

STUDI KINETIKA PROSES KIMIA DAN FISIKA PENGHILANGAN GETAH *CRUDE PALM OIL* (CPO) DENGAN ASAM FOSFAT

Yuli Ristianingsih, Sutijan, dan Arief Budiman^{*)}

Process System Engineering Research Group, Jurusan Teknik Kimia, FT-UGM
Jalan Grafika 2, Yogyakarta, Fax: 0274-902170

^{*)}Penulis korespondensi: abudiman@chemeng.ugm.ac.id

Abstract

KINETIC STUDY OF CHEMICAL AND PHYSICAL DEGUMMING OF CRUDE PALM OIL (CPO) USING PHOSPHORIC ACID. *The removal of phospholipids ('degumming') is the first step in the process of refining crude vegetable oil. The purpose of this research was to study degumming process and its effects to the oil's quality. CPO used in this research was reacted with phosphoric acid using stirred tank reactor. The batch process was operated for 2 hours in various temperature, phosphoric acid concentration, and agitation speed. The sample was taken every 15 minutes which then analyzed by spectrophotometer at the wave length of 650 nm to measure the gum concentration in the oil. By minimizing sum of squares of errors between experimental and simulation data, the mass transfer coefficient ($K_c a$), reaction rate constant (k_1) and phase equilibrium constants (K) were be calculate. The result showed that the temperature, phosphoric acid concentration and agitation speed were highly affecting in the degumming process. At the range of temperature of $323 \leq T \leq 353$ K, the higher temperature, the larger reaction rate constant and its relationship can be express as $k = 4.5077 \times 10^3 e^{-\frac{3.8503 \times 10^4}{RT}}$. At the range of Reynolds number of $121.4438 \leq Re \leq 630.2521$, the effect of agitation speed to mass transfer coefficient ($K_c a$) can be express as $Sh = 0.09986 Re^{0.5998} Sc^{0.3995}$. From these two equations obtained, one can say that the temperature has effect on the reaction rate and mass transfer.*

Keywords: CPO; degumming; mass transfer; reaction rate

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinetika proses penghilangan getah (degumming) CPO (Crude Palm Oil) yang meliputi kinetika reaksi dan transfer massanya. Parameter yang dipelajari meliputi suhu, kecepatan pengadukan dan konsentrasi asam fosfat. Percobaan dilakukan dengan mereaksikan CPO dan asam fosfat dalam sebuah reaktor tangki berpengaduk selama 2 jam. Sampel diambil setiap 15 menit kemudian dianalisis dengan spektrofotometer panjang gelombang 650 nm untuk mengetahui konsentrasi gum tersisa pada minyak. Minimasi sum of squares of errors (SSE) antara data percobaan dan hasil perhitungan akan menghasilkan nilai koefisien transfer massa ($K_c a$), konstanta kecepatan reaksi (k_1) dan konstanta kesetimbangan cair-cair (K). Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu, konsentrasi asam fosfat dan kecepatan pengadukan sangat berpengaruh terhadap proses degumming. Pada kisaran suhu yang dipelajari ($323 \leq T \leq 353$ K), hubungan antara konstanta kecepatan reaksi (k_1) dengan suhu dapat dinyatakan dengan persamaan $k = 4.5077 \times 10^3 e^{-\frac{3.8503 \times 10^4}{RT}}$. Pada kisaran pengadukan yang dipelajari ($112,4438 \leq Re \leq 630,2521$), pengaruh kecepatan pengadukan terhadap koefisien perpindahan massa jika dinyatakan dengan bilangan tak berdimensi dapat dinyatakan dengan persamaan $Sh = 0,09986 Re^{0,5998} Sc^{0,3995}$. Dari kedua persamaan yang diperoleh terlihat suhu berpengaruh terhadap kecepatan reaksi yang dinyatakan dengan (k_1) dan transfer massa yang diwakili dengan Bilangan Schmidt (Sc) dan Reynold (Re).

Kata kunci: CPO; degumming; perpindahan massa; reaksi kimia

PENDAHULUAN

CPO (*crude palm oil*) merupakan minyak kasar yang diperoleh dengan cara ekstraksi daging buah sawit dan biasanya masih mengandung kotoran terlarut dan tidak terlarut dalam minyak. Pengotor yang dikenal dengan sebutan *gum* atau getah ini terdiri dari fosfatida, protein, hidrokarbon, karbohidrat, air, logam berat dan resin), asam lemak bebas (FFA), tokoferol, pigmen dan senyawa lainnya. Adanya pengotor pada minyak akan menurunkan kualitas dan mempengaruhi penampilan fisik, rasa, bau dan waktu simpan dari minyak, sehingga harus dihilangkan melalui proses pemisahan secara fisika maupun secara kimia (Zufarov dkk., 2008).

