol, X., Moreno, N., Alastuey, A., Juan, R., Andres, J. M., Lopez-Soler, A., Ayora, C., Medinaceli, A., Valero, A. (2007) Synthesis of high ion exchange zeolites from coal fly ash, *Geologica Acta*, 5(1), 49 – 57.
- Sibarani, K. L. (2012) Preparasi, karakterisasi, dan uji aktifitas katalis Ni-Cr/zeolit alam pada proses perengkahan limbah plastik menjadi fraksi bensin, *Skripsi*, Universitas Indonesia, Depok.
- Sriningsih, W., Saerodji, M. G., Trisunaryanti, W., Triyono, Armunanto, R., Falah, I. I. (2014) Fuel production from LDPE plastic waste over natural zeolite supported Ni, Ni-Mo, Co and Co-Mo metals, *Procedia Environmental Sciences*, 20, 215 – 224.
- Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, Z., Yoshikawa, K. (2014) Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors, *Energy Procedia*, 47, 180 – 188.
- Thammavong, S. (2003) Studies of synthesis, kinetics and particle size of zeolite X from narathiwat kaolin, *M.S*

Thesis, Suranaree University of Technology, Thailand.

Treacy, M. M. J., Higgins, J. B. (2001) *XRD powder patterns for zeolites*, Elsevier, Amsterdam.

Ulfah, E. M., Yasnur, F. A., Istadi (2006) Optimasi pembuatan katalis zeolit X dari tawas, NaOH dan water glass dengan response surface methodology, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 1(3), 26 – 32.

Wanchai, K., Chaisuwan, A. (2013) Catalytic cracking of polypropylene waste over zeolite beta, *Chemistry and Materials Research*, 3(4), 31 – 41.

Zahrina, I., Saputra, E., Evelyn, Santoso, I. A., Ramelo, R. (2006) Sintesis ZSM-5 tanpa templat menggunakan silika terpresipitasi asal abu sawit sebagai sumber silika, *Jurnal Natur Indonesia*, 9(2), 99 – 103.

RK



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 Munandar¹, Syaifullah Muhammad², dan Sri Mulyati^{2*}

¹⁾ Mahasiswa Magister Teknik Kimia, Program Pascasarjana, Universitas Syiah Kuala

²⁾ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

*E-mail: 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 showcased a far better performance than those in micron. From the results, it was showed 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 m²/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 :

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

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.

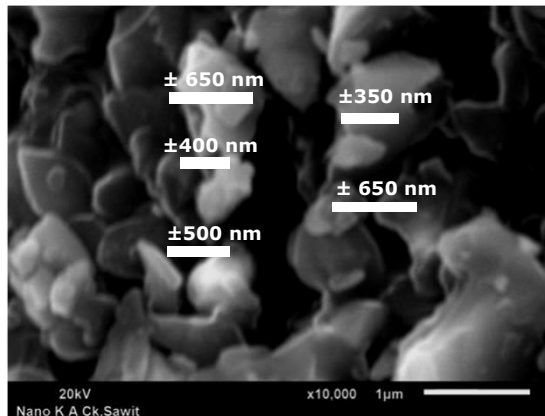
No	Parameter Lingkungan	Nilai	Satuan
1	COD	970,40	mg/L
2	BOD	45,45	mg/L
3	pH	7	-

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 permukaan nano karbon aktif tidak merata, namun terlihat bahwa ukuran nanometer lebih dominan.



Gambar 1. Scanning Electron Microscopy dari Nano Karbon Aktif

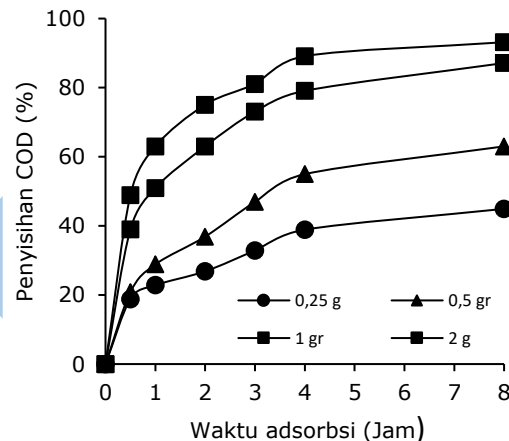
3.3. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penyisihan COD

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.

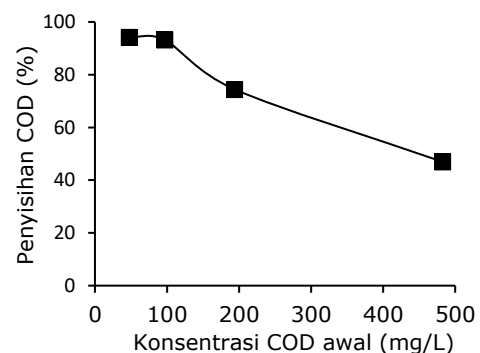
Penyebab berkurangnya kemampuan nano karbon aktif karena pori-pori pada permukaannya telah tertutup oleh molekul yang diserapnya (Kasam dkk., 2005). Tabakk (2004) mengatakan jumlah zat yang terserap cenderung menurun disebabkan karena telah jenuhnya semua pusat aktif yang terdapat pada permukaan adsorben.



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 bervariasi konsentrasi awal sampel COD dengan 4 variasi konsentrasi COD yaitu 47,60; 97,04; 193,84; dan 482,82 mg/L.



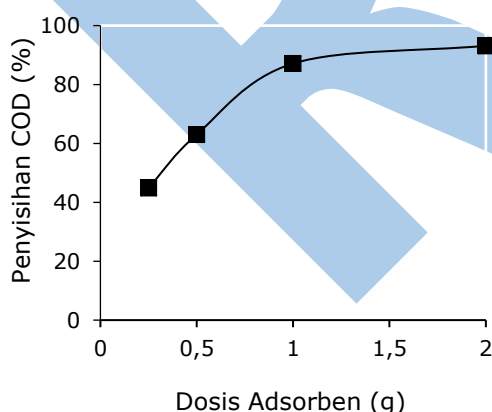
Gambar 3. Hubungan konsentrasi COD awal dengan penyisihan COD: waktu kontak 4 jam; volume sampel 100 ml

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.

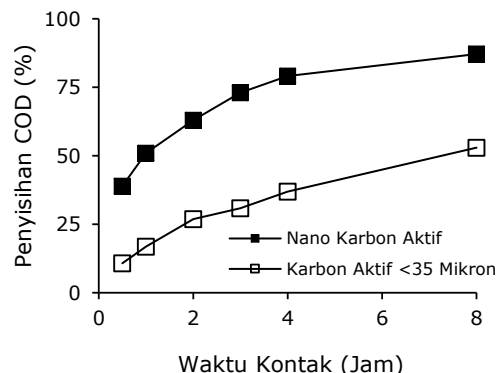


Gambar 4. Pengaruh dosis adsorben terhadap penyisihan COD: waktu kontak 4 jam; volume sampel 100 ml; kecepatan pengadukan 100 rpm; pH larutan 7

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

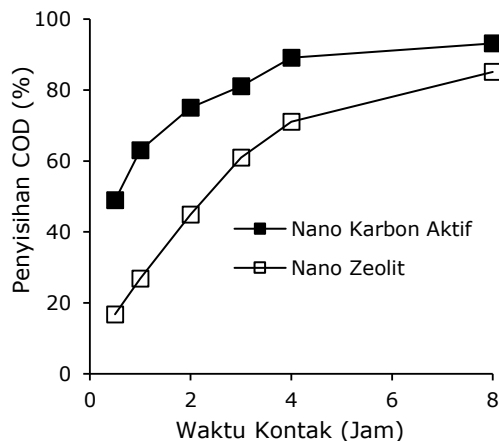
Hasil penelitian memperlihatkan efisiensi penyerapan COD pada ukuran nano lebih tinggi dibandingkan ukuran <35 mikron. Adsorpsi selama 4 jam oleh nano karbon aktif dapat menyisihkan COD sebesar 87,12%, sedangkan karbon aktif ukuran mikron (<35 μ) hanya mampu menghilangkan COD sebanyak 52,9%. Hal ini 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 μ). 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 $<35\mu$. 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, BOD⁵, 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 artetis, *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.

RKY



Pengaruh Rasio Biji terhadap Pelarut dan Waktu Ekstraksi terhadap *Yield* dan Kualitas Minyak Biji Alpukat

Effect of seed to solvent ratio and extraction time on yield and quality of avocado seed oil

Novia Mehra Erfiza¹, Ryan Moulana¹, Desy Wulandari¹, Satriana¹, Muhammad Dani Supardan^{2*}

¹Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Jln. Tgku Hasan Krueng Kalle, Darussalam, Banda Aceh 23111

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Jln. Syech Abdurrauf, Darussalam, Banda Aceh 23111

*E-mail: m.dani.supardan@che.unsyiah.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio biji alpukat terhadap pelarut dan waktu ekstraksi pada proses ekstraksi minyak biji alpukat menggunakan pelarut n-heksan. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok dengan pola faktorial terdiri atas 2 faktor yang masing-masing terdiri dari 3 taraf dengan 3 kali ulangan. Faktor pertama adalah rasio biji alpukat terhadap pelarut yaitu 1:5, 1:10 dan 1:15 (g/mL), sedangkan faktor kedua adalah waktu ekstraksi yaitu 120, 150, dan 180 menit. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan rasio bahan terhadap pelarut tidak berpengaruh nyata ($P>0,05$) terhadap *yield* dan bilangan asam. Sementara itu, perlakuan waktu ekstraksi berpengaruh nyata ($P\leq 0,05$) terhadap *yield* minyak biji alpukat, dan berpengaruh tidak nyata ($P>0,05$) terhadap bilangan asam. *Yield* tertinggi (2,23%) diperoleh dari sampel minyak pada perlakuan rasio bubuk biji alpukat terhadap pelarut 1:5 dan waktu ekstraksi 120 menit dengan aktivitas antioksidan 62,87%, serta nilai viskositas dan densitas masing-masing yaitu 13,5 cP dan 0,96 g/mL. Asam lemak oleat merupakan komponen terbesar dalam minyak biji alpukat.

Kata kunci: Biji alpukat, ekstraksi, rasio bahan terhadap pelarut, waktu ekstraksi

Abstract

The objective of this research is to study the effect of seed to solvent ratio and time on oil extraction from avocado seed. The extraction is performed using hexane as solvent. The avocado seed oil is extracted in triplicate during 120, 150 and 180 min, respectively; and seed powder to solvent ratio of 1:5, 1:10, dan 1:15 (g/mL). The results show that seed to solvent ratio has not significant effect ($P>0.05$) to the yield and acid number of avocado seed oil. Whereas extraction time has significant effect ($P\leq 0.05$) to the yield and has not significant effect ($P>0.05$) to the acid number of avocado seed oil. The highest yield (2.23%) is obtained from extraction condition of seed to solvent ratio 1:5 and during 120 min where antioxidant activity of the oil is 62.87%, density and viscosity are 0.96 g/mL and 13.5 cP, respectively. The main fatty acid in extracted avocado seed oil is oleic acid.

Keywords: avocado seed, extraction, extration time, seed to solvent ratio

1. Pendahuluan

Tanaman alpukat (*Persea americana*, Mill) berasal dari Amerika Tengah yang beriklim tropis dan telah menyebar hampir ke seluruh negara sub-tropis dan tropis termasuk Indonesia. Banyak masyarakat yang hanya memanfaatkan daging buah alpukat, sedangkan bijinya terbuang menjadi limbah organik. Padahal biji alpukat memiliki sangat banyak manfaat diantaranya untuk kesehatan dan sumber pangan fungsional. Biji alpukat mengandung polifenol, flavonoid, triterpenoid, kuinon, saponin, tanin dan

monoterpenoid dan seskuiterpenoid (Marlinda dkk., 2012). Song dan Barlow (2004) menyatakan bahwa biji alpukat mengandung lebih dari 90% kandungan *phenolic* yang berfungsi sebagai antioksidan. Senyawa *phenolic* dalam biji alpukat lebih besar dibanding pada bagian buah maupun daun. Selain itu, biji alpukat juga bisa diolah menjadi minyak biji alpukat. Menurut Bora dkk. (2001), minyak biji alpukat memiliki kandungan senyawa fungsional yaitu asam lemak esensial dalam bentuk asam oleat dan linoleat. Adanya kandungan asam lemak esensial yang cukup tinggi maka minyak biji

alpukat bisa digunakan pada pembuatan *mayonaise* dan *salad dressing*.

Produksi minyak *edible* seperti minyak alpukat dapat dilakukan dengan metode ekstraksi pelarut. Kualitas dan kuantitas minyak yang dihasilkan dengan metode ekstraksi pelarut dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain perlakuan awal terhadap bahan serta kondisi proses ekstraksi dan penyimpanan. Pengaruh kondisi ekstraksi pada kualitas dan kuantitas minyak yang dihasilkan telah dipelajari oleh beberapa peneliti untuk berbagai bahan seperti biji pumpkin (Miranda dkk., 2014), bunga matahari (Tasan dkk., 2011), alpukat (dos Santos dkk., 2014), dan canola (Tuntiwiwattanapun dkk., 2013). Sementara itu, pengaruh kondisi penyimpanan pada kualitas dan kuantitas minyak yang dihasilkan juga telah dipelajari oleh beberapa peneliti untuk berbagai bahan, seperti bunga matahari (Tasan dkk., 2011) dan alpukat (Ozdemir dan Topuz, 2004).

Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh kondisi operasi yaitu waktu ekstraksi dan rasio bahan terhadap pelarut pada ekstraksi minyak dari biji alpukat.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Bahan baku biji alpukat yang digunakan berasal dari Takengon, Aceh Tengah. Bahan kimia yang digunakan adalah CaCO_3 , n-heksana, alkohol 95%, KOH dan indikator *phenolphthalein*. Peralatan yang digunakan adalah ayakan 16 mesh, oven, alat ekstraksi (terdiri dari labu leher tiga, kondensor, motor pengaduk dan termometer), *water bath*, *stopwatch*, timbangan analitik, sentrifus, *rotary vacuum evaporator*, dan peralatan untuk analisis.

2.2. Proses Ekstraksi Biji Alpukat

Biji alpukat terlebih dahulu dibersihkan dan direndam dalam air (± 4 hari) lalu dibelah menjadi empat. Selanjutnya, biji alpukat direbus menggunakan larutan CaCO_3 sebanyak 5% dari berat biji alpukat selama 15 menit. Setelah perebusan selama 15 menit pertama, biji alpukat dicuci bersih kemudian direbus kembali dengan menggunakan larutan CaCO_3 sebanyak 5% dari berat biji alpukat dan dicuci kembali. Setelah perebusan kedua, biji alpukat diiris tipis-tipis, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 60°C selama 3 hari untuk mendapatkan kadar air bahan 5%. Setelah dikeringkan, biji alpukat *diblender* dan

diayak untuk mendapatkan bubuk dengan ukuran kurang dari 16 mesh.

