

OPTIMASI PEMURNIAN ASAM OLEAT DENGAN DISTILASI

Muhammad Yusuf Ritonga¹⁾

Abstrak Pada skala industri dalam tahun 2005, mutu Distilat Asam Oleat (DOA) yang sesuai standar belum dapat diproduksi secara langsung dari proses distilasi tanpa pencampuran asam laurat (C_{12}) dan miristat (C_{14}). Tingkat produksi DOA hanya 84,0 % dengan kapasitas umpan 4,0 mt/jam dan kadar C_{16} umpan asam oleat kasar (COA) sebesar 11,2 %. Kadar C_{16} umpan asam oleat kasar (Crude Oleic Acid), suhu bagian atas kolom *precut* dan suhu bagian bawah kolom *main distiller* dioptimasi untuk memproduksi DOA dengan mutu yang sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan. Rancangan percobaan menggunakan metode Eksperimen Faktorial $3 \times 2 \times 3$, model tetap dengan ulangan 2 kali dalam mengamati kecenderungan perubahan kadar asam oleat (C_{18-1}), bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iodium, *titer* dan *cloud point* DOA. Distilasi dilakukan dengan skala pabrik pada fasilitas pabrik PT. Flora Sawita Chemindo. Kondisi optimum proses distilasi didapatkan pada kadar C_{16} umpan 5,2%, suhu bagian atas kolom *precut* 195°C dan suhu bagian bawah kolom *main distiller* 222°C. Tingkat produksi DOA yang diperoleh 88,89% dengan kapasitas umpan 5,0 mt/jam pada kadar C_{16} umpan 5,2%. Mutu DOA memenuhi standar mutu yang ditetapkan.

Kata kunci: distilasi, Distilat asam oleat DOA

Abstract On industrial scale in 2005, standard quality of Distilled Oleic Acid (DOA) could not be produced by PT. Flora Sawita Chemindo directly by distillation process without blending lauric acid (C_{12}) and myristic acid (C_{14}). Production yield was only 84.0 % and feed capacity was only 4.0 mt/hr with C_{16} composition 11.2 %

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

¹⁾ Muhammad Yusuf Ritonga (✉)

Staf Pengajar Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sumatera Utara Medan -20155
email: yusufrt@gmail.com

in Crude Oleic Acid (COA) feed. Palmitic acid (C_{16}) composition in Crude Oleic Acid, top temperature *precut* and bottom temperature *main distiller* column were optimized to produce standard quality of DOA. A factorial design with 3 independent variables ($3 \times 2 \times 3$) also Statistical Process Control (SPC) was applied to study and observe the effects and trend of changing oleic acid (C_{18-1}) composition, acid and saponification value, color, iodine value, titer and cloud point DOA. The experiment was done at plant scale on PT. Flora Sawita Chemindo distillation plant's. The optimum C_{16} (palmitic acid) composition in the feed was found to be 5.20 % C_{16} , top temperature of *precut* column was 195°C and bottom *main distiller* was 222°C. The experiment showed production yield DOA was 88.89 % with feed capacity of 5.0 mt/hr COA with C_{16} composition of 5.20 % in the feed. DOA quality complied with the standard quality that was settled and met the standard quality.

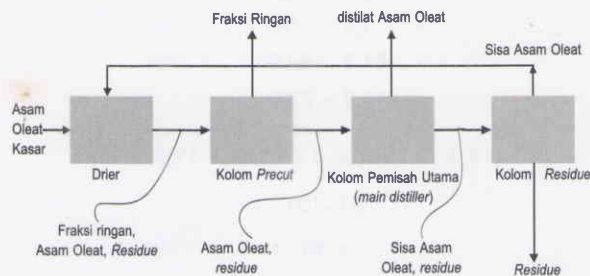
Keywords : distillation, Distilled Oleic Acid (DOA).