CPO juga merupakan bahan baku yang potensial untuk energi terbarukan, khususnya biodiesel (Balat, 2011; Ma dan Hanna, 1999; Mittelbach dan Remschmidt, 2004). Banyak usaha untuk mengganti CPO sebagai bahan baku biodiesel, akan tetapi semuanya masih terkendala masalah kontinuitas produksinya (Demirbas, 2009).

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, sudah cukup banyak penelitian yang membahas tentang *degumming* CPO. Penelitian-penelitian tersebut biasanya lebih menitik beratkan pada tinjauan mengenai pengaruh proses *degumming* pada karakteristik minyak sebelum dan sesudah proses dilakukan dengan berbagai metode proses *degumming*. You dkk. (2001) melakukan penelitian tentang pengaruh proses *degumming* menggunakan asam fosfat terhadap penurunan kandungan karoten yang terdapat dalam CPO. Wei dkk. (2004) mempelajari pengaruh proses *degumming* dan *bleaching* terhadap karakteristik CPO dengan metode adsorpsi menggunakan *neutral* dan *acid activated clays*. Madya dan Azis (2006) mempelajari pengaruh *degumming* menggunakan asam fosfat pada beberapa CPO dengan kandungan asam lemak bebas (FFA) yang berbeda terhadap sifat fisik kimia minyak yang meliputi kadar FFA, bilangan peroksida, kandungan fosfor, kadar air dan kandungan logam (besi). Selain mempelajari pengaruh proses *degumming* pada karakteristik minyak Madya dan Azis (2006) juga melakukan pemodelan matematis untuk memperoleh dosis asam fosfat dan *bleaching earth* yang sesuai untuk proses *degumming* dan *bleaching* pada CPO. Penelitian ini mempelajari lebih rinci peristiwa perpindahan massa *gum* dari minyak ke asam fosfat dan reaksi antara *gum* dengan asam fosfat.

LANDASAN TEORI

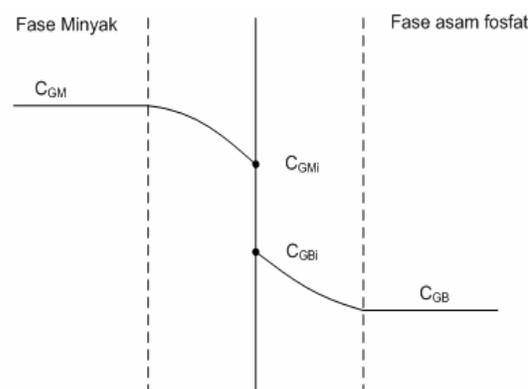
Proses pemurnian minyak nabati pada umumnya terdiri dari 4 tahap, yaitu: a) proses pemisahan *gum* (*degumming*), b) proses pemisahan asam lemak bebas (netralisasi) dengan cara mereaksikan asam lemak bebas dengan basa atau pereaksi lainnya sehingga terbentuk sabun, c) proses pemucatan (*bleaching*) yang merupakan proses penghilangan komponen warna coklat seperti karotenoid & tokoferol, dan d) proses penghilangan

bau (deodorisasi) yang merupakan proses penghilangan asam lemak bebas dan komponen penyebab bau tidak sedap seperti peroksida, keton dan senyawa hasil oksidasi lemak lainnya (Copeland dan Maurice, 2005)

Proses *degumming* dibedakan menjadi *water degumming*, *dry degumming*, *enzymatic degumming*, *membrane degumming*, dan *acid degumming* (Dijkstra dan Opstal, 1987; Zufarov dkk., 2008). Penelitian ini mempelajari *acid degumming* CPO dengan asam fosfat.