Pada tahap ekstraksi, sampel bubuk biji alpukat sebanyak 100 g dan pelarut n-heksana dicampur dalam labu leher tiga dengan perbandingan berat bubuk biji alpukat terhadap volume pelarut (b/v) 1:5, 1:10 dan 1:15. Selanjutnya, campuran dipanaskan di atas *heated magnetic stirrer* dan diaduk menggunakan agitator dengan kecepatan sekitar 600 rpm. Suhu proses ekstraksi dijaga konstan pada $52 \pm 2^\circ\text{C}$. Setelah proses ekstraksi dilakukan sesuai dengan waktu yang ditentukan, hasil ekstraksi kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan bagian ampas dengan hasil ekstraksi.

Hasil ekstraksi selanjutnya dimasukan dalam alat *rotary evaporator* untuk menguapkan n-heksana. Hasil evaporasi dimasukan ke dalam sentrifus sehingga diperoleh dua lapisan yaitu lapisan atas adalah minyak dan lapisan bawah adalah zat-zat kimia yang larut dalam pelarut tapi bukan bagian dari minyak.

2.3. Analisis Sampel

Analisis yang dilakukan terdiri atas dua jenis analisis. Pertama, analisis biji alpukat sebelum proses ekstraksi yang meliputi kadar air menggunakan metode oven, kadar abu menggunakan metode pengabuan kering dan kadar lemak menggunakan metode *soxhlet* (Andarwulan dkk., 2011). Analisis kadar air metode oven dilakukan dengan cara sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu $100-105^\circ\text{C}$ selama 3 jam, lalu dikeluarkan dan didinginkan di dalam desikator sekitar 15 menit. Kemudian ditimbang berat sampel. Pengerangan sampel di dalam oven diulang sampai dicapai berat konstan. Kadar air (%) dihitung dengan persamaan (1).

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{b - (c - a)}{b} \times 100 \quad (1)$$

dimana a adalah berat cawan kering konstan, b adalah berat sampel awal, dan c adalah berat cawan dan sampel kering.

Kadar abu ditentukan dengan cara memasukkan sejumlah sampel ke dalam tanur pengabuan selama 3 jam pada suhu 300°C . Kemudian sampel dikeluarkan dari tanur dan didinginkan, ditambahkan 1 mL HNO_3 pekat, dimasukkan kembali ke dalam tanur sampai pengabuan selesai. Selanjutnya sampel dan cawan ditimbang. Persentase kadar abu dihitung dengan persamaan (2).

$$\text{kadar abu (\%)} = \frac{w_2 - w_3}{w_1 - w_3} \times 100 \quad (2)$$

dimana w_1 adalah berat cawan dan sampel sebelum pengabuan, w_2 adalah berat cawan dan sampel setelah pengabuan, dan w_3 adalah berat cawan kosong.

Kadar lemak kasar diukur menggunakan metode *soxhlet* dan pelarut heksan. Prosedur analisis dilakukan dengan memasukkan sejumlah sampel (berat sampel awal, m_1), ke *thimble* ekstraksi. Pelarut dipanaskan sehingga melewati sampel. Proses ekstraksi berlangsung selama 4 jam. Setelah proses ekstraksi selesai, sampel dikeringkan di dalam oven untuk memisahkan sisa pelarut, lalu ditimbang (berat sampel kering, m_2). Persentase lemak kasar dihitung dengan persamaan (3).

$$\text{Lemak kasar (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (3)$$

Selanjutnya dilakukan analisis terhadap minyak biji alpukat hasil ekstraksi yang meliputi analisis rendemen (*yield*), bilangan asam, viskositas menggunakan Brookfield viscometer dan densitas menggunakan piknometer (Andarwulan dkk., 2011). Selain itu, dilakukan juga analisis aktivitas antioksidan minyak biji alpukat menggunakan metode penangkapan radikal bebas DPPH (Malangngi dkk., 2012) dan analisis komposisi asam lemak minyak biji alpukat menggunakan GC-MS (AOAC, 1999).

Yield minyak biji alpukat dihitung dengan membanding berat minyak yang diperoleh dengan berat bahan baku bubuk biji alpukat. Bilangan asam minyak ditentukan dengan metode titrasi. Sebanyak 10 gr minyak dalam Erlenmeyer 250 ml ditambahkan 25 ml alkohol 95% netral, lalu dipanaskan sampai mendidih (± 10 menit) dalam penangas air sambil diaduk. Selanjutnya dititrasi larutan dengan KOH 0,1 N menggunakan indikator pp sampai terbentuk warna merah jambu yang persisten selama 10 detik. Kadar asam dihitung dengan persamaan (4).

$$\text{Bilangan asam} = \frac{\text{mL KOH} \times \text{N KOH} \times \text{M}}{10 \text{ G}} \quad (4)$$

Dimana G adalah berat sampel, M adalah berat molekul asam lemak yang dominan yaitu 282 (asam oleat).

Analisis densitas dilakukan dengan cara memasukkan minyak ke dalam piknometer sampai meluap dan diusahakan agar tidak terbentuk gelembung udara. Bobot minyak dihitung dari selisih bobot piknometer

beserta minyak dikurangi bobot piknometer kosong. Hal ini juga dilakukan terhadap air suling sehingga diperoleh bobot air suling. Bobot jenis pada suhu 25°C ditentukan menggunakan persamaan (5).

$$\text{Bobot jenis} = \frac{(d-b)}{c} \quad (5)$$

dimana d adalah berat piknometer ditambah berat minyak (gram), b adalah berat piknometer kosong (gram) dan c adalah berat piknometer dan berat air suling (gram) dikurangi berat piknometer kosong.

Analisis aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH dilakukan dengan prosedur yaitu 0,2 ml sampel ditambahkan 3,8 ml larutan DPPH 0,1 mM yang dilarutkan dalam etanol sampai muncul warna ungu. Sampel lalu divortex dan diinkubasi di tempat gelap selama 30 menit. Kemudian divortex lagi, lalu dibaca absorbansinya dengan spektrofotometer pada $\lambda = 515 \text{ nm}$. Etanol digunakan sebagai blanko dengan perlakuan yang sama seperti sampel. Aktivitas penangkapan radikal bebas ini dihitung dengan persentase berkurangnya warna ungu DPPH melalui pengamatan nilai absorbansi blanko (A_b) dan nilai absorbansi sampel (A_s). Aktivitas antioksidan ditentukan dengan menggunakan persamaan (5).

$$\text{Aktivitas antioksidan} = \frac{A_b - A_s}{A_b} \times 100 \quad (5)$$

Analisis komposisi asam lemak menggunakan GC-MS dilakukan dengan prosedur yaitu sampel diesterifikasi dengan modifikasi metode BF₃-MeOH. Standar asam lemak dan metil ester dari sampel kemudian diinjeksikan dengan *autosampler* ke GC-MS (Shimadzu Co., Kyoto, Japan). Suhu kolom, injektor dan detektor masing-masing adalah 180, 260, and 250°C.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Bahan Baku

Tabel 1 menunjukkan hasil analisis bahan baku bubuk biji alpukat. Kadar air pada biji alpukat yaitu 5,2%. Kadar air pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan SNI 01-4476-1998 dimana kadar air maksimal pada bahan berbentuk bubuk maksimal adalah 12%. Sementara itu, biji alpukat memiliki kadar abu 0,8%. Hasil ini cukup bersesuaian dengan Bora dkk. (2001) yang melaporkan kadar abu bubuk biji alpukat 1,87%.

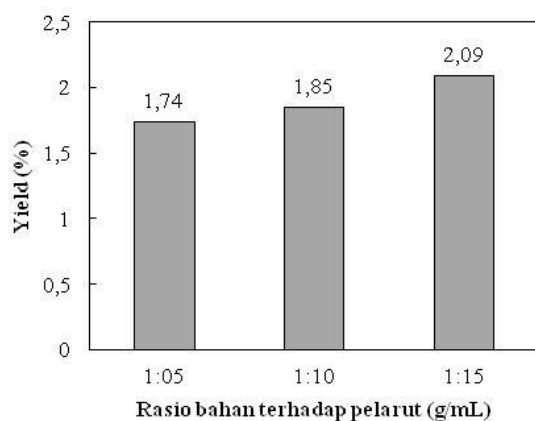
Pada penelitian ini kadar lemak biji alpukat yang didapatkan sebesar 19,3%. Kadar lemak suatu bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya tempat tumbuh dan varietas tanaman yang digunakan. Kadar lemak yang tinggi akan berpengaruh terhadap *yield* minyak yang akan dihasilkan, dimana kadar lemak yang tinggi akan menghasilkan *yield* yang juga tinggi. Finha dkk. (2013) melaporkan kadar lemak biji alpukat sebesar 14,7% sedangkan Bora dkk. (2001) melaporkan kadar lemak pada biji alpukat sebesar 1,87%.

Tabel 1. Hasil Analisis Bahan Baku

Parameter	Jumlah (%)	
	Hasil penelitian	SNI 01-4476-1998
Kadar air	5,2	max. 12,0
Kadar abu	0,8	-
Kadar lemak	19,3	-

3.2 Yield Minyak Biji Alpukat

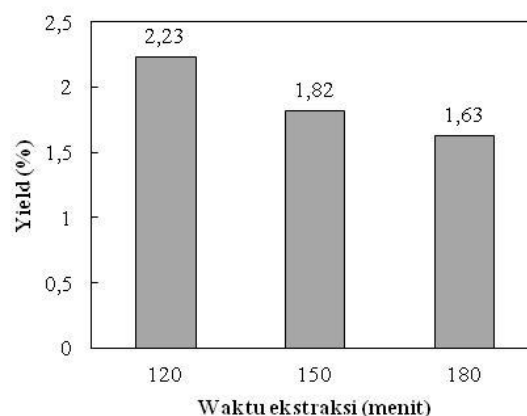
Yield minyak biji alpukat yang didapatkan berkisar antara 1,53% - 2,70% dengan rata-rata *yield* minyak biji alpukat sebesar 1,90%. Hasil sidik ragam *yield* minyak biji alpukat menunjukkan bahwa perlakuan waktu berpengaruh nyata ($P \leq 0,05$) terhadap *yield* minyak biji alpukat. Perlakuan rasio bahan terhadap pelarut dan interaksi antara perlakuan waktu dan rasio bahan terhadap pelarut tidak berpengaruh nyata ($P > 0,05$) terhadap *yield* minyak biji alpukat. Pengaruh perlakuan rasio bahan terhadap pelarut dan waktu ekstraksi terhadap *yield* minyak biji alpukat masing-masing dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. *Yield* minyak biji alpukat pada beberapa rasio bahan terhadap pelarut

Yield minyak minyak biji alpukat yang dihasilkan pada rasio bahan terhadap pelarut

yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 1. Peningkatan jumlah pelarut menyebabkan cenderung meningkatkan *yield* minyak biji alpukat yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin banyak jumlah pelarut yang digunakan maka semakin banyak pula jumlah minyak biji alpukat yang dapat diekstrak. Kecenderungan hasil yang sama dalam proses ekstraksi berbagai minyak nabati telah dilaporkan oleh banyak peneliti antara lain biji pumpkin (Miranda dkk., 2014) dan alpukat (Moreno dkk., 2003).



Gambar 2. Pengaruh waktu ekstraksi terhadap *yield* minyak biji alpukat pada BNT $0.05 = 0,5701$, KK = 21.84 % (Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perbedaan yang tidak nyata).

Gambar 2 menunjukkan *yield* tertinggi pada ekstraksi minyak biji alpukat menggunakan pelarut n-heksana didapatkan pada waktu ekstraksi 120 menit sebesar 2,23%. Nilai *yield* ini berbeda nyata dibandingkan dengan waktu ekstraksi 150 dan 180 menit yang menghasilkan *yield* masing-masing yaitu 1,82 dan 1,63%. Secara umum, meningkatnya waktu ekstraksi akan meningkatkan hasil ekstraksi. Namun, hasil penelitian menunjukkan kecenderungan hasil yang berbeda dimana bertambahnya waktu ekstraksi akan menyebabkan *yield* yang cenderung menurun. Hal ini disebabkan bertambahnya waktu ekstraksi akan menyebabkan kemungkinan bertambahnya komponen dalam minyak yang mengalami degradasi sehingga *yield* ekstraksi juga akan berkurang seiring dengan bertambahnya waktu ekstraksi. Umumnya, komponen dalam minyak dapat terdegradasi karena pengaruh panas, cahaya, dan oksigen (Gunstone dan Rousseau, 2004). Moreno dkk. (2003) melaporkan kecenderungan yang sama pada ekstraksi minyak daging alpukat. Sementara itu, Prasetyowati dkk. (2010) juga melaporkan *yield* biji alpukat

tertinggi diperoleh pada waktu ekstraksi 120 menit.

3.3 Bilangan Asam Minyak Biji Alpukat

Bilangan asam menunjukkan banyaknya asam lemak bebas dalam minyak dan dinyatakan dengan mg basa per 1 gram minyak. Bilangan asam juga merupakan parameter penting dalam penentuan kualitas minyak. Bilangan ini menunjukkan banyaknya asam lemak bebas yang ada dalam minyak akibat terjadi reaksi hidrolisis pada minyak terutama pada saat pengolahan. Bilangan asam minyak biji alpukat berkisar antara 9,97 – 12,83 mg KOH/g dengan rata-rata bilangan asam minyak biji alpukat sebesar 11,74 mg KOH/g. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan waktu, rasio bahan terhadap pelarut dan interaksi antara kedua faktor berpengaruh tidak nyata ($P > 0,05$) terhadap bilangan asam minyak biji alpukat. Namun semakin lama waktu ekstraksi dan semakin banyak pelarut yang digunakan bilangan asam minyak biji alpukat cenderung meningkat.

Pada penelitian Bora dkk. (2001), bilangan asam pada minyak biji alpukat didapatkan sebesar 2,6 mg KOH/g. Penelitian ini juga didukung oleh Ikhuoria dan Maliki (2001) dimana bilangan asam yang didapatkan pada minyak biji alpukat sebesar 5,2 mg KOH/g. Kedua nilai bilangan asam ini lebih rendah dibandingkan dengan bilangan asam yang dihasilkan dari penelitian ini. Hal ini diduga karena adanya reaksi hidrolisis pada saat perlakuan pendahuluan. Selama perlakuan pendahuluan biji alpukat direndam di dalam air (± 4 hari) dan direbus sehingga memungkinkan terjadinya hidrolisis trigliserida yang terkandung di dalam biji alpukat. Selain itu, bahan baku yang digunakan bukan berasal dari buah yang masih segar.