PENDAHULUAN

Minyak kelapa sawit (CPO) adalah salah satu bahan baku industri oleokimia yang bersifat dapat diperbaharui dan diproduksi di dalam negeri. Indonesia sebagai penghasil CPO terbesar di dunia saat ini (sejak tahun 2006), memproduksi CPO yang cenderung meningkat setiap tahun. Pada tahun 2009, pemerintah memproyeksikan produksi CPO sebesar 19,4 juta ton (Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, 2009). Berdasarkan data tersebut, prospek industri kelapa sawit di Indonesia menjanjikan dan mendukung perkembangan industri oleokimia (Peter *et al.*, 2004).

Melihat fakta tersebut di atas, PT. Flora Sawita Chemindo, sebuah industri yang berkecimpung pada industri oleokimia mulai memproduksi Distilat Asam Oleat (C_{18-1}) sejak tahun 2002 dengan proses distilasi (Gambar 1) dengan kode 18170 (kadar C_{18-1} harus 70% minimum) dan merupakan produser tunggal asam oleat di Indonesia saat ini. Bahan baku proses distilasi ini

dihasilkan dari fraksinasi kering asam lemak kasar berbasis CPO, yang disebut asam oleat kasar (Flora Sawita Chemindo, 2005). Penggunaan proses distilasi disebabkan asam oleat kasar mengandung bahan bertitik didih lebih rendah dan lebih tinggi yang dapat dipisahkan dengan distilasi pada tekanan vakum (Peter *et al.*, 2004; Ritonga, 2006; dan Zacchi *et al.*, 2006).



Gambar 1. Diagram blok distilasi pemurnian asam oleat (versi Feld und Hahn).

Kenaikan produksi distilat asam oleat hingga tahun 2005, menjadi salah satu pendorong penelitian ini dilakukan. Produksi distilat asam oleat pada tahun 2002 adalah 2.400 ton dan terus meningkat menjadi 7.200 ton pada tahun 2005. Kenaikan rata-rata permintaan distilat asam oleat selama rentang waktu 2002-2005 adalah 1.600 ton per tahun. Produksi ini relatif bertahan hingga tahun 2007, karena keterbatasan kapasitas pabrik pembuat Asam Oleat Kasar.

Namun satu kendala utama dalam hal ini, adalah produksi distilat asam oleat tidak dapat dilakukan secara langsung melalui proses distilasi tanpa pencampuran sejumlah asam laurat C_{12} dan asam miristat C_{14} , guna menurunkan titer dan *cloud point* serta memperbaiki komposisi atau mutu distilat asam oleat sehingga sesuai standar mutu (Tabel 2) (Eder, 2003). Hal ini menyebabkan proses produksi berkapasitas rendah dan cenderung lebih lama serta tidak efisien. Pabrik ini tidak dapat mengikuti kecenderungan pada industri oleokimia dalam 25 tahun terakhir ini, yakni menghasilkan produk akhir bermutu tinggi dengan tingkat perolehan yang juga tinggi (Peter *et al.*, 2004).

Kondisi utama proses distilasi asam oleat kasar yang diterapkan saat ini adalah: kadar C_{16} umpan 11,2%, kecepatan alir umpan 4,0 mt/jam, suhu bagian atas kolom *precut* 216-219°C pada tekanan 21-25 mbar, suhu bagian bawah kolom *main distiller* 246-249°C pada tekanan 10-12 mbar serta kecepatan alir distilat asam oleat 3.360 mt/jam. Kondisi proses distilasi di atas menyebabkan : tingkat perolehan

produk samping fraksi ringan cukup tinggi mencapai 8,7% (348 kg/jam) (diinginkan lebih rendah), sehingga tingkat perolehan produk utama distilat asam oleat cenderung rendah, hanya sekitar 84,0% (3.360 kg/jam) (diinginkan lebih tinggi), *yield residue* 7,3% (292 kg/jam). Serta kapasitas umpan hanya 4,0 mt/jam maksimum (diinginkan lebih tinggi menjadi 6,0 mt/jam sesuai kapasitas terpasang) (Laird dan Cornelisen, 2000; dan Shankwitz dan Stanffer, 2000).