Acid degumming CPO dengan asam fosfat dimaksudkan untuk memisahkan fosfatida yang merupakan sumber rasa dan warna yang tidak diinginkan (Madya dan Azis, 2006). Senyawa fosfatida dalam minyak terdiri dari dua macam yaitu fosfatida *hydratable* dan fosfatida *non hydratable*. Fosfatida *hydratable* mudah dipisahkan dengan penambahan air pada suhu rendah sekitar 40°C. Penambahan air ini mengakibatkan fosfolipid akan kehilangan sifat lipofiliknya dan berubah sifat menjadi lipofobik sehingga mudah dipisahkan dari minyak (Dijkstra dan Opstal, 1987). Fosfatida *non hydratable* harus dikonversi terlebih dahulu menjadi fosfatida *hydratable* dengan penambahan larutan asam dan dilanjutkan dengan proses netralisasi. Asam yang biasa digunakan pada proses *degumming* adalah asam fosfat dan asam sitrat (Thiagarajan dan Tang, 1991).

Mekanisme proses *acid degumming* CPO dapat didekati dengan teori antar fase dua film (Levenspiel, 1986), seperti terlihat pada Gambar 1. Perpindahan massa dari fase cair I (fase minyak) ke fase cair II (fase asam fosfat) berlangsung jika terjadi kontak antara kedua fase tersebut, misal didalam tangki berpengaduk (Sediawan dan Prasetyo, 1997). Dari pendekatan proses *acid degumming* tersebut, proses diawali dengan perpindahan massa *gum* yang terikat pada minyak ke *interface* (lapisan antara fase minyak dan fase asam fosfat). Proses selanjutnya adalah perpindahan massa dari *interface* ke asam fosfat dan di fase asam fosfat ini terjadi reaksi antara *gum* dan asam fosfat.



Gambar 1. Mekanisme *degumming* CPO

Proses perpindahan massa *gum* yang terikat pada minyak ke *interface* dapat didekati dengan persamaan:

$$N_A = k_{c1} a (C_{GM} - C_{GMi}) \quad (1)$$

Proses perpindahan massa *gum* dari interfas ke asam fosfat dapat didekati dengan persamaan:

$$N_B = k_{c2} a (C_{GBi} - C_{GB}) \quad (2)$$

Reaksi antara *gum* dengan asam fosfat yang terjadi pada fase asam fosfat dan laju kecepatan reaksinya dapat dituliskan dengan persamaan:



$$-r_A = k_1 C_{GB} \cdot C_B \quad (4)$$

Dengan anggapan bahwa lapisan antar fase yang terbentuk sangat tipis, sehingga *gum* tidak tertampung di film-film maka tidak ada akumulasi *gum* pada film. Dengan kata lain kecepatan perpindahan massa *gum* dari fase minyak ke interfas sama dengan kecepatan perpindahan massa *gum* dari interfas ke asam fosfat, sehingga dapat ditulis persamaan:

$$N_A = N_B = k_{c1} a (C_{GM} - C_{GMi}) = k_{c2} a (C_{GBi} - C_{GB}) \quad (5)$$

Jika disusun neraca massa *gum* di fase minyak, neraca massa *gum* di fase fosfat dan neraca massa fosfat di fase fosfat, akan diperoleh persamaan:

$$\frac{dC_{GM}}{dt} = -K_c a (K_i \cdot C_{GM} - C_{GB}) \quad (6)$$

$$\frac{dC_{GB}}{dt} = K_c a (K_i \cdot C_{GM} - C_{GB}) \cdot \frac{V_M}{V_B} - k_1 (C_{GB} \cdot C_B) \quad (7)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = -k_1 \cdot C_{GB} \cdot C_B \quad (8)$$

Dari data hasil percobaan akan diperoleh nilai konsentrasi *gum* sisa pada minyak. Berdasarkan model matematis yang telah disusun dilakukan simulasi

untuk memperoleh nilai konstanta koefisien transfer massa ($K_c a$), konstanta kecepatan reaksi (k_1) dan konstanta kesetimbangan fase cair-cair (K). Software yang digunakan untuk mencari nilai-nilai konstanta tersebut adalah program aplikasi MATLAB. Algoritma yang digunakan adalah minimasi dengan lsqcurvefit. Persamaan (6)-(8) diselesaikan secara simultan untuk optimasi nilai-nilai konstanta dengan menggunakan ode45. Nilai konstanta yang dipakai adalah yang memberikan nilai *sum square of error* (SSE) yang paling minimum.