Selanjutnya analisis densitas, viskositas dan aktivitas antioksidan minyak biji alpukat dilakukan terhadap sampel dengan *yield* tertinggi dan bilangan asam terendah. Dalam hal ini diperoleh sampel dari faktor perlakuan waktu 120 menit sebagai sampel untuk analisis lanjutan.

3.4. Analisis Minyak Biji Alpukat

3.4.1. Densitas, viskositas dan aktivitas antioksidan

Densitas merupakan perbandingan berat per satuan volume. Hasil analisis densitas minyak biji alpukat pada rasio bahan terhadap pelarut 1:5, 1:10, dan 1:15

masing-masing adalah 0,96 g/mL, 0,94 g/mL dan 0,95 g/mL. Nilai tersebut mendekati penelitian Widioko dkk. (2008) dimana nilai densitas minyak biji alpukat menggunakan pelarut heksana memiliki rata-rata 0,92 g/mL. Sedangkan penelitian Prasetyowati dkk. (2010) menunjukkan nilai densitas tertinggi yaitu 0,76 g/mL, dimana nilai berat jenis sebagian besar meningkat seiring dengan bertambahnya variabel waktu ekstraksi dan massa biji yang digunakan.

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida. Makin besar viskositas suatu fluida, maka makin sulit suatu fluida mengalir dan makin sulit suatu benda bergerak di dalam fluida tersebut. Pada penelitian ini viskositas minyak biji alpukat pada rasio 1:5, 1:10, dan 1:15 adalah 13,5 cP, 14,1 cP, dan 15,3 cP yang menunjukkan bahwa semakin banyak pelarut yang digunakan maka viskositas minyak cenderung semakin tinggi. Hal ini disebabkan makin banyak jumlah pelarut yang digunakan maka makin besar pula jumlah senyawa bukan asam lemak dan impuritas yang ikut terekstrak. Nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Ikhuoria dan Maliki (2001) dimana nilai viskositas dari minyak adalah 35,7 cP menggunakan pelarut kloroform.

Aktivitas antioksidan minyak biji alpukat pada rasio bahan terhadap pelarut 1:5, 1:10 dan 1:15 masing-masing adalah 63%, 58% dan 25%. Malangngi dkk. (2012) melaporkan bahwa biji alpukat memiliki aktivitas antioksidan sebesar 93,04%. Aktivitas antioksidan yang tinggi dapat mencegah proses oksidasi pada minyak biji alpukat. Senyawa antioksidan alami pada tumbuhan umumnya berupa senyawa fenolik atau polifenol dimana senyawa tersebut multifungsional dan dapat beraksi sebagai pereduksi dan penangkap radikal bebas.

3.4.2. Komposisi Asam Lemak Minyak Biji Alpukat

Hasil analisis komposisi asam lemak minyak biji alpukat ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil penelitian menunjukkan jumlah asam lemak oleat lebih besar dibandingkan asam lemak palmitat dan asam lemak siklopenta tridekanoat. Komposisi asam lemak yang diperoleh hampir sama dengan laporan peneliti lain sebelumnya. Rachimoellah dkk. (2009) melaporkan bahwa asam lemak tertinggi dalam minyak biji alpukat adalah asam lemak oleat dan asam lemak palmitat, masing-masing sebesar 70,54% dan

11,85%. Sementara itu, Widioko dkk. (2008) melaporkan komposisi asam lemak oleat dan asam lemak palmitat dalam minyak biji alpukat masing-masing sebesar 71,71% dan 6,03%. Namun hal ini berbanding terbalik dengan penelitian Bora dkk. (2001) dimana pada penelitiannya asam lemak palmitat (20,84%) lebih tinggi dari pada asam lemak oleat (17,41%).

Tabel 2. Hasil Analisis Minyak Biji Alpukat

Komposisi asam lemak	Jumlah, %*
Oleat	74,52
Palmitat	11,11
Siklopenta tridekanoat	10,89

*Perlakuan waktu ekstraksi 120 menit dan rasio pelarut 1:5, metode GC-MS

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa rasio bahan terhadap pelarut waktu ekstraksi dan memberikan pengaruh yang berbeda pada proses ekstraksi minyak biji alpukat menggunakan pelarut n-heksan. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan rasio bahan terhadap pelarut tidak berpengaruh nyata ($P > 0,05$) terhadap *yield* dan bilangan asam. Sementara itu, perlakuan waktu berpengaruh nyata ($P \leq 0,05$) terhadap *yield* minyak bubuk biji alpukat, dan berpengaruh tidak nyata ($P > 0,05$) terhadap bilangan asam. *Yield* tertinggi (2,23%) dan nilai aktivitas antioksidan tertinggi (62,87%) diperoleh pada perlakuan waktu 120 menit dan rasio bubuk biji alpukat terhadap pelarut 1:5. Minyak biji alpukat mengandung asam lemak oleat (74,52%) lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak palmitat (11,11%) dan asam siklopenta tridekanoat (10,89%).

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui hibah penelitian Skim Hibah Bersaing (No. Kontrak: 111/UN11.2/LT/SP3/2014).

Daftar Pustaka

Andarwulan, N., Kusnandar, F., Herawati, D. (2011) *Analisis Pangan*, Dian Rakyat, Jakarta.

AOAC (1999) *Official Methods of Analysis of AOAC International 16th Edition*, USA.

Bora, Pushkar, S., Narendra, N., Rosalynd, V.M.R., Marcal, Q.P. (2001) Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits, *Grasas y Aceites*, 52, 171 – 174.

dos Santos, M.A.Z., Alicieo, T.V.R., Pereira, C.M.P., Ramis-Ramos, G., Mendonca, C.R.B. (2014) Profile of bioactive compounds in avocado pulp oil: influence of the drying processes and extraction methods, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91, 19–27.

Gomez-Lopez, V.M. (2002) Fruit characterization of high oil content avocado varieties, *Scientia Agricola*, 59, 403–406.

Gunstone, F.D., Rousseau, D. (2004) *Rapeseed and canola oil: Production, processing, properties and uses*. Blackwell Publishing Ltd. Oxford.

Finha, A.F., Moreira, J., Barreira, S.V.P., (2013) Physicochemical parameters, phytochemical composition and antioxidant activity of the algarvian avocado (*Persea americana* Mill), *Journal of Agricultural Science*, 5, 100 – 109.

Ikhuoria, E.U., Maliki, M. (2001) Characterization of avocado pear (*persea americana*) and african pear (*dacryodesedulis*) extract, *Biotechnology*. 7, 950 – 952.

Malangngi, L.P., Meiske S.S., Jessy J.E.P. (2012) Penentuan kandungan tanin dan uji aktivitas antioksidan ekstrak biji buah alpukat (*Persea americana* Mill.), *Jurnal MIPA UNSRAT*, 1, 5–10.

Marlinda, M., Meiske S.S., Audy, D.W. (2012) Analisis senyawa metabolit sekunder dan uji toksisitas ekstrak etanol biji buah alpukat (*Persea americana* Mill), *Jurnal MIPA UNSRAT*, 1, 24–28

Miranda, J. R., Santos, B. H., Lara, E. H., Aldapa, C. A. G., Garcia, H. S., Sánchez, C. E. M. (2014) Effect of some variables on oil extraction yield from Mexican pumpkin seeds, *CyTA – Journal of Food*, 12, 9–15.

Moreno, A.O., Dorantes, L., Galiandez, J. (2003) Effect of different extraction

- methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) Oil, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2216 – 2221.
- Ozdemir, F., Topuz, A. (2004) Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period, *Food Chemistry*, 86, 79 – 83.
- Prasetyowati, Retno P., Fera T.O. (2010) Pengambilan minyak biji alpukat (*persea americana* mill) dengan metode ekstraksi, *Jurnal Teknik Kimia*, 17, 16 – 24.
- Rachimoellah, M., Kartika, Y., Prawitasari, R. (2009) Production of biodiesel through transesterification of avocado (*persea gratissima*) seed oil using base catalyst, *Jurnal Teknik Mesin*, 11, 85–90.
- Standar Nasional Indonesia (1998) SNI 01-4476-1998, Tepung Bumbu Rempah. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- Widioko, Septian, A., Wawan, R. (2008) Proses ekstraksi kontinyu lawan arah dengan simulasi batch tiga tahap: pengambilan minyak biji alpukat menggunakan pelarut N-Hexane dan Iso Propil Alkohol, *Reaktor*, 12, 37-41.
- Song, Y., Barlow, P. J. (2004) Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds, *Food Chemistry*, 88, 411 – 417.
- Tasan, M., Gecgel, U., Demirci, M. (2011) Effects of storage and industrial oilseed extraction methods on the quality and stability characteristics of crude sunflower oil (*Helianthus annuus* L.), *Grasas Y Aceites*, 62, 389 – 398.
- Tuntiwiwattanapun, G., Tongcumpou, C., Haagensohn, D., Wiesenborn, D. (2013) Development and scale-up of aqueous surfactant-assisted extraction of canola oil for use as biodiesel feedstock, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90, 1089 – 1099.



Pengaruh Penggunaan Fotokatalis TiO_2 /Resin, TiO_2 /Zeolit Dan TiO_2 /Karbon Aktif dalam Proses Fotoreduksi Ion Hg(II) dengan Metode SODIS (Solar Disinfection Water)

The Influences of Photocatalyst TiO_2 /Resin, TiO_2 /Zeolite, TiO_2 /Activated Carbon For Photoreduction Process of ion Hg(II) With SODIS (Solar Disinfection Water) Method

Rosyid Ridho

Jurusan Kimia Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas PGRI Banyuwangi.
Jl. Ikan Tongkol no. 22 Banyuwangi
E-mail: rosyidridho@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan proses pembuatan fotokatalis TiO_2 /resin, TiO_2 /zeolit dan TiO_2 /karbon aktif yang selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD dan Energi Band Gap (Eg). Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui telah terbentuknya fotokatalis. Sedangkan karakterisasi Energi Band Gap (Eg) bertujuan untuk mengetahui tingkat celah energi pada masing-masing fotokatalis dimana semakin tinggi harga Energi Band Gap maka efektivitas fotoreduksi akan semakin tinggi. Hasil dari karakterisasi XRD menunjukkan bahwa fotokatalis TiO_2 -resin, TiO_2 -zeolit, dan TiO_2 /karbon aktif telah terbentuk, sedangkan hasil energi band gap untuk TiO_2 /zeolit sebesar 3,608 eV, TiO_2 /resin sebesar 3,38 eV, sedangkan TiO_2 /karbon aktif adalah 3,48 eV. Didasarkan pada harga Eg tersebut diharapkan aktivitas fotokatalis TiO_2 /zeolit lebih tinggi daripada fotokatalis yang lain. Pengujian aktivitas fotokatalis dilakukan dengan mereaksikan 50 mg masing-masing fotokatalis untuk mereduksi 50 mL larutan Hg(II) 5 ppm yang disinari oleh sinar matahari sebagai sumber cahaya dengan variasi waktu penyinaran (1,2,3,4,5 dan 6 jam). Dari hasil penyinaran menunjukkan bahwa semakin tinggi waktu penyinaran semakin tinggi % Hg tereduksi, dalam penelitian ini efektivitas fotokatalis terbaik adalah TiO_2 /zeolit dengan efektivitas fotoreduksi pada penyinaran 6 jam sebesar 98,5%. Pada tahap ini juga dipelajari pengaruh konsentrasi Ion Hg(II) (0; 2,5; 5; 10; 20; dan 25) dengan waktu penyinaran 6 jam. Data yang diperoleh menunjukkan semakin tinggi konsentrasi awal ion Hg , semakin rendah efektivitas fotoreduksinya.

Kata Kunci: Fotokatalis, Sodis, TiO_2 /resin, TiO_2 /zeolit, TiO_2 /karbon aktif

Abstract

The making of TiO_2 /resin, TiO_2 /zeolite dan TiO_2 /activated carbon as photocatalyst that will characterize with X Ray Diffraction (XRD) and Band Gap Energy (Eg) has been done. The characterization aims to find out the formation and to determine the level of band gap energy in each of photocatalyst where the higher band gap energy then photoreduction effectiveness will be higher. XRD and Band Gap Energy (Eg) characterization showed that the photocatalyst (TiO_2 /resin, TiO_2 /zeolite dan TiO_2 /activated carbon) has been formed while the results of the band gap energy of TiO_2 /zeolite, TiO_2 /resin and TiO_2 /activated carbon is 3.608 eV, 3.38 eV, and 3.48 eV. Based on the expected value Eg photocatalytic activity of TiO_2 /zeolite is higher than the other photocatalyst. Photocatalytic activity test carried out by reacting 50 mg each photocatalyst to reduce 50 ml of Hg(II) of 5 ppm is illuminated by sunlight as a light source with a variation of exposure time (1,2,3,4,5 and 6 hours). From the results indicate that the higher radiation exposure time the higher percentage Hg(II) reduced. In this research TiO_2 /zeolite has an optimum photocatalyst with exposure time 6 hours and 98,5% photoreduction affectivity. At this stage also studied the effect of the concentration of ions Hg(II) (0; 2.5; 5; 10; 20; and 25) with 6 hours of exposure time. The data obtained showed that the higher the initial concentration of ions Hg(II) , the lower the Photoreduction effectiveness

Keyword: photocatalyst, Sodis, TiO_2 /resin, TiO_2 /zeolite, TiO_2 / activated carbon

1. Pendahuluan

Pencemaran lingkungan saat ini menjadi masalah serius yang perlu disikapi dan diantisipasi sehingga akibat pencemaran

sedini mungkin dapat ditanggulangi (Frans, 2011). Salah satu jenis polutan yang berbahaya adalah senyawa merkuri yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan emas oleh masyarakat. Pencemaran merkuri

juga terjadi di daerah Pesanggaran, Banyuwangi, dimana terdapat lokasi yang berpotensi sebagai penghasil limbah logam Hg, yaitu Tumpang Pitu. Di daerah tersebut berkembang pendulangan logam emas secara liar. Para penambang mendulang emas menggunakan air raksa (Hg) yang kemudian limbahnya dibuang secara langsung ke lingkungan. Oleh karena itu, di daerah tersebut dimungkinkan terjadi pencemaran ion Hg(II).