Mutu *Distillat Oleic Acid* (DOA) yang diperoleh adalah $C_{18-1} = 71,1\%$, $C_{18-2} = 19,7\%$ (di atas batas atas), bilangan asam = 200,4, bilangan penyabunan = 202,1, warna = 1,6R/10,6Y (Lovibond), bilangan iodium = 98,2 g/100 g, titer = 17,2°C dan *cloud point* = 9,9°C. Dalam hal ini nilai titer dan *cloud point* berada di atas batas atas (Lihat Tabel 4). Mutu DOA ini di luar spesifikasi dan harus ditambahkan sejumlah asam laurat C_{12} dan miristat C_{14} untuk memperbaiki komposisi asam linoleat C_{18-2} , titer dan *cloud point* secara manual diluar proses produksi distilasi.

Hal ini disebabkan oleh asam oleat kasar masih mengandung sejumlah asam laurat (C_{12}) dan asam miristat (C_{14}) sebagai bahan bertitik didih lebih rendah, asam palmitat (C_{16}), asam linoleat (C_{18-2}) dan asam arachidat (C_{20}), sebagai bahan bertitik didih lebih tinggi, yang belum sesuai untuk menghasilkan *Distilled Oleic Acid* (DOA) standar. Kandungan ini sangat mempengaruhi kondisi operasi pemurnian, tingkat perolehan dan mutu produk akhir (Gonzalez *et al.*, 2007 dan Chemtech, 2006).

Hal ini sesuai juga dengan prinsip distilasi, perbedaan komposisi umpan merubah kondisi operasi distilasi dan mutu produk distilasi. (Flora Sawita Chemindo, 2005; dan Shankwitz dan Stanffer, 2000). Kondisi ini harus dapat dirubah dengan optimasi untuk memperbaiki masalah di atas (Duguid, 2001; dan Sloley, 2001). Asam oleat kasar yang dijadikan sebagai bahan baku pemurnian mempunyai *range* spesifikasi mutu yang cukup lebar pada Tabel 1.

Ada beragam metode untuk proses distilasi, tiga diantaranya yaitu versi *Lurgi GmbH*, versi *Budger Engineering* dan versi *Feld und Hahn*. Pada penelitian ini akan dilakukan distilasi asam lemak dengan metode *Feld und Hahn* karena pemakaian *steam* relatif lebih rendah dan juga lebih lebih ramah terhadap lingkungan. Kedua metode lainnya menghasilkan air limbah dengan BOD yang lebih tinggi dibandingkan versi *Feld und Hahn* (Kister dan Gill, 2004; dan Peter *et al.*, 2004)

Tabel 1. Mutu umpan asam oleat kasar sebelum optimasi.

No	Parameter Mutu	Range Mutu
1	Komposisi asam lemak (% berat) :	
	C ₁₂ (asam laurat)	0,5 - 0,8
	C ₁₄ (asam miristat)	1,0 - 6,4
	C ₁₆ (asam palmitat)	6,7 - 15,4
	C ₁₈ (asam stearat)	1,2 - 3,0
	C ₁₈₋₁ (asam oleat)	61,3 - 69,9
	C ₁₈₋₂ (asam linoleat)	17,2 - 22,2
2	Warna 5 ¼ " Lovibond	(14,3-19,7)R/(35,3-70)Y/(4,7-11)B
3	Bilangan iodium	90 - 101
4	Titer, °C	> 10
5	Cloud Point, °C	> 8