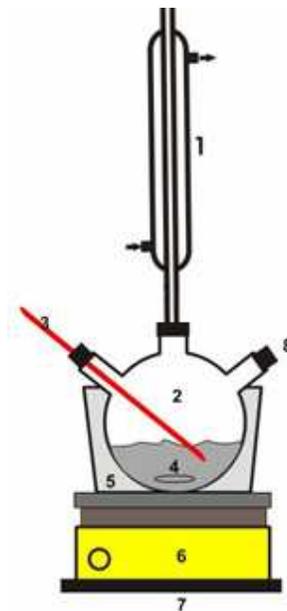
METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah CPO yang diperoleh dari PT Smart Tbk, Lampung dan asam fosfat cair 85%. Sebelum dilakukan percobaan dilakukan analisis CPO yang meliputi: kadar FFA (AOAC no.965.33), bilangan asam (AOAC no.920.159), bilangan penyabunan (AOAC no. 920.160), bilangan peroksida (AOAC no. 965.33), dan kadar air (SNI no. 01-3555-1998). Selain bahan baku utama dalam penelitian ini juga digunakan bahan pendukung untuk analisis CPO yang meliputi: natrium hidroksida 99%, asam klorida 37%, alkohol 96%, kalium hidroksida 85%, dan aquades.

Alat Penelitian

Alat penelitian *acid degumming* CPO dengan asam fosfat dijalankan dalam reaktor *batch* (labu leher tiga) yang dilengkapi *waterbath* untuk mengatur suhu, pengaduk magnet yang dilengkapi alat ukur RPM dan pendingin balik untuk memungut bahan yang menguap, seperti terlihat pada Gambar 2.



Keterangan gambar:

1. Pendingin balik
2. Reaktor batch
3. Termometer
4. Pengaduk magnet
5. Waterbath
6. Hot plate stirrer
7. Statis
8. Karet sumbat

Gambar 2. Rangkaian alat penelitian

Prosedur Penelitian

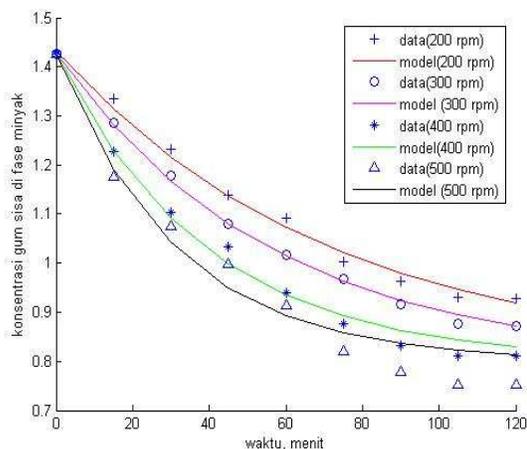
Penelitian diawali dengan memasukkan 100 ml CPO dan asam fosfat 1,5% volume (sebagai variabel konsentrasi asam fosfat) ke dalam reaktor *batch*. Kemudian proses *degumming* dijalankan dengan variabel suhu: 50, 60, 70, dan 80°C dan dengan kecepatan pengadukan 200, 300, 400, dan 500 rpm selama 2 jam. Pada menit ke 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, dan 120 diambil sampel masing-masing sebanyak 10 ml. Sampel kemudian disentrifugasi selama 30 menit dan dipisahkan endapan *gum* dari minyak.

Konsentrasi *gum* sisa pada minyak setiap saat yang diperoleh dari percobaan dianalisis menggunakan spektrofotometer panjang gelombang 650 nm (Zufarov dkk., 2008). Untuk mengetahui konsentrasinya dibuat kurva standar yang diperoleh dengan cara mencampur minyak sawit kasar (CPO mentah) dengan minyak sawit jernih dari PT. Bina Karya Prima, Bekasi. Campuran dibuat pada berbagai perbandingan berat, kadar *gum* total diperoleh dari percobaan *degumming* memakai NaOH. Menurut Dijkstra (1992), *degumming* dengan NaOH dapat mengurangi *gum* hampir 100%. Data percobaan selanjutnya diolah untuk melakukan optimasi menggunakan *software* aplikasi MATLAB dengan menggunakan tools *lsqcurvefit* dan *ode45* sehingga diperoleh nilai konstanta yang meliputi $K_c a$, k_1 dan K . Dalam perhitungan ini kami gunakan *initial condition* berupa konsentrasi getah mula-mula di asam fosfat = 0 dan konsentrasi *gum* di fase minyak mula-mula = 1,43%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Pengadukan bertujuan agar distribusi komponen dalam tangki lebih merata sehingga proses *degumming* berlangsung lebih sempurna. Perpindahan massa mempunyai peran yang signifikan jika kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap konsentrasi *gum* sisa pada minyak dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap konsentrasi *gum* sisa