Mengingat bahaya yang ditimbulkan oleh merkuri seperti yang telah diuraikan di atas maka perlu dilakukan upaya penanganan terhadap limbah tersebut. Penanganan tersebut dapat dilakukan dengan metode adsorpsi, pertukaran ion dan fotoreduksi. Metode adsorpsi dan pertukaran ion relatif sederhana dan efektif, namun tidak menghilangkan sifat racun Hg(II), melainkan hanya memindahkannya dari larutan dan padatan adsorben atau bahan penukar ion. Selain itu apabila adsorben atau penukar ion telah jenuh oleh ion Hg(II) maka akan menjadi limbah padat yang berbahaya karena masih mengandung ion Hg (II) yang cukup besar. Untuk mengatasi hal tersebut telah dikembangkan metode fotoreduksi menggunakan cahaya dan serbuk TiO_2 sebagai fotokatalis yang dapat mengubah ion Hg(II) yang sangat berbahaya bagi lingkungan menjadi Hg(0) yang lebih mudah penanganannya (Devina, 2008).

Walaupun penggunaan TiO_2 dalam bentuk serbuk untuk pengolahan limbah secara umum termasuk ion Hg(II), cukup praktis namun serbuk ini selalu *mobile* sehingga akan cepat hilang dari larutan (Asilturk dan Sener, 2012; Eliyas dkk., 2013; Andriantsiferana dkk., 2014). Hal ini mengakibatkan reduksi ion Hg(II) menjadi Hg(0) tidak efektif sehingga harus digunakan jumlah yang banyak. Serbuk TiO_2 yang terlalu banyak akan menyebabkan larutan menjadi keruh sehingga penyerapan cahaya oleh substrat menjadi kurang sempurna, sehingga efektivitas fotokatalis rendah (Ridho, 2013).

Untuk mengatasi masalah tersebut maka dalam penelitian ini digunakan perbandingan beberapa pengemban untuk TiO_2 seperti resin (*polistirene sulfonated*), zeolit dan karbon aktif sehingga diharapkan serbuk TiO_2 dapat terimobilisasi atau tidak terlarut dalam larutan. Dalam penelitian ini imobilisasi dilakukan dengan metode pertukaran ion yang diikuti dengan kalsinasi, atau uji fotoaktivitas TiO_2 /Pengemban sebagai fotokatalis untuk proses fotoreduksi Hg(II) menjadi Hg(0).

Proses fotoreduksi yang sering digunakan selama ini masih banyak yang menggunakan lampu UV sebagai sumber cahaya, namun dalam penelitian ini digunakan metode SODIS (*Solar Disinfection Water*). SODIS memanfaatkan energi cahaya dan panas matahari untuk menonaktifkan patogen melalui mekanisme sinergis (Byrne, 2011). Radiasi UV (200 - 400 nm) dapat diklasifikasi sebagai UV A (320 - 400 nm), UV B (280 - 320 nm), dan UV C (200 - 280 nm). UV C diserap oleh lapisan ozon bersama dengan proporsi UV B, karena itu UVA merupakan fragmen utama dari radiasi ultraviolet matahari yang mencapai permukaan bumi (Byrne dkk., 2011). Sehingga dalam penelitian ini sumber cahaya yang digunakan dalam proses fotoreduksi adalah cahaya matahari.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah titanium (IV) Iso-propoksida, etanol absolut, resin (*polistirene sulfonated*), TiO_2 degusa, karbon aktif, zeolit alam, HgCl_2 , yang semuanya buatan Merck. Kertas saring *Whatman* 42 ($\Phi = 110$ nm), dan akuabides buatan Laboratorim Kimia UNIBA.

Penelitian ini terdiri dari sintesis dan karakterisasi komposit TiO_2 /resin, TiO_2 /zeolit, dan TiO_2 /karbon aktif serta uji fotokatalitik untuk detoksi ion Hg(II) melalui reaksi fotoreduksi terkatalisis.

2.2. Preparasi dan karakterisasi fotokatalis

Preparasi dilakukan dengan prosedur sebagai berikut. Larutan yang mengandung Ti(IV) isopropoksida dalam etanol dan air sebanyak 100 ml ditambah dengan 1 gram pengemban (zeolit, karbon aktif dan resin penukar kation) dan diaduk selama 24 jam dengan pegaduk magnet. Selanjutnya dilakukan pemisahan dengan kertas saring *Whatman* 42, sehingga diperoleh filtrat dan padatan. Padatannya dikeringkan dan dikalsinasi pada suhu 200°C. Setelah itu, padatan tersebut siap untuk dikarakterisasi dengan metode difraksi sinar X (XRD) maupun diuji sebagai fotokatalis. Disamping itu, juga dilakukan pengukuran energi band gap (E_g) sebagai karakter suatu fotokatalis, dengan cara membuat spektra UV-Vis. Diffusi reflektansi pada panjang gelombang 800-250 nm.

2.3. Uji fotokatalitik masing-masing fotokatalis untuk fotoreduksi larutan Hg(II)

Proses fotoreduksi ion Hg(II) dilakukan dengan sistem *batch* dengan sinar matahari secara langsung yang diaduk dengan magnetik *stirer*. Untuk itu, campuran yang terdiri dari larutan Hg(II) dan komposit TiO₂/Pengemban dimasukkan ke dalam erlenmeyer disinari dengan sinar matahari sambil diaduk dengan pengaduk magnet dalam waktu tertentu. Pemisahan filtrat dari padatannya dilakukan dengan cara penyaringan dengan kertas *Whatman* 42. Filtrat yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan AAS teknik uap dingin untuk menentukan konsentrasi ion Hg(II) sisa atau tidak tereduksi.

Langkah yang sama dilakukan untuk mempelajari pengaruh waktu fotoreduksi dengan cahaya matahari, dan konsentrasi ion Hg(II) dengan waktu penyinaran optimum, terhadap efektifitas fotoreduksi ion Hg(II). Untuk mempelajari pengaruh waktu penyinaran dilakukan proses dengan menggunakan fotokatalis dengan massa 50 mg untuk 50 ml larutan Hg(II) 5 ppm dengan variasi waktu penyinaran selama 1,2,3,4,5, dan 6 jam. Pengaruh konsentrasi larutan Hg(II) dipelajari dengan cara yang sama, konsentrasi larutan yang bervariasi yaitu 0; 2,5; 5; 10; 20, dan 25 ppm pada waktu dan massa fotokatalis optimum.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi Fotokatalis

Pada penelitian ini karakterisasi fotokatalis dilakukan dengan dua tahapan yaitu dengan XRD dan Analisa Energi Band Gap. Karakterisasi XRD dalam penelitian ini dilakukan dengan tiga tahapan yaitu TiO₂/resin, TiO₂/zeolit, dan TiO₂/karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 1 Berikut:

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa fotokatalis TiO₂/resin telah terbentuk, hal ini ditunjukkan dengan adanya serapan TiO₂ pada sudut 23° dengan intensitas sedang, sudut 25° dengan intensitas tajam serta 48,39° dengan intensitas tajam. Sedangkan serapan pada resin ditunjukkan pada sudut 18,34° dengan intensitas rendah, dan 44,04° dengan intensitas tajam (Ridho, 2013).

Sedangkan pada difraktogram TiO₂/zeolit tersebut tidak terlihat refleksi TiO₂ secara

jelas di daerah 2θ = 23° dan 25°. Hal ini mungkin disebabkan oleh tumpang tindihnya refleksi TiO₂ dengan zeolit. Namun pada daerah 2θ = 40° terlihat 2 puncak kecil yang mungkin disebabkan oleh refleksi TiO₂, sedangkan refleksi zeolit terlihat jelas pada daerah 2θ = 20,3° sampai 24,15° dan 27,8° sampai 35,9° (Joseph dkk., 2013).

Pada Difraktogram TiO₂/karbon aktif menunjukkan serapan TiO₂ yang cukup tajam di daerah 2θ = 23°, 25°, dan 48°, dan menunjukkan intensitas sedang di daerah 2θ = 38°, sedangkan serapan karbon aktif ditunjukkan dengan adanya serapan amorf pada daerah 2θ = 20° sampai 25°, serapan yang tajam pada 2θ = 35°, 57°, dan 64°. Dari data diatas dapat disimpulkan telah terbentuk TiO₂ dan karbon aktif pada fotokatalis TiO₂/karbon aktif tersebut (Baolin dkk., 2016; Huang dkk., 2011).

Analisa Energi Band Gap (Eg)

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran energi Band gap (Eg) sebagai karakter suatu fotokatalis dengan menggunakan metode *Spektrofotometer Diffuse Reflectance Ultra Violet* (DR-UV).

Pengukuran ini dilakukan terhadap TiO₂/zeolit, TiO₂/resin dan TiO₂/karbon aktif untuk mengetahui efek imobilisasi TiO₂ terhadap harga Eg. Hasil pengukuran disajikan pada Gambar 2, yang memperlihatkan munculnya serapan tepi maksimum (λg) untuk sampel TiO₂/zeolit pada panjang gelombang 344 nm, TiO₂/resin pada panjang gelombang 367 nm dan TiO₂/karbon aktif pada panjang gelombang 356 nm. Harga λg ini selanjutnya digunakan untuk menentukan harga energi band gap (Eg) (Zhao dkk., 1996).

Harga λg ini selanjutnya digunakan untuk menentukan harga energi band gap (Eg) yang menggunakan persamaan 1.

$$Eg = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

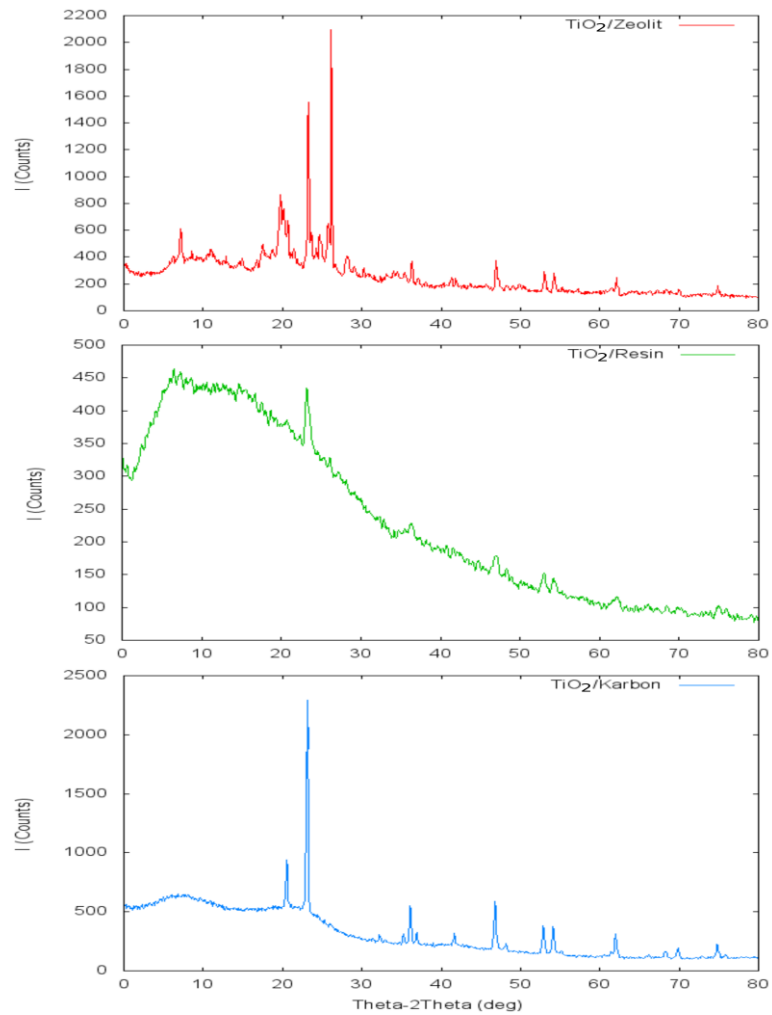
Eg = Energi Band Gap

λ = Panjang Gelombang

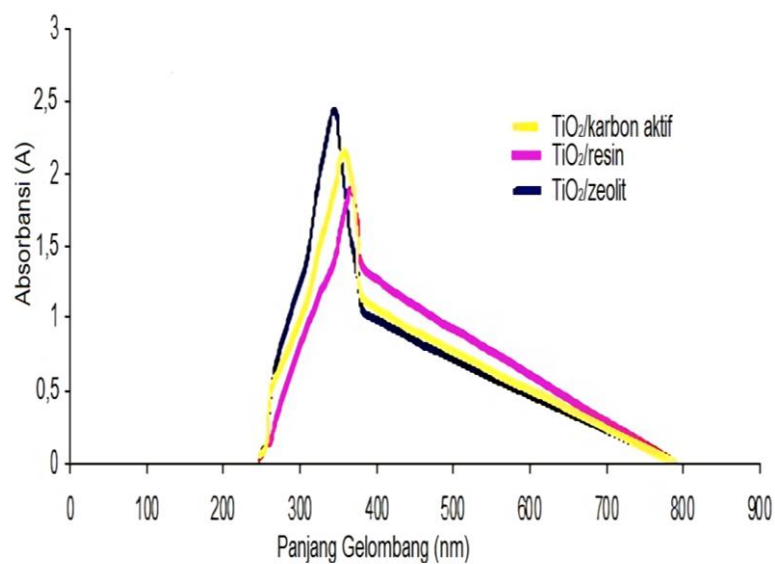
c = Kecepatan cahaya (3x10⁸ m/s)

h = Tetapan Planck (6,62 x 10⁻³⁴ J s)

sedangkan 1 eV = 1,6 x 10⁻¹⁹ J, sehingga harga Eg dapat ditentukan



Gambar 1 Data XRD $\text{TiO}_2/\text{resin}$, $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$, $\text{TiO}_2/\text{karbon}$ aktif



Gambar 2 Grafik DR UV-Vis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$, $\text{TiO}_2/\text{resin}$ dan $\text{TiO}_2/\text{karbon}$ aktif

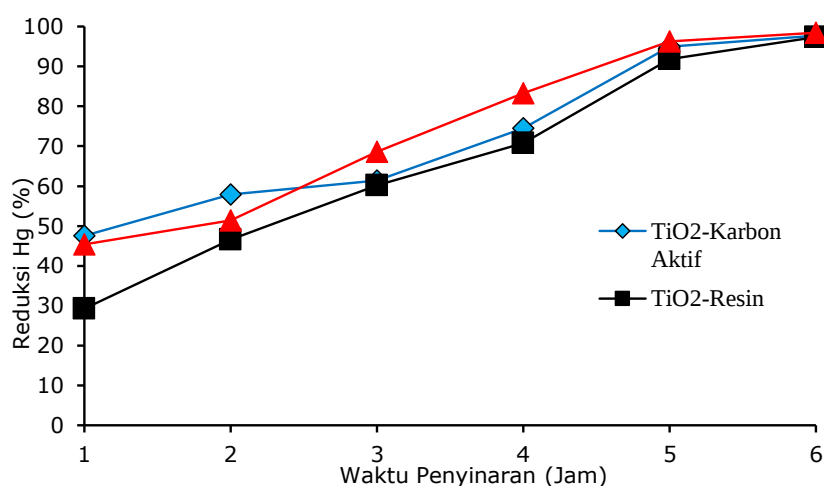
Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut diperoleh harga E_g untuk $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ sebesar 3,608 eV, $\text{TiO}_2/\text{resin}$ sebesar 3,38 eV, sedangkan $\text{TiO}_2/\text{karbon}$ aktif adalah 3,48 eV. Harga E_g $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ yang lebih besar daripada TiO_2 serbuk mengindikasikan bahwa partikel TiO_2 dalam $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ tersebut kemungkinan mempunyai ukuran yang lebih kecil dibanding $\text{TiO}_2/\text{karbon}$ aktif dan $\text{TiO}_2/\text{resin}$. Penurunan ukuran TiO_2 dalam $\text{TiO}_2/\text{resin}$ terjadi karena pertumbuhan partikel tersebut terhalangi oleh kerangka struktur Zeolit. Didasarkan pada harga E_g tersebut diharapkan aktivitas fotokatalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ lebih tinggi daripada fotokatalis yang lain. Pengujian aktivitas fotokatalis tersebut dilakukan untuk fotoreduksi ion Hg(II) .