Sumber : Flora Sawita Chemindo, 2005

BAHAN DAN METODE

Bahan baku *Crude Oleic Acid* diperoleh dari pabrik yang sama sebagai produksi *Sub Plant Dry Fractination Splitted Crude Palm Oil Fatty Acid* (SCPOFA) yaitu *Crude Fatty Acid* hasil hidrolisis minyak kelapa sawit. *Crude Oleic Acid* ini akan dimurnikan. Air lunak diperoleh dari *sub plant water treatment steam* bertekanan 11 bar dari *sub plant Medium Pressure Boiler (MP Boiler)* serta *Oil Thermal Heater* (minyak pemanas) dari *sub plant OTH Boiler* pada lokasi pabrik PT. Flora Sawita Chemindo. Penelitian menggunakan metode faktorial dengan 3 variabel yaitu kadar C₁₆ umpan pada level 5,2, 7,7 dan 10,5 (% berat), suhu bagian atas kolom *precut* (°C) pada level 190 dan 195°C (tekanan 15-21 mbar) dan suhu bagian bawah kolom *main Distiller* (°C) pada level 218, 220 dan 220°C (tekanan 5 mbar) pada kecepatan alir umpan 5 ton/jam. Metode faktorial direncanakan dengan model tetap 3 x 2 x 3 dan ulangan 2 kali untuk tiap faktor dan parameter yang diamati, adalah standar mutu *Distilled Oleic Acid* (DOA), *yield* DOA, *residue* dan fraksi ringan. Analisis statistik dilakukan dengan program *Minitab Release 14*. Pengambilan sampel dilakukan tiap 2 jam sebanyak minimum 100 mg sampel fraksi ringan, 500 ml sampel distilat asam oleat dan 100 ml *residue* asam lemak dengan prosedur analisa merujuk pada AOCS H 15-52 dan Te 1A 64 untuk analisa bilangan asam, Ce 13e-92 untuk analisa warna Lovibond, Tr 1a-64 untuk analisa titer asam lemak, Cc 6-25 untuk analisa *cloud point*, Ce 2-66 dan AOCS 1-62 untuk analisa komposisi asam lemak, Tg

1-64 untuk analisa bilangan iodium (Flora Sawita Chemindo, 2005).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan optimasi ini telah menghasilkan DOA yang memenuhi standar mutu sebanyak 1280,16 ton. Optimasi ini dibatasi oleh standar mutu DOA. Pembahasan difokuskan pada, parameter mutu C₁₈₋₁ DOA yang sangat mempengaruhi nilai titer dan *cloud point* DOA, juga pada tingkat produksi DOA dan *residue*. Titer dan *cloud point* DOA tidak memenuhi standar mutu yang ditetapkan sebelum optimasi dilakukan.

Kadar C₁₈₋₁ DOA

Sebelum membahas hasil analisa faktorial, perlu dijelaskan simbol perlakuan variabel yang dioptimasi, dimana: C₁₆ = kadar C₁₆ umpan, T. *Precut* = suhu *top precut*, BMD = suhu *bottom main distiller*, C₁₆*T. *Precut* = interaksi kadar C₁₆ umpan dan suhu *top precut*, C₁₆*BMD = interaksi kadar C₁₆ umpan dan suhu *bottom main distiller*, T. *Precut**BMD = interaksi suhu *top precut* dan suhu *bottom main distiller* dan C₁₆*T. *Precut**BMD = interaksi kadar C₁₆ umpan dan suhu *top precut* dan suhu *bottom main distiller*. Hasil signifikansi statistik pada Tabel 6 menunjukkan, bahwa kadar C₁₆ umpan dan suhu bagian atas *precut* berpengaruh sangat nyata terhadap kadar asam oleat (C₁₈₋₁) DOA ($P_{\text{anova}} = 0,00 < P\alpha = 0,05$), sedangkan suhu bagian bawah kolom *main distiller* tidak berpengaruh nyata

Tabel 2. Tabel mutu umpan *Crude Oleic Acid* (COA) setelah optimasi.

No	Parameter Mutu	Kadar C ₁₆ Umpan, % berat		
		10,5%	7,7%	5,2%
1	Titer °C	18,2	15,3	8,2
2	Cp, °C	15,6	12,4	7,2
3	IV, gr/100 gr	88,9	92,4	98,7
4	AV, mg KOH/gr	190,3	195	197,0
5	SV, mg KOH/gr	199,3	198,9	199,5
6	Color 5¼ " Lovibond	20 / 77,5 / 10,3	19,6 / 68,7/10,4	24,6 / 47,8 / 7,4
7	Komposisi (% berat)			
	C ₁₂	0,7	0,2	0,3
	C ₁₄	1,4	1,2	1,2
	C ₁₆	10,5	7,7	5,2
	C ₁₈	2,4	1,6	1,3
	C ₁₈₋₁	66,2	70,8	72,9
	C ₁₈₋₂	17,2	17,6	18,3
	C ₂₀	0,70	0,2	0,2
	Unk	0,90	0,7	0,7

Sumber : PT. Flora Sawita Chemindo, 2005

Tabel 3. Perbandingan kondisi operasi proses distilasi hasil optimasi.