Gambar 3 memperlihatkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan, maka konsentrasi *gum* sisa yang terdapat pada minyak akan semakin berkurang. Hal ini terjadi karena pengadukan akan menaikkan turbulensi fluida yang akan menyebabkan luas permukaan transfer massa semakin besar dan berkurangnya tebal lapisan film, sehingga hambatan eksternal akan semakin kecil dan kecepatan transfer massa akan semakin besar. Nilai masing-masing konstanta $K_c a$, k_1 dan K dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai konstante pada berbagai kecepatan pengadukan

Rpm	$K_c a$	k_1	K
200	0,00012	0,0041	50,06
300	0,00016	0,0041	50,06
400	0,00022	0,0041	50,06
500	0,00028	0,0041	50,06

Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap koefisien transfer massa selanjutnya dianalisis dalam bentuk kelompok bilangan tak berdimensi. Koefisien transfer massa didekati dengan bilangan Sherwood (Sh) dan Schmidt (Sc), sedangkan kecepatan pengadukan didekati dengan bilangan Reynold (Re). Selain kecepatan putaran pengadukan, suhu juga berpengaruh terhadap Re dan Sh . Hal ini disebabkan karena peningkatan suhu akan mempengaruhi sifat fisis bahan seperti viskositas, densitas serta difusivitas. Dengan demikian untuk suhu yang berbeda, maka nilai Re dan Sh juga akan berubah, sehingga persamaan Bilangan Sherwood dapat dinyatakan dengan

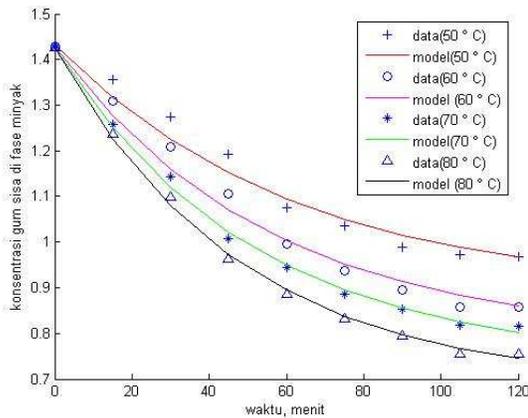
$$Sh = a.Re^b.Sc^c \tag{9}$$

Dari data yang ada dan dengan menggunakan perhitungan regresi multivariable akan diperoleh nilai $a=0,09986$, $b=0,5998$, dan $c=0,3995$. Akan tetapi perlu dicatat bahwa persamaan (9) tersebut berlaku pada $112,4438 \leq Re \leq 630,2521$ dengan kesalahan relatif rata-rata sebesar 7,1215%.

Pengaruh Suhu

Pengaruh suhu dipelajari untuk mengetahui apakah reaksi kimia mempunyai peranan yang signifikan pada proses *degumming* CPO dengan asam fosfat. Tahapan ini dipelajari dengan mengubah-ubah suhu: 50, 60, 70, dan 80°C. Pengaruh suhu secara rinci disajikan pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan semakin tinggi suhu maka *gum* yang terambil dari minyak akan semakin besar sehingga konsentrasi *gum* sisa pada minyak semakin berkurang. Di samping itu semakin tinggi suhu, energi yang dimiliki oleh partikel CPO semakin besar sehingga mobilitasnya semakin tinggi. Nilai masing-masing konstanta $K_c a$, k_1 dan K dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. Pengaruh suhu terhadap konsentrasi gum sisa

Tabel 2. Nilai konstante pada berbagai suhu

^o C	K _{c,a}	k ₁	K
50	0,00008	0,0027	54,88
60	0,00012	0,0041	54,98
70	0,00017	0,0061	55,35
80	0,00027	0,0092	58,31

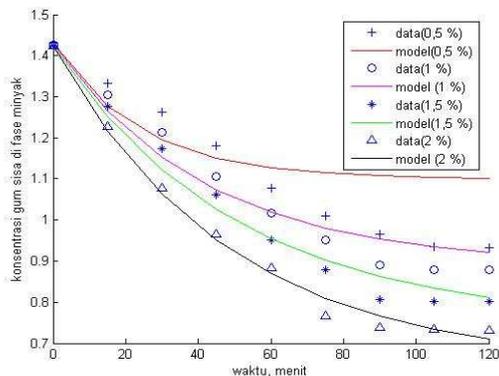
Hubungan konstanta kecepatan reaksi (k₁) dengan suhu dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$k_1 = 4,5077 \times 10^3 e^{\left[\frac{3,8503 \times 10^4}{RT} \right]} \quad (10)$$

Dari perhitungan ulang data percobaan dengan persamaan (10), diperoleh kesalahan relatif sebesar 1,33%.