3.3. Aplikasi Fotokatalis Sebagai pereduksi ion Hg

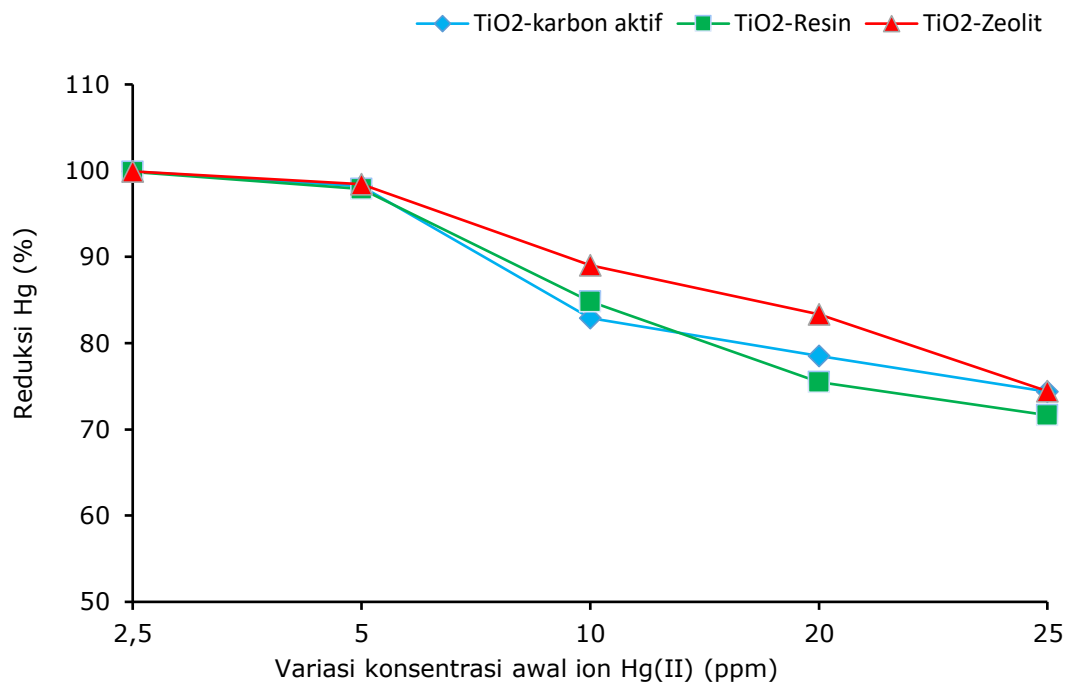
Aplikasi Fotokatalis sebagai pereduksi ion Hg(II) dilakukan dengan dua macam variasi yaitu penentuan waktu penyinaran optimum dan pengaruh konsentrasi ion Hg(II) . Penentuan waktu penyinaran optimum dilakukan dengan menambahkan 50 mg fotokatalis ($\text{TiO}_2/\text{resin}$, $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$, dan $\text{TiO}_2/\text{karbon}$ aktif) ke dalam erlenmeyer yang berisi larutan Hg(II) 5 ppm, kemudian disinari dengan cahaya matahari selama 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 jam. Data penentuan penyinaran optimum ditunjukkan pada Gambar 3

Pada Gambar 3 terlihat bahwa semakin lama waktu penyinaran maka efektivitas fotoreduksi ion Hg(II) semakin tinggi, hal ini dikarenakan pada proses penyinaran fotokatalis akan melepas elektron yang berfungsi sebagai pereduksi ion Hg(II) , jadi semakin lama waktu penyinaran maka semakin banyaknya elektron yang dihasilkan, sehingga ion Hg(II) yang tereduksi akan semakin besar.

Penggunaan fotokatalis $\text{TiO}_2/\text{resin}$, $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$, dan $\text{TiO}_2/\text{karbon}$ aktif pada proses reduksi ion Hg(II) menunjukkan efektivitas yang hampir sama, hal ini dikarenakan masing-masing fotokatalis tersebut menggunakan pengemban untuk mengikat TiO_2 di permukaan, sehingga diharapkan luas permukaan TiO_2 yang diembankan ke resin, karbon aktif dan zeolit akan menjadi lebih besar sehingga dengan semakin besarnya luas permukaan mengakibatkan elektron yang dihasilkan semakin banyak sehingga efektivitas fotoreduksi akan semakin tinggi. Dalam penelitian ini didapatkan efektivitas fotoreduksi tertinggi adalah fotokatalis $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ dengan jumlah ion Hg(II) tereduksi sebesar 98,5% pada waktu penyinaran 6 jam, hal ini dikarenakan harga Energi Band Gap $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ lebih besar dari fotokatalis $\text{TiO}_2/\text{resin}$ maupun $\text{TiO}_2/\text{karbon}$ aktif, dengan semakin besarnya energi band gap maka aktivitas fotokatalis akan semakin tinggi sehingga meningkatkan efektivitas fotoreduksi ion Hg(II) .



Gambar 3. Pengaruh waktu penyinaran terhadap % ion Hg(II) tereduksi dengan fotokatalis $\text{TiO}_2/\text{Resin}$, $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$, dan $\text{TiO}_2/\text{karbon}$ aktif.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi awal larutan Hg(II) terhadap fotoreduksi Hg(II) dalam %. Lama penyinaran 6 jam dan massa fotokatalis 50 mg

3.4. Efektivitas Fotoreduksi Ion Hg(II) Terkatalisis TiO₂/resin, TiO₂/Zeolit, dan TiO₂/karbon aktif

Pengaruh konsentrasi awal larutan ion Hg(II) dipelajari untuk mendapatkan informasi tentang konsentrasi ion Hg(II) maksimal yang dapat direduksi secara efektif dengan menggunakan sejumlah tertentu fotokatalis. Untuk menyelidiki pengaruh konsentrasi awal ion Hg(II) dilakukan dengan menyinari 50 mL larutan ion Hg(II) dengan konsentrasi bervariasi selama 6 jam dan berat fotokatalis 50 mg. Hasil penelitian disajikan pada Gambar 4.

Gambar 4 memperlihatkan secara umum bahwa kenaikan konsentrasi awal larutan Hg(II) dari 2,5 – 25 ppm menyebabkan penurunan % reduksi Hg(II). Penurunan ini terjadi karena % tereduksi dihitung dengan cara membandingkan konsentrasi ion Hg(II) yang tereduksi dengan konsentrasi ion Hg(II) awal. Pada konsentrasi awal ion Hg(II) 2,5 – 5 mg/L terlihat bahwa ion Hg(II) tereduksi sangat tinggi yaitu berkisar 97,88% - 99,99%. Hal ini menunjukkan bahwa pada interval konsentrasi yang rendah kenaikan

konsentrasi awal ion Hg(II) memberikan hasil fotoreduksi yang relatif besar terhadap jumlah ion Hg(II) mula-mula. Namun untuk konsentrasi awal larutan ion Hg(II) yang cukup besar yaitu 10-25 mg/L, ternyata kenaikan konsentrasi memberikan % ion Hg(II) tereduksi yang lebih rendah, yaitu berkisar dari 71,68% - 89,05%. Pada konsentrasi yang relatif besar, kenaikan konsentrasi menyebabkan meningkatnya kekentalan yang diakibatkan kenaikan spesies Hg(II) dalam larutan, sehingga akan menghalangi tumbukan antara ion Hg(II) dengan elektron sehingga efektivitas fotoreduksi menjadi berkurang. Selain itu karena elektron yang tersedia pada sistem relatif tetap, maka meskipun jumlah ion Hg(II) dalam larutan meningkat, efektivitas fotoreduksi relatif tidak berubah. Hal tersebut menyebabkan ion Hg(II) yang mengalami fotoreduksi relatif lebih kecil jika dibandingkan konsentrasi awal ion Hg(II), sehingga menghasilkan % ion Hg(II) yang tereduksi relatif rendah.

Pada Gambar 4 juga menunjukkan proses fotoreduksi ion Hg(II) pada masing katalis (TiO₂/resin, TiO₂/zeolit, dan TiO₂/karbon aktif) juga memberikan efektivitas

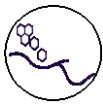
fotoreduksi yang hampir sama, namun fotokatalis yang paling optimum dalam proses reduksi ion Hg(II) adalah TiO₂/zeolit.

4. Kesimpulan

Dari hasil karakterisasi XRD dan Energi band gap dapat disimpulkan bahwa telah terbentuk fotokatalis TiO₂/zeolit, TiO₂/resin dan TiO₂/karbon aktif dengan harga energi band Gap (Eg) sebesar 3,608 eV, 3,38 eV dan 3,48 eV. Pada proses fotoreduksi menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran maka akan meningkatkan efektivitas fotoreduksi ion Hg (II), sedangkan semakin tinggi konsentrasi awal ion Hg(II) mengakibatkan efektivitas fotoreduksi ion Hg(II) semakin rendah. Fotoreduksi terhadap 50 ml larutan Hg(II) 5 ppm dapat tercapai secara optimal oleh fotokatalis TiO₂/zeolit, yaitu sebesar 98,5% dengan waktu penyinaran selama 6 jam.

Daftar Pustaka

- Andriantsiferana, Mohamed, C.E.F., Delmas, H. (2014) Photocatalytic degradation of an azo dye on TiO₂/activated carbon composite material, *Environmental Technology*, 35(3), 355 – 363.
- Asilturk, M., Sener, S. (2012) TiO₂-activated carbon photocatalysts: preparation, characterization and photocatalytic activities, *Chemical Engineering Journal*, (180), 354 – 363.
- Baolin X., Changliang S., Chuanxiang Z., Guiyun Y., Lunjian C., Hui G., Guangxu H., Jianliang C. (2016) Preparation of TiO₂/Activated Carbon Composites for Photocatalytic Degradation of RhB under UV Light Irradiation, *Hindawi Publishing Corporation Journal of Nanomaterials*, 2016, 1 – 10.
- Byrne, J. A., Pilar, A., Fernandez-Ibanez, Patricks, S. M. D., Dheaya, M. A., Alrousan, Jeremy, W., Hamilton (2011) Photocatalytic enhancement for solar disinfection of water, *Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Photoenergy*, 2011, Article ID 798051.
- Devina, I. (2008) Pengaruh senyawa p-klorofenol terhadap efektivitas fotoreduksi ion Hg(II) yang dikatalisis TiO₂, *JSKA*, XI(2).
- Eliyas, A. E., Ljutzkanov, L., Stambolova, I. D. (2013) Visible light photocatalytic activity of TiO₂ deposited on activated carbon, *Central European Journal of Chemistry*, 11(3), 464 – 470.
- Frans G. I. (2011) Laju reduksi merkuri oleh pseudomonas diisolasi dari perairan pantai teluk manado, *Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis*, Vol. VII-2.
- Huang, Miyamoto, D.Y., Matsumoto, T. (2011) Preparation and characterization of high surface area TiO₂/activated carbon by low temperature impregnation, *Separation and Purification Technology*, 78(1), 9 – 15.
- Joseph, C.G., Sharain-liem, Y.C., Bono Awang, Teng, L.Y. (2013) Photodegradation of Indigo Dye Using TiO₂ and TiO₂/Zeolite System, *Asian Journal of Chemistry*, 25(15), 840 – 8406.
- Ridho, R. (2013) Imobilisasi TiO₂ ke dalam resin penukar kation dan aplikasinya sebagai fotokatalis dalam proses fotoreduksi ion Hg, *Jurnal Valensi*, 3(2), 93 – 99.
- Zhao, X.S., Lu, G.Q., Millar, G.J. (1996) Encapsulation of transition metal species into zeolites and molecular sieves as redox catalyst, *Journal of Porous Materials*, 3, 61 – 66.



Pembuatan *Biofuel* dari *Palm Stearin* dengan Proses Perengkahan Katalitik menggunakan Katalis ZSM-5

Catalytic Cracking Process to Product Biofuel from Palm Stearin by using Catalyst ZSM-5

Rondang Tambun^{1*}, Rangga P Saptawaldi¹, M. Anshori Nasution², Oktris N Gusti¹

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara,
Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155, Indonesia

²Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Jl. Brigjen Katamso No. 51, Medan 20158, Indonesia

*Email: rondang@usu.ac.id

Abstrak

Bahan bakar fosil telah digunakan selama beberapa abad yang menyebabkan ketersediaannya semakin berkurang. Hal ini mendorong perlu dilakukan pengembangan baru di bidang energi. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia. Minyak sawit ini dapat dikonversi melalui proses perengkahan katalitik menjadi *biofuel* yang ramah lingkungan karena tidak mengandung nitrogen dan sulfur seperti gasolin, kerosin dan diesel. Pada penelitian ini digunakan *palm stearin* sebagai bahan baku dengan katalis ZSM-5 yang memiliki luas permukaan 425 m²/g dan rasio Si/Al 50. Variabel yang divariasikan adalah suhu operasi dari 400°C - 450°C dan waktu reaksi dari 60 menit - 150 menit. Hasil penelitian menunjukkan yield *liquid product (biofuel)* tertinggi diperoleh sebesar 93,29% pada suhu 400°C saat waktu reaksi 60 menit, dengan komposisi C₆-C₁₂ sebesar 21,82%, C₁₄-C₁₆ sebesar 19,21% dan C₁₈-C₂₈ sebesar 58,97%.