Pengaruh Konsentrasi Asam Fosfat

Variasi konsentrasi asam ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh konsentrasi asam fosfat pada proses *degumming*. Pengaruh konsentrasi asam fosfat dipelajari dengan mengubah-ubah konsentrasinya, masing-masing 0,5; 1; 1,5 dan 2%. Pengaruh konsentrasi asam fosfat secara rinci disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi asam fosfat terhadap gum sisa

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam fosfat maka konsentrasi *gum* sisa pada minyak akan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan asam fosfat akan bereaksi dengan *gum* dan terpisah dari minyak. Menurut Madya dan Aziz (2006), penggunaan asam fosfat yang terlalu banyak dapat merusak minyak, karena sisa asam fosfat yang tidak bereaksi mengakibatkan kenaikan nilai FFA pada minyak, sehingga penggunaan asam fosfat untuk proses *degumming* ini harus diperhatikan.

Nilai masing-masing konstanta koefisien transfer massa (K_{c,a}), konstanta kecepatan reaksi (k₁) dan konstanta keseimbangan cair-cair (K) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai konstante pada berbagai konsentrasi asam fosfat

%	K _{c,a}	k ₁	K
0,5	0,00016	0,6029	50,06
1	0,00016	2,5823	50,06
1,5	0,00016	5,5103	50,06
2	0,00016	11,558	50,06

Rejim yang Mengontrol Proses *Degumming*

Menurut Johnstone dan Thring (1957), *rule of thumb* mengatakan bahwa reaksi kimia berpengaruh secara nyata jika kenaikan suhu sebesar 10^oC akan menyebabkan kenaikan konstante kecepatan reaksi sebesar dua kalinya. Dari Tabel 2 terlihat bahwa pada kenaikan suhu dari 50 ke 60^oC terjadi kenaikan k₁ sebesar 1,51 kali, pada kenaikan suhu dari 60 ke 70^oC terjadi kenaikan k₁ sebesar 1,5 kali dan pada kenaikan suhu dari 70 ke 80^oC terjadi k₁ sebesar 1,52 kali.

Sementara itu kalau kita amati pada Tabel 1, terlihat bahwa kenaikan kecepatan pengadukan dari 200 ke 300 rpm, menyebabkan kenaikan K_{c,a} sebesar 1,3 kali. Sementara itu jika kita bandingkan antara 200 dengan 400 rpm dan antara 200 dengan 500 rpm terjadi kenaikan K_{c,a} sebesar 1,8 dan 2,3 kalinya.

Dari kedua fakta yang terdapat pada Tabel 1 dan 2 tersebut, dapat dikatakan bahwa perpindahan massa dan reaksi kimia, keduanya mempengaruhi proses *degumming* CPO pada penelitian ini.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa suhu, kecepatan pengadukan dan konsentrasi asam fosfat berpengaruh terhadap proses penghilangan getah (*degumming*) CPO. Pada kisaran kecepatan pengadukan yang dipelajari (112,4438 ≤ Re ≤ 630,2521) hubungan antara koefisien transfer massa dengan kecepatan pengadukan dapat dinyatakan dalam kelompok bilangan tak berdimensi $Sh = 0,09986 \cdot Re^{0,5998} \cdot Sc^{0,3995}$ dengan kesalahan relatif rata-rata sebesar 7,1215%

Pada kisaran suhu yang dipelajari (323 ≤ T ≤ 353 K) hubungan antara suhu dengan konstanta kecepatan reaksi mengikuti persamaan

$k_1 = 4,5077 \times 10^3 e^{-\left[\frac{3,8503 \times 10^4}{RT}\right]}$ dengan kesalahan relatif rata-rata sebesar 1,333%.