Kata kunci: *biofuel*, perengkahan katalitik, *palm stearin*, ZSM-5

Abstract

Over the centuries, fossil fuels have been used and caused their existence decreased. This problem encourage a new development in energy sector. Indonesia is one of the largest palm oil producers in the world. The palm oil can be converted through catalytic cracking into environmental friendly biofuel such as gasoline, kerosene and diesel due to free of the content of nitrogen and sulfur. In this research palm stearin is used as feedstock with the catalyst ZSM-5 which has a surface area of 425 m²/g and Si/Al ratio of 50. The variables are the operating temperature of 400°C - 450°C and 60 minutes - 150 minutes of reaction time. The highest result of liquid product (biofuel) is 93,29 % that obtained at temperature 400°C when the reaction time is 60 minutes, with composition of C₆-C₁₂ is 21.82 %, C₁₄-C₁₆ is 19.21% and C₁₈-C₂₈ is 58.97%.

Keywords: *biofuel*, catalytic cracking, *palm stearin*, ZSM-5

1. Pendahuluan

Selama beberapa abad, bahan bakar fosil telah banyak digunakan dalam berbagai macam aspek pada kehidupan, namun bahan bakar ini tidak dapat diperbaharui dan akhirnya akan habis (Kimura, dkk., 2012). Kelangkaan bahan bakar sekarang membuat masyarakat harus mencari sumber energi alternatif yang sifatnya mudah diperbaharui (*renewable fuels*), salah satunya adalah *biofuel* (Putnarubun dkk., 2012). Beberapa tahun ini telah banyak dilakukan pengembangan terhadap bahan baku pembuatan *biofuel* dari tumbuh-tumbuhan, terutama kelapa sawit (Chuaykleang dan Ratanawilai, 2014), hal ini dikarenakan bahan bakar ini tidak beracun serta tidak mengandung senyawa nitrogen dan sulfur (Li dkk., 2008).

Palm stearin merupakan produk turunan minyak kelapa sawit yang berbentuk padatan pada suhu ruangan dan dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *biofuel* (Chew dan Bhatia, 2008).

Pada tahun 2013 Indonesia merupakan negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia dengan produksi mencapai 27,8 juta ton (Badan Pengawas Perdagangan Berjangka Komoditi, 2014). Hal ini menunjukkan pemanfaatan *palm stearin* untuk menjadi *biofuel* sangat memungkinkan karena jumlahnya yang melimpah.

Pembuatan *biofuel* dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode perengkahan termal atau *thermal cracking* (Hassan dkk., 2015), perengkahan katalitik atau *catalytic cracking* (Buzetcki dkk., 2011),

perengkahan *hydrocracking* (Han-U-Domlarpys dkk., 2015), dan metode lainnya. Perengkahan termal membutuhkan suhu operasi yang tinggi yakni 850°C, selain itu jenis bahan baku yang digunakan akan menentukan jenis produk yang dihasilkan (Hassan dkk., 2015). Proses *hydrocracking* membutuhkan penambahan gas hidrogen selama operasi yang membuatnya kurang ekonomis dibandingan perengkahan katalitik serta kon-versinya masih 94,9% (Han-U-Domlarpys dkk., 2015; Hassan dkk., 2015).

Proses perengkahan katalitik membutuhkan panas yang lebih sedikit dibandingkan perengkahan termal serta konversi produknya lebih tinggi dibanding-kan *hydrocracking*, sehingga proses ini lebih ekonomis dan lebih efisien (Hassan dkk., 2015). Proses perengkahan katalitik merupakan metode yang sederhana dan efektif untuk pembuatan *biofuel* dari *palm stearin* (Yigezu dan Muthukumar, 2014). Pada proses perengkahan katalitik senyawa dengan berat molekul tinggi pada *palm stearin* akan dipecah menjadi senyawa dengan berat molekul kecil seperti gasolin, kerosin dan diesel dengan penggunaan katalis padat (Ong dan Bhatia, 2010; Nurjannah dkk., 2010).

Beberapa jenis katalis padat yang digunakan pada proses perengkahan katalitik yaitu katalis H-GaAlMFI (Kimura dkk., 2012), katalis Zirco-nium kompleks (Biswas dkk., 2012), katalis CaO (Junming dkk., 2010), katalis V_2O_5 dan ZnO (Yigezu dan Muthukumar, 2014). Sirajudin, dkk. (2013) melakukan penelitian perengkahan katalitik menggunakan katalis HZSM-5 dengan bahan baku minyak sawit. Hasil penelitian tersebut diperoleh *yield* tertinggi untuk fraksi gasolin dan yang terendah untuk fraksi diesel. Hal ini dapat terjadi karena katalis ZSM-5 atau *Zeolite Socony Mobile 5* merupakan material yang memiliki porositas tinggi. Kandungan unsur Si pada katalis ZSM-5 lebih tinggi dibandingkan dengan unsur Al (Buzetzk dkk., 2009). Selain itu katalis ZSM-5 memiliki sifat organofil dan berstruktur dimensi tiga sehingga membuatnya lebih selektif terhadap pembentukan hidrokarbon dengan rantai $C \leq 11$, mempunyai umur katalis yang panjang serta tahan terhadap perlakuan panas dan asam (Nurjannah dkk., 2010). Oleh karena itu katalis ini dapat digunakan untuk pembuatan *biofuel* dari *palm stearin*. Pada penelitian ini, katalis ZSM-5 digunakan untuk pembuatan *biofuel* dari *palm stearin* dengan metode perengkahan katalitik. Dipelajari pengaruh

kalsinasi katalis, pengaruh suhu dan waktu reaksi terhadap *yield biofuel*.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Bahan dan Peralatan

Palm stearin yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) dan katalis ZSM-5 (NH_4 -ZSM-5) dengan rasio Si/Al 50 diperoleh dari Zeolyst International Inc.

2.2. Proses Kalsinasi

Katalis NH_4 -ZSM-5 dengan rasio Si/Al 50 dikalsinasi pada suhu 600°C selama 6 jam untuk diubah menjadi bentuk HZSM-5 (Chew dan Bhatia, 2009). Katalis NH_4 -ZSM-5 yang dikalsinasi dan yang tidak dikalsinasi digunakan pada penelitian ini. Penelitian ini menggunakan reaktor *batch* bertekanan dengan tipe parr 4848 dan alat gas kromatografi menggunakan detektor FID (*Flame Ionized Detector*) untuk menganalisis kandungan hidrokarbon dalam *liquid product*.

2.3. Perengkahan Katalitik Palm Stearin

Reaksi dijalankan dalam reaktor *batch* dengan tekanan operasi akan bergantung pada suhu dan waktu reaksi. *Palm stearin* sebanyak 500 g dan katalis sebanyak 10 g (2% dari bahan baku) dimasukkan ke dalam reaktor. Waktu reaksi dimulai ketika suhu reaktor telah mencapai suhu reaksi, dimana pada penelitian ini waktu reaksi yang digunakan dari 60 menit - 150 menit dan suhu reaksi dari 400°C - 450°C (Sirajudin dkk., 2013; Chew dan Bhatia, 2008). Setelah reaksi selesai, reaktor didinginkan hingga mencapai suhu ruangan dimana akan terbentuk produk dalam tiga fasa yakni fasa cair (*liquid product*), padatan dan gas. Padatan dan *liquid product* dipisahkan secara filtrasi sedangkan jumlah gas dihitung berdasarkan neraca massa dengan mengurangi jumlah awal bahan baku dengan jumlah *liquid product* dan padatan yang diperoleh.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Bahan Baku

Analisis *palm stearin* dilakukan menggunakan alat gas kromatografi dengan menggunakan kolom FID (*Flame Ionized Detector*). Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 1. Komponen *palm stearin* terbesar adalah berupa asam palmitat yaitu sebesar

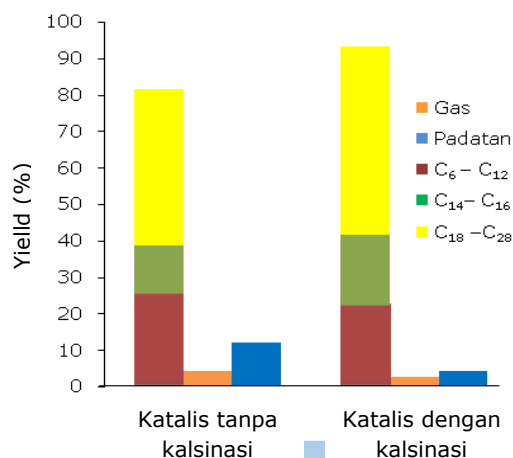
46,5 %. Komponen lainnya yang mendominasi kandungan palm stearin adalah asam oleat.

Tabel 1. Komponen Penyusun *palm stearin*

Komponen Penyusun	Komposisi % (b/b)
Asam Laurat (C _{12:0})	0,1573
Asam Miristat (C _{14:0})	0,9800
Asam Palmitat (C _{16:0})	46,5020
Asam Palmitoleat (C _{16:1})	0,1583
Asam Stearat (C _{18:0})	4,2830
Asam Oleat (C _{18:1})	40,0544
Asam Linoleat (C _{18:2})	7,2217
Asam Linolenat (C _{18:3})	0,1505
Asam Arakidat (C _{20:0})	0,3571
Asam Eikosenoat (C _{20:1})	0,1357

3.2. Pengaruh Kalsinasi Katalis Terhadap Komposisi Produk

Pengaruh kalsinasi katalis terhadap fraksi cair (*liquid product*), padatan dan gas serta komposisi *liquid product* (C₆-C₂₈) dapat dilihat pada Gambar 1, dimana reaksi dilakukan pada kondisi operasi saat suhu 400 °C dan waktu reaksi 60 menit.



Gambar 1. Pengaruh kalsinasi katalis terhadap komposisi produk

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa penggunaan katalis dengan kalsinasi memberikan nilai yield *liquid product* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan menggunakan katalis tanpa kalsinasi, dimana diperoleh nilai 93,29% pada penggunaan katalis dengan kalsinasi dan 83,72% pada penggunaan katalis tanpa kalsinasi. Penggunaan katalis dengan kalsinasi juga menurunkan terbentuknya gas sebesar 1,82% dan padatan sebesar 7,76% jika dibandingkan dengan penggunaan katalis tanpa mengalami kalsinasi. Hal ini terjadi karena proses kalsinasi akan meningkatkan ketahanan dan kestabilan katalis ZSM-5 terhadap suhu,

serta juga mempengaruhi selektivitas dan keasaman dari katalis (Lu dkk., 2005). Penggunaan katalis juga memberikan pengaruh pada distribusi yield *liquid product*, dimana pada komponen dengan ikatan karbon C₁₈-C₂₈ pada proses tanpa menggunakan katalis yang dikalsinasi diperoleh nilai 44,44% dan proses menggunakan katalis yang dikalsinasi diperoleh nilai 58,97%. Komponen C₁₄-C₁₆ memiliki nilai tertinggi pada proses dengan menggunakan katalis yang dikalsinasi dengan nilai 19,21% dan proses tanpa menggunakan katalis kalsinasi diperoleh nilai 10,54%. Komponen C₆-C₁₂ yang diperoleh dengan penggunaan katalis tanpa kalsinasi dan menggunakan katalis yang dikalsinasi berturut-turut sebesar 26,54% dan 21,82%.

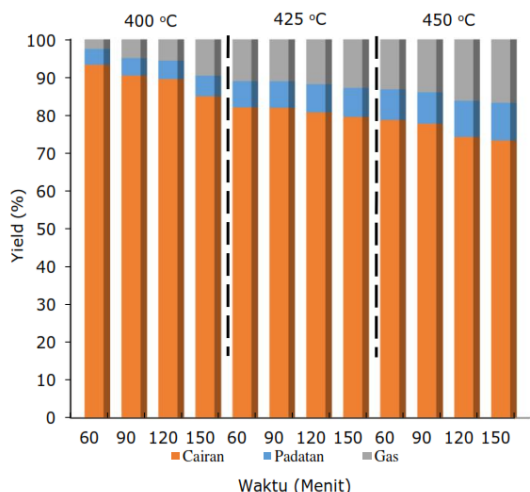
Kalsinasi katalis ZSM-5 telah merubah kation zeolit dari bentuk NH₄⁺ menjadi H⁺. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh pada suhu reaksi 400°C dan pada saat waktu reaksi 60 menit, diperoleh *liquid product* yang terbentuk memiliki kandungan karbon rantai pendek (<C₁₂) yang lebih besar pada katalis dengan katalis tanpa kalsinasi di banding katalis dengan kalsinasi, namun kandungan hidrokarbon rantai panjang (>C₁₈) lebih besar pada proses perengkahan katalitik menggunakan katalis dengan kalsinasi.

3.3. Pengaruh Suhu Reaksi dan Waktu Reaksi Terhadap Yield Perengkahan Katalitik

Gambar 2 menunjukkan pengaruh suhu reaksi dan waktu reaksi terhadap komposisi produk hasil perengkahan katalitik. Berdasarkan Gambar 2 diketahui bahwa dari hasil perengkahan katalitik diperoleh produk dalam 3 fasa yakni padat, cairan (C₆-C₂₈) dan gas. Pada perengkahan katalitik suhu operasi yang digunakan dimulai dari 450°C – 550°C, hal ini karena senyawa dengan berat molekul yang besar akan diputuskan menjadi senyawa dengan berat molekul kecil dengan menggunakan panas, sehingga proses ini membutuhkan energi yang cukup besar (Chew dan Bhatia, 2008).

Hasil yang diperoleh ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Nurjannah dkk., (2010), yang melaporkan hasil penelitian dengan menggunakan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku, katalis HZSM-5, dan suhu reaksi 350°C – 500°C selama 120 menit. Hasil yang mereka peroleh adalah bahwa pada suhu 350°C belum terbentuk cairan, sementara pada suhu 400°C – 500°C sudah terbentuk cairan. Berdasarkan mekanisme perengkahan katalitik minyak sawit yang dilaporkan

oleh Ong dan Bathia (2010), pembentukan padatan dapat terjadi dengan 2 reaksi, yakni reaksi kondensasi trigliserida atau reaksi deoksigenasi dan perengkahan tahap pertama trigliserida. Reaksi deoksigenasi merupakan reaksi yang menghilangkan komponen oksigen dalam senyawa trigliserida dengan melepasnya sebagai CO dan CO₂.



Gambar 2. Pengaruh suhu reaksi dan waktu reaksi terhadap yield perengkahan katalitik

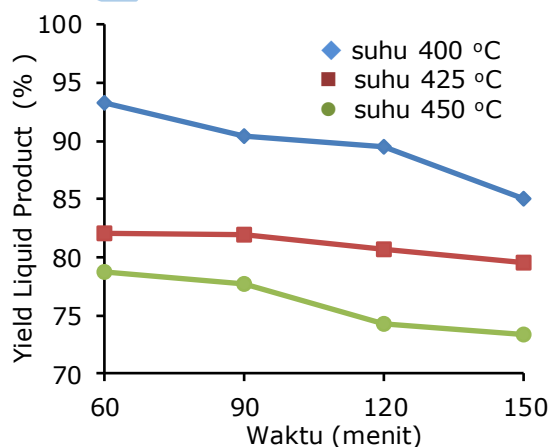
Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa yield gas yang diperoleh semakin meningkat dengan penambahan suhu reaksi dan waktu reaksi. Yield gas terkecil diperoleh pada suhu reaksi 400°C saat waktu reaksi 60 menit dengan nilai 2,55%, dan komposisi gas terbesar diperoleh pada suhu reaksi 450°C saat waktu reaksi 150 menit dengan nilai 16,73%. Kozliak dkk., (2013) menyatakan bahwa semakin tinggi suhu reaksi dan waktu reaksi maka semakin besar yield gas yang akan diperoleh dalam proses perengkahan katalitik.

Gas yang dihasilkan pada proses perengkahan katalitik dapat terbentuk akibat reaksi deoksigenasi dan perengkahan tahap kedua yang berupa CO, CO₂ dan H₂O atau dapat juga disebabkan perengkahan lanjut *organic liquid product* yang terbentuk menjadi gas – gas hidrokarbon ringan seperti metana, etana, olefin, maupun yang lainnya (Ong dan Bathia, 2010). Hal inilah yang menyebabkan nilai yield gas semakin bertambah dengan meningkatnya suhu reaksi dan waktu reaksi pada proses perengkahan katalitik. Hal yang sama juga terjadi pada yield padatan yang menunjukkan pola naik dengan bertambahnya waktu reaksi dan suhu reaksi. Pada suhu reaksi 400°C – 450°C, padatan yang terbentuk semakin meningkat dengan bertambahnya waktu dan suhu reaksi.

Padatan yang diperoleh pada suhu reaksi 400°C – 450°C terbentuk akibat perengkahan lebih lanjut *organic liquid product* membentuk senyawa aromatik kemudian senyawa aromatik mengalami reaksi polimerisasi membentuk coke, atau akibat dari kondensasi trigliserida (bahan baku) (Ong dan Bathia, 2010), sehingga padatan semakin meningkat dengan bertambahnya suhu dan waktu reaksi. Yield padatan terendah diperoleh pada suhu 400°C pada waktu reaksi 60 menit sebesar 4,16% sedangkan yield padatan tertinggi diperoleh sebesar 9,97% pada temperatur 450°C dengan waktu reaksi 150 menit. Jadi dapat disimpulkan bahwa produk padatan dan gas terendah akan diperoleh ketika jumlah *organic liquid product* yang dihasilkan semaksimal mungkin.

3.4. Pengaruh Suhu Reaksi dan Waktu Reaksi Terhadap Yield Liquid Product

Pengaruh suhu reaksi dari 400°C – 450°C dan waktu reaksi dari 60 menit – 150 menit terhadap yield *liquid product* dapat dilihat pada Gambar 3. Yield *liquid product* (C₆-C₁₂, C₁₄-C₁₆, C₁₈-C₂₈) diperoleh dengan membandingkan total massa *liquid product* yang terbentuk dengan massa bahan baku.



Gambar 3. Pengaruh waktu reaksi terhadap yield *liquid product* pada suhu 400°C - 450°C

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa yield *liquid product* tertinggi diperoleh pada suhu 400°C saat waktu reaksi 60 menit dengan nilai 93,29% dan menurun dengan meningkatnya waktu reaksi. Hal yang sama juga terjadi pada suhu reaksi 425°C dan 450°C dimana yield *liquid product* menunjukkan penurunan nilai dengan bertambahnya waktu reaksi, dengan yield

liquid product maksimal terdapat pada menit ke 60 masing – masing sebesar 82,07% dan 78,71%.

Proses perengkahan katalitik terjadi melalui 2 tahapan, tahap pertama ditandai dengan pembentukan *oxygenated component* (senyawa dengan atom oksigen di rumus molekulnya) disebabkan dekomposisi termokimia molekul trigliserida. Selanjutnya tahap kedua ditandai dengan perengkahan *oxygenated component* untuk membentuk molekul – molekul hidrokarbon dengan sifat – sifat yang mirip dengan produk minyak bumi (Da Mota dkk., 2014 & Li dkk., 2009). Menurut Kozliak dkk., (2013) suhu reaksi dan waktu reaksi memberikan pengaruh terhadap pembentukan *liquid product*, dimana semakin tinggi suhu dan waktu reaksinya maka semakin sedikit yield *liquid product* yang dihasilkan (Kozliak dkk., 2013). Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu atau waktu reaksi maka semakin banyak *liquid product* yang direngkah menjadi gas yang menyebabkan berkurangnya yield *liquid product*. Sehingga hal ini yang membuat perolehan *liquid product* dari hasil perengkahan katalitik menurun dengan bertambahnya waktu maupun suhu reaksi.

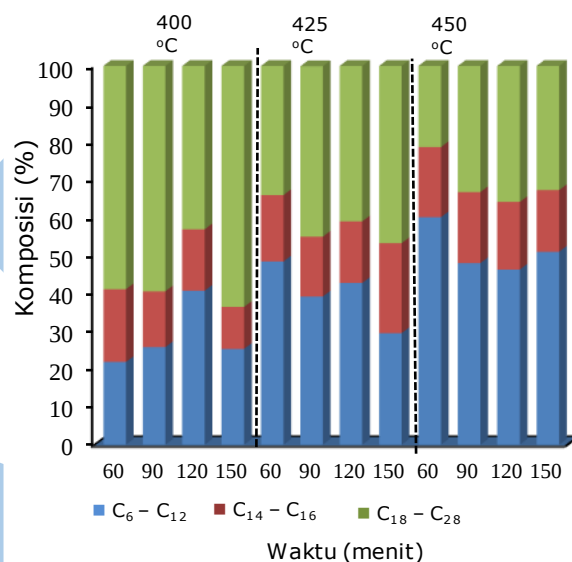
3.5. Penyebaran *Liquid Product* Pada Berbagai Suhu dan Waktu Reaksi

Liquid product hasil proses perengkahan katalitik *palm stearin* mengandung hidrokarbon dengan jumlah rantai C yang beragam, dimana distribusi produk dikelompokkan berdasarkan ikatan karbon yang dikelompokkan atas: ikatan karbon C₅-C₁₂ yang diidentifikasi sebagai gasolin, ikatan karbon C₁₃-C₁₄ dan C₁₅-C₁₇ yang diidentifikasi sebagai bahan bakar jet dan kerosin dan ikatan karbon C₁₈-C₂₈ yang diidentifikasi sebagai diesel (Ortega dkk., 2006).

Pengaruh waktu dan suhu reaksi terhadap distribusi dari *liquid product* pada rentang suhu 400°C – 450°C dapat dilihat pada Gambar 4, dimana penyebaran diperoleh dari hasil analisis *liquid product* menggunakan gas kromatografi. Dari hasil penelitian diperoleh komponen C₆-C₁₂ tertinggi pada suhu 450°C saat waktu reaksi 60 menit dengan nilai 60,06%, komponen C₁₄-C₁₆ pada suhu 425°C saat waktu reaksi 150 menit dengan nilai 23,78% dan komponen C₁₈-C₂₈ pada suhu 400°C saat waktu reaksi 60 menit dengan nilai 58,97%.

Pada Gambar 4 juga dapat dilihat bahwa penambahan waktu dan suhu reaksi memberikan nilai yang fluktuatif terhadap

nilai dari distribusi *liquid product*, dimana kompleksnya reaksi yang terjadi dalam proses perengkahan katalitik perengkahan katalitik *palm stearin* dapat memberikan banyak kemungkinan reaksi ataupun produk yang terbentuk. Pada proses perengkahan katalitik ini terdapat beberapa reaksi seperti reaksi perengkahan, deoksigenisasi, oligomerisasi, aromatisasi, alkilasi, isomerisasi dan polimerisasi (Ong dan Bhatia, 2010).



Gambar 4. Pengaruh waktu dan suhu reaksi terhadap distribusi *liquid product*

Pada penelitian ini juga diperoleh data mengenai penyebaran hidrokarbon rantai pendek (C₆-C₁₂) banyak terdapat pada suhu 450°C, sementara pada suhu 425°C penyebaran komponen hidrokarbon rantai pendek (C₆-C₁₂) dengan hidrokarbon rantai panjang (C₁₈-C₂₈) memiliki nilai yang hampir sama. Pada suhu 400°C, distribusi produk didominasi oleh hidrokarbon rantai panjang (C₁₈-C₂₈).

4. Kesimpulan

Pada proses perengkahan katalitik *palm stearin*, penggunaan katalis ZSM-5 dengan kalsinasi menghasilkan lebih banyak *liquid product* (*biofuel*) dengan rantai karbon panjang dibandingkan dengan menggunakan katalis tanpa kalsinasi. Yield *liquid product* tertinggi pada perengkahan katalitik *palm stearin* sebesar 93,29% diperoleh pada suhu reaksi 400°C dan waktu reaksi 60 menit. Variasi suhu dan waktu pada proses perengkahan katalitik *palm stearin* memberikan nilai yang fluktuatif terhadap distribusi *liquid product*. Yield *liquid product*

semakin menurun dengan bertambahnya suhu reaksi dan waktu reaksi.

Daftar Pustaka

- Badan Pengawas Perdagangan Berjangka Komoditi (2014) Analisis Harga CPO Pekan Keempat Juli 2014.
- Biswas, S., Biswas, P., Kumar, A. (2012) Catalytic cracking of soybean oil with zirconium complex chemically bonded to alumina support without hydrogen, *International Journal of Chemical Sciences and Applications*, 3(2), 306 – 313.
- Buzetzk, E., Sidorova, K., Cvengrosová, Z., Kaszonyi, A., Cvengros, J. (2011) The influence of zeolite catalyst on the products of rapeseed oil cracking, *Fuel Processing Technology*, 92, 1623 – 1631.
- Buzetzk, E., Svanova, K., Cvengros, J. (2009) Zeolite catalyst in cracking of natural triacylglycerols, *44th International petroleum Conference*, Bratislava, Slovak Republic, 1 – 8.
- Chew, T. L., Bhatia, S. (2008) Catalytic processes towards the production of biofuels in a palm oil and oil Palm biomass-based biorefinery, *Bioresource Technology*, 99, 7911 – 7922.
- Chew, T. L., Bhatia, S. (2009) Effect of catalyst additives on the production of biofuels from palm oil cracking in a transport riser reactor, *Bioresource Technology*, 100, 2540 – 2545.
- Chuaykleang, J., Ratanawilai, S. (2014) Biogasoline from catalytic cracking of refined palm oil using H-ZSM-5 catalyst, *International Journal of Advanced In Chemical Engineering & Biological Sciences*, 1(1), 114 – 118.
- Da Mota, S. A. P., Mancio, A. A., Lhamas, D. E. L., De Abreu, D. H., Da Silva, M. S., Dos Santos, W. G., De Castro, D. A. R., De Oliveira, R. M., Araujo, M. E., Borges, L. E. P., Machado, N. T. (2014) Production of green diesel by thermal catalytic cracking of crude palm oil (*Elaeis guineensis* jacq) in a pilot plant, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 110, 1 – 11.
- Han-U-Domlapyos, V., Kutchonthara, P., Reubroycharoen, P., Hinchiranan, N. (2015) Quality improvement of oil palm shell-derived pyrolysis oil via catalytic deoxygenation over NiMoS/γ-Al₂O₃, *Fuel*, 143, 512 – 518.
- Hassan, S. N., Sani, Y. M., Abdul A. A. R., Sulaiman, N. M. N., Daud, W. M. A. W. (2015) Biogasoline: an out of the box solution to the food for fuel and land use competitions, *Energy Conversion and Management*, 89, 349 – 367.
- Junming, X., Jiancun, J., Jie, C., Yunjuan, S. (2010) Biofuel production from catalytic cracking of woody oils, *Bioresource Technology*, 101, 5586 – 5591.
- Kimura, T., Liu, C., Li, X., Maekawa, T., Asaoka, S. (2012) Conversion of isoprenoid oil by catalytic cracking and hydrocracking over nanoporous hybrid catalyst, *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, 1 – 9.
- Kozliak, E., Mota, R., Rodriguez, D., Overby, P., Kubatova, A., Stahl, D., Niri, V., Ogden, G., Seames, W. (2013) Non-catalytic cracking of jojoba oil to produce fuel and chemical by-products, *Industrial Crops and Products*, 43, 386 – 392.
- Li, H., Shen, B., Kabalu, J. C., Nchare, M. (2008) Enhancing the production of biofuels from cottonseed oil by fixed-fluidized bed catalytic cracking, *Renewable Energy*, 34, 1033 – 1039.
- Li, H., Yu, P., Shen, B. (2009) Biofuel potential production from cottonseed oil: a comparison of non catalytic and catalytic pyrolysis on fixed-fluidized bed reactor, *Fuel Processing Technology*, 90, 1087 – 1092.
- Lu, J., Zhao, Z., Xu, C., Duan, A., Zhang, Pu. (2005) Effects of calcination temperature on the acidity and catalytic performances of HZSM-5 zeolite catalysts for the catalytic cracking of n-butane, *Journal of Natural Gas Chemistry*, 14, 213 – 220.
- Malleswara, R. T. V., Dupain, X., Makkee, M. (2012) Fluid catalytic cracking: processing opportunities for fischer-tropsch waxes and vegetable oil to produce transportation fuels and light olefins, *Microporous and Mesoporous Material*, 164, 148 – 163.