Perpindahan massa dan reaksi kimia, keduanya mempengaruhi proses *degumming* CPO. Dari kedua persamaan yang diperoleh terlihat suhu berpengaruh terhadap kecepatan reaksi yang dinyatakan dengan (k_1) dan transfer massa yang diwakili dengan Bilangan Schmidt (Sc) dan dan Reynold (Re).

DAFTAR NOTASI

- C_B = konsentrasi asam fosfat, g/ml
 C_{GB} = konsentrasi *gum* sisa pada fase asam fosfat, g/ml
 C_{GBi} = konsentrasi *gum* yang terdapat di interfas fase larutan asam fosfat, g/ml
 C_{GM} = konsentrasi *gum* sisa pada minyak, g/ml
 C_{Gmi} = konsentrasi *gum* yang terdapat di interfas fase minyak, g/ml
 $k_{c_1} a$ = koefisien transfer massa *gum* dari fase minyak ke interfas, menit⁻¹
 $k_{c_2} a$ = koefisien transfer massa *gum* dari interfas ke fase larutan asam fosfat, menit⁻¹
 $K_c a$ = koefisien transfer massa gabungan di fase asam fosfat, menit⁻¹
 N_A = kecepatan transfer massa *gum* dari fase minyak ke interfas, g/ml/menit
 N_B = kecepatan transfer massa *gum* dari interfas ke fase larutan asam fosfat, g/ml/menit
 $-r_A$ = laju reaksi pengurangan *gum* di fase minyak, g/ml/menit
 V_B = volume asam fosfat, ml
 V_M = volume minyak, ml

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. I Made Bendiyasa, Ph.D dan Prof. Panut Mulyono, D.Eng atas masukan, diskusi dan saran pada tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Balat, M., (2011), Potential Alternatives to Edible Oils for Biodiesel production- A Review of Current Work, *Energy Convers Manage*, 52, Issue 2, pp. 1479-1492.
- Copeland, D. and Maurice, B.W., (2005), Vegetable Oil Refining, *U.S. Patent 6844458*.
- Demirbas, A, (2009), Progress and Recent Trend in Biodiesel Fuels, *Energy Convers Manage*, 50, pp. 14-34.

Dijkstra, A.J. and Opstal, M.V., (1987), Process for Producing Degummed Vegetable Oils and Gums of High Phospholipidic Acid Content, *U.S. Patent 4.698.185*.

Dijkstra, A.J., (1992), *Proceeding of the World Conference of Oilseed Technology and Utilization*, AOCS Pres, Campaign, pp. 138-151.

Johnstone, R.E., and Thring, M.W., (1957), *Pilot Plants, Models and Scale-up Methods in Chemical Engineering*, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1st ed., pp. 66-71.

Levenspiel, O., (1986), *Chemical Reaction Engineering*, John Wiley and Sons, New York.

Ma, F. and Hanna, M. A., (1999), Biodiesel production: a Review, *Bioresour Technol*, 70, pp. 1-15.

Madya, M.N.A. and Aziz, M.M.K, (2006), *Process Design in Degumming and Bleaching of Palm Oil*, Centre of Lipids Engineering and Applied Research (CLEAR), Universiti Teknologi Malaysia, Vote No.74198.

Mittelbach, M. and Remschmidt, C., (2004), *Biodiesel: The Comprehensive Handbook*, 1st ed., Boersedruck Ges.m.b.H, Vienna, Austria.

Sediawan, W.B. dan Prasetyo, A., (1997). *Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia*, Penerbit Andi Yogyakarta, hal. 13-15.

Thiagarajan, T. and Tang, T.S., (1991), Refinery Practices and Oil Quality, *PORIM International Palm Oil Conference (Chemistry and Technology)*, 1, pp. 254-266.

Wei, P. C., May, C. Y., Ngan, M. A., Hock, C. C., (2004), Degumming and Bleaching: Effect on Selected Constituents of Palm Oil, *J Oil Palm Res*, 16, pp. 57-63.

You, L.L., Baharin, B.S., Che Man, Y.B., and Takagi, S., (2001), Effect of Degumming Process on Chromatographic Separation of Carotenes from Crude and Degummed Palm Oil, *J Food Lipids*, 8, Issue 1, pp. 27-35.

Zufarov, O., Sekretar, S. and Schmidt, S., (2008), Degumming of Rapeseed and Sunflower Oil, *Acta Chimica Slovaca*, Slovak University of Technology, 1, pp. 321-328.