- Nurjannah., Roesyadi, A., Prajitno, D.H. (2010) Konversi katalitik minyak sawit untuk menghasilkan biofuel menggunakan silika alumina dan HZSM-5 Sintetis, *Jurnal Reaktor*, 13(1), 37 – 43.
- Ong, Y. K., Bhatia, S. (2010) The current status and prespectives of biofuel production via catalytic cracking of edible and non edible oils, *Energy*, 35, 111 – 119.
- Ortega, D., Norena, L., Aguilar, J., Hernandez, I., Ramirez, V. (2006) Recycling of plactic materials employing zeolite and MCM-41 material, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(3), 189 – 195.
- Putnarubun, C., Suratno, W., Adyaningsih, P., Haerudin, H. (2012) Penelitian pendahuluan pembuatan biodiesel dan bioetanol dari chlorella sp secara simultan, *Jurnal SAINS Mipa*, 18(1), 1 – 6.
- Sirajudin, N., Jusaff, K., Yani, S., Ifa, L., Roesyadi, A. (2013) Biofuel production from catalytic cracking of palm oil, *World Applied Sciences Journal*, 26, 67 – 71.
- Yigezu, Z. D., Muthukumar, K. (2014) Catalytic cracking of vegetable oil with metal oxides for biofuel production, *Energy Conversion and Management*, 84, 326 – 333.

REK

Vol. 11, No. 1, Juni 2016

ISSN: 1412-5064 (cetak), 2356-1661 (online)

Jurnal

Rekayasa Kimia & Lingkungan

(Journal of Chemical Engineering and Environment)

Indek Penulis

Adisalamun, 1
Aris Munandar, 24
Darmadi, 1
Darmansyah, 10
Desy Wulandari, 32
Edy Saputra, 17
Ekky Wahyudi, 17
Hens Saputra, 10
Hesti Meilina, 1
Lisa Ardiana, 10
Muhammad Dani Supardan, 32
M. Anshori Nasution, 46
Novia Mehra Erfiza, 32
Oktris N Gusti, 46
Rangga P Saptawaldi, 46
Rondang Tambun, 46
Rosyid Ridho, 39
Ruka Yulia, 1
Ryan Moulana, 32
Satriana, 32
Simparkin, br. G., 10
Sri Mulyati, 24
Syaifullah Muhammad, 24
Zultiniar, 17

Vol. 11, No. 1, Juni 2016

ISSN: 1412-5064 (cetak), 2356-1661 (online)

Jurnal

Rekayasa Kimia & Lingkungan

(Journal of Chemical Engineering and Environment)

Indek Subjek

Adsorption, 10, 24,
AOP, 1
Avocado seed, 32
Biofuel, 46
Box-behnken, 1
Catalytic cracking, 46
Coal fly ash, 17
COD, 24
Cracking, 17
Extraction, 32
Extraction time, 32
Fenton, 1
Kinetic adsorption, 10
Liquid fuel, 17
MCM-41, 10
Nano activated carbon, 24
Palm Oil Mill Effluent waste, 24
Palm stearin, 46
Polypropylene, 17
Plastic waste, 17
Photocatalyst, 39
Response surface methodology, 1
Seed to solvent ratio, 32
Sodis, 39
Tapioca, 10
TiO₂/activated carbon, 39
TiO₂/resin, 39
TiO₂/zeolit, 39
Wastewater, 10
ZSM-5, 46

Petunjuk Penulisan Artikel Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan

Tentang Jurnal

Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan (RKL) diterbitkan oleh Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala. RKL terbit dalam versi cetak (ISSN. 1412-5064) dan versi online (e-ISSN. 2356-1661). Versi cetak jurnal RKL telah terbit sejak tahun 2004. Sedangkan versi online, RKL dipublikasikan mulai sejak tahun 2006. RKL adalah jurnal open akses dengan pelibatan mitra bestari (peer-reviewed). RKL telah diindeks oleh Indonesian Publication Index (IPI) dan Google Scholar. Jurnal RKL terbit dua kali pertahun yaitu setiap bulan **Juni** dan **Desember**

Naskah yang ingin dipublikasikan pada RKL harus merupakan naskah asli hasil penelitian dan juga naskah hasil studi literature yang memiliki kontribusi dan aplikasi dengan bidang yang berkaitan dengan ilmu teknik kimia dan teknik lingkungan. RKL menerima kontribusi berupa hasil penelitian, review artikel, atau studi kasus yang belum pernah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah lain

Naskah

Naskah yang diterima merupakan *hasil penelitian*, *review artikel*, atau *studi kasus* yang belum pernah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah lain maupun sedang dipertimbangkan penerbitannya di jurnal lain. Bagi naskah yang telah pernah dipresentasikan pada seminar, harap mencantumkan nama seminar, lokasi dan waktunya pada catatan kaki.

Fokus dan ruang lingkup

Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan adalah jurnal open akses, yang menerbitkan paper berkaitan dengan ilmu teknik kimia dan teknik lingkungan. Topik-topik yang berhubungan dengan kedua ilmu tersebut adalah:

- Food and Biochemical Engineering
- Catalytic Reaction Engineering
- Clean Energy Technology
- Environmental and Safety Technology
- Fundamental of Chemical Engineering and Applied Industry
- Industrial Chemical Engineering
- Material Science and Engineering
- Process and Control Engineering
- Polymer and Petrochemical Technology
- Membrane Technology
- Agro Industrial Technology
- Separation and Purification Technology
- Environmental Modeling
- Environment and Information Sciences
- Water/Waste Water treatment and Management
- Material Flow Analyses
- Clean Development Mechanism

Bahasa.

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris.

Format.

1. Naskah terdiri dari Judul, Nama Penulis, Abstrak, Kata Kunci, Pendahuluan, Metodologi, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima Kasih (bila diperlukan), Notasi (bila diperlukan), dan Daftar Pustaka.
2. Naskah diketik dengan Microsoft Word versi 6.0 (atau versi lebih tinggi) pada kertas A4 (210mm x 297 mm) dalam bentuk ketikan 1 spasi, dengan huruf Verdana 9 pitch. Untuk abstrak, keterangan tabel dan keterangan gambar menggunakan font Verdana ukuran 8 pitch.
3. Petunjuk ukuran font untuk setiap bagian dapat diikuti lebih detail pada template jurnal.
4. Halaman kertas diset dengan margin kiri 3 cm, margin kanan 2,5 cm, margin atas 3,3 cm dan margin bawah 2,5 cm. Untuk bagian judul, nama penulis, afiliasi, dan abstrak dalam bentuk satu kolom dengan jarak antar kolom 1 cm. Untuk bagian pendahuluan sampai daftar pustaka dalam bentuk satu kolom.
5. Penggunaan satuan SI sangat diharapkan. Rumus-rumus Kimia dan matematika diberikan nomor (1), (2), dan seterusnya.

Keterangan Naskah

Judul. Tidak lebih 20 kata ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, serta harus jelas dan informatif. Ditulis dengan huruf Verdana 2 pitch (bold untuk judul bahasa Indonesia, dan plain/regular untuk bahasa Inggris).

Nama Penulis. Ditulis lengkap tanpa gelar, disertai nama dan alamat instansi tempat penulis bekerja serta alamat e-mail .

Abstrak. Ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris dan tidak melebihi dari 250 kata. Abstrak merupakan ringkasan naskah dengan memuat uraian dan hasil penelitian secara ringkas, tanpa opini penulis.

Kata Kunci. Ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, sebanyak-banyaknya 5 buah dan dicantumkan dibawah abstrak.

Gambar, Grafik, dan Tabel harus diberi nomor secara berurutan sesuai dengan urutan pemunculannya dan diserahkan dalam bentuk siap cetak (siap dilayout) pada halaman tulisan (pada draft). Setiap gambar dan tabel diberi keterangan singkat yang diletakkan di bawah untuk gambar dan di atas untuk tabel. Gambar berupa foto dikirim dalam bentuk asli. Jika gambar atau tabel dikutip, sumbernya disebutkan sesuai dengan Daftar Pustaka. Tabel diketik satu spasi dan garis pembatas vertical tidak digunakan. Ukuran maksimum gambar tidak melebihi 10 x 15 cm.

Daftar Pustaka. Menggunakan acuan pustaka primer mutakhir 5 tahun terakhir minimal 80%. Cara mengacu ke daftar acuan dilakukan dengan menuliskan nama penulis pertama dan tahun penerbitan di dalam kurung, misalnya (Ahmad dkk., 1999) untuk penulis lebih dari dua orang, atau (Leder, Bruno, 2000) untuk penulis dua orang. Penulisan daftar pustaka harus memuat semua nama penulis. Judul harus lengkap. Daftar pustaka disusun ke bawah menurut abjad nama akhir penulis pertama.

Daftar pustaka dari suatu jurnal ilmiah ditulis:

Wang, S., Zhang, Y., Chen, T., Wang, G. (2015) Preparation and catalytic property of MoO₃/SiO₂ for disproportionation of methyl phenyl carbonate, *Journal of Molecular Catalysis: A Chemical*, 398, 248-254.

Zhang, H., Yao, G., Wang, L., Su, Y., Yang, W., Lin, Y. (2015) 3D Pt/MoO₃ nanocatalysts fabricated for effective electrocatalytic oxidation of alcohol, *Applied Surface Science*, 365, 294-300.

Daftar pustaka dari suatu buku ditulis:

Skelland, A. H. P. (1974) *Diffusional Mass Transfer*, John Wiley & Sons, New York.

Shinnar, R. (1987), *Use of residence and contact time distributions in reactor design*, dalam Carberry, J. J., Varma, A. (eds.), *Chemical Reaction and Reactor Engineering*, Marcel Dekker, New York.

Daftar pustaka dari suatu prosiding ditulis:

Berbner, S., Loffler, F. (1994) Pulse jet cleaning of rigid ceramic barriers filters separating hard and brown coal fly ashes at high temperature, *Proceeding of the 11th International Pittsburgh Coal Conference*, Pittsburgh.

Daftar pustaka dari suatu tesis/disertasi ditulis:

Riley, R. J. (1987) The magnetically stabilized fluidized bed as a solid/liquid separator, *M.S. Thesis*, University of Michigan, U.S.A.

Daftar pustaka dari suatu paten ditulis:

Primack, H.S. (1983) Method of Stabilizing Polyvalent Metal Solutions, *U.S. Patent No. 4,373,104*

Peer Review Process

Naskah yang masuk ke Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan akan direview oleh sedikitnya dua orang reviewer, yang bidangnya sesuai. Reviewer dapat berasal dari kalangan akademisi baik dari dalam maupun luar Universitas Syiah Kuala. Waktu yang diperlukan untuk mereview naskah biasanya adalah satu bulan. Naskah yang masuk akan melalui proses double-blind review

Open Access Policy

Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan dikelola secara open journal system (OJS). Jurnal ini menyediakan akses terbuka (Open Access) secara langsung terhadap semua konten yang ada pada website jurnal. Artinya semua orang baik penulis maupun pembaca dapat mengakses secara gratis semua artikel yang dimuat pada website jurnal RKL.

Semua artikel yang telah dinyatakan diterima setelah melalui proses review dan revisi dinyatakan dinyatakan layak publish baik secara cetak maupun secara online. Artikel akan tersedia pada website secara permanen dalam jangka waktu tertentu. Dengan metode seperti ini diharapkan semua informasi ilmu pengetahuan yang tercantum pada jurnal yaitu berupa hasil penemuan di laboratorium ataupun studi kasus, serta review akan bermanfaat bagi pengembangan ilmu bagi masyarakat.

Copyright Transfer Agreement (CTA)

Naskah yang telah dipublikasikan atau dikirimkan ke jurnal lain tidak dibenarkan untuk dikirimkan ke JRKL. Naskah yang merupakan perbaikan atau pengembangan dari naskah seminar, simposium dan workshop dapat diterbitkan JRKL dengan menyebutkan hal tersebut pada saat pengirimannya. Naskah yang dikirimkan ke JRKL harus bebas dari plagiarism dan self-plagiarism.

Penulis juga perlu mengirimkan dokumen terkait dengan Copyright Transfer Agreement (CTA) Form yang telah ditandatangani (scan copy dari form asli yang telah diisi) bersama dengan naskah yang akan dikirimkan secara online (dalam bentuk file pendukung (supplementary file)). File Copyright Transfer Agreement (CTA) form bisa diunduh di website RKL

Biaya Pemrosesan Artikel

Artikel yang telah dinyatakan layak publikasi pada Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan akan dikenakan biaya publikasi sebesar Rp. 200.000 (Dua ratus ribu rupiah). Biaya tersebut sudah termasuk biaya dua eksemplar jurnal versi cetak. Biaya tersebut dikirim ke rekening a.n. Umi Fathanah, No: 1580000689851 Bank Mandiri kk Unsyiah Cabang Darussalam.

Submission Preparation Checklist

Sebagai bagian dari proses submission, penulis harus mengecek kelengkapan semua persyaratan berikut. Editor berhak mengembalikan artikel jika tidak memenuhi kriteria yang dipersyaratkan sesuai petunjuk.

1. File yang dikirimkan berformat OpenOffice, Microsoft Word.
2. Naskah anda ditulis sesuai dengan template Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan (RKL)
3. Naskah ditulis dengan bahasa Indonesia yang baik dan benar, atau Naskah berbahasa Inggris telah diperiksa tata-bahasa dan ejaannya.
4. Semua penulis sudah membaca naskah dan setuju untuk mempublikasikannya pada Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan
5. Referensi yang diacu merupakan jurnal primer mutakhir setidaknya 80% dari total referensi yang digunakan
6. File gambar dikirim juga secara terpisah dalam format 'jpg', file gambar hasil pengolahan dengan micr excel agar dicopy-paste special. Semua gambar dinamai dengan nomor gambar sesuai yang ada pada naskah. Pastikan gambar anda berkualitas baik, dengan kerapatan piksel besar dari 250 dpi.

Template.

Template penulisan artikel RKL dapat didownload pada website.

Pengiriman Naskah.

Online Submissions

Naskah yang akan diterbitkan oleh Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan (JRKL) harus daftar secara online melalui website jurnal <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RKL>. Pastikan anda login terlebih untuk melanjutkan proses submit artikel.

Untuk menghindari keterlambatan pemrosesan artikel, naskah disarankan dikirim juga ke email redaksi.

Journal Contact
Mailing Address

JURNAL REKAYASA KIMIA DAN LINGKUNGAN
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh, Provinsi Aceh, 23111
Email: rkl@che.unsyiah.ac.id

Principal Contact
Nasrul Arahman, Dr. S.T., M.T.

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Syech Abdurrauf no. 7, Darussalam, Banda Aceh, Provinsi Aceh, 23111, Phone: +6285322997268, Fax: +6265152222
nasrular@unsyiah.ac.id

Support Contact

Mirna Rahmah Lubis
Email : mirnarahmahlubis@yahoo.com

Wahyu Rinaldi
Email: wahyu.rinaldi@che.unsyiah.ac.id