No	Parameter Kondisi Operasi yang Dikontrol	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi
1	Kecepatan alir umpan, mt/jam	4,0	5,0
2	Suhu bagian atas kolom <i>precut</i> , °C	216 - 219	195
3	Tekanan bagian atas kolom <i>precut</i> , mbar	21 - 25	15 - 21
4	Yield fraksi ringan, %/ (kg/jam)	8,7/ 348	2,801/140,05
5	Suhu bagian bawah kolom MD, °C	246 - 249	222
6	Tekanan bagian atas kolom MD, mbar	10 - 12	5,0
7	Yield DOA, %/ (kg/jam)	84,0/3360	88, 34 /4416,8
8	Yield Residue, %/ (kg/jam)	7,3/292	9,18 /459,13

($P_{\text{anova}} = 0,47 > P\alpha = 0,05$), dan untuk ketiga perlakuan lainnya tidak berpengaruh nyata pada kadar asam oleat (C₁₈₋₁) DOA ($P_{\text{anova}} > P\alpha = 0,05$). Hasil signifikansi di atas diperkuat oleh grafik faktorial pada Gambar 2,3 dan 4, serta analisa keterangan.

Pengaruh faktor-faktor utama yang dioptimasi pada kadar C₁₈₋₁ DOA

Pengaruh variabel proses utama yang dioptimasi pada kadar C₁₈₋₁ DOA ditampilkan pada Gambar 2, yang sesuai hasil signifikansi pada Tabel 6. Gambar 2

ini menunjukkan penurunan kadar C₁₆ COA (ada hubungan terbalik) dan suhu atas kolom *Precut* pada kenaikan C₁₈₋₁ DOA.

Pengaruh kedua faktor ini sangat nyata pada kenaikan C₁₈₋₁ DOA. Kadar C₁₈₋₁ DOA terbaik diperoleh pada kadar 5,2% C₁₆ COA dan suhu atas kolom *Precut* 195°C. Kenaikan rerata C₁₈₋₁ DOA pada Gambar 2 dan Tabel 7 terlihat sangat tidak berarti, sehingga tidak nyata pengaruh yang ditimbulkan kenaikan suhu bawah kolom *main distiller*, sesuai hasil signifikansi pada Tabel 6.

Tabel 4. Perbandingan mutu DOA sebelum dan sesudah optimasi.

No	Parameter Mutu	Standar Mutu DOA ^{*)}	Mutu DOA Sebelum Optimasi ^{*)}	Mutu DOA Sesudah Optimasi
1	Komposisi, % berat			
	C ₁₈₋₁ , asam oleat	70 min	71,1	74,4
	C ₁₈₋₂ , asam linoleat	19 maks	19,7	18,7
2	Bilangan asam, mg KOH/ gr	195 - 210	200,4	198,1
3	Bilangan penyabunan, mg KOH/gr	196 - 211	202,1	199,0
4	Warna 5¼", Lovibond	2,5R/15Y	1,6R/10,6Y	1,7R/13,05Y
5	Bilangan Iodium, gr/100 gr	90 - 102	98,2	101,9
6	Titer, °C	10 maks	12,7	6,8
7	Cloud Point, °C	8 maks	9,9	5,0

Catatan :(*) standar mutu *Distilled Oleic Acid* (DOA) PT Flora Sawit Chemindo

Pengaruh kadar C₁₆ COA dan suhu atas *precut* pada kadar C₁₈₋₁ DOA

Pengaruh interaksi faktor-faktor utama yang dioptimasi disajikan pada grafik faktorial Gambar 3, Gambar 4 dan Tabel 10. Pengaruh interaksi C₁₆ COA umpan dan suhu atas kolom *Precut* sangat nyata pada kenaikan C₁₈₋₁ DOA Hasil ini sesuai hasil signifikansi pada Tabel 6 dan Gambar 2. Berdasarkan fakta di atas, kadar C₁₈₋₁ DOA terbaik diperoleh pada kadar C₁₆ COA 5,2% dan suhu bagian atas kolom *precut* 195°C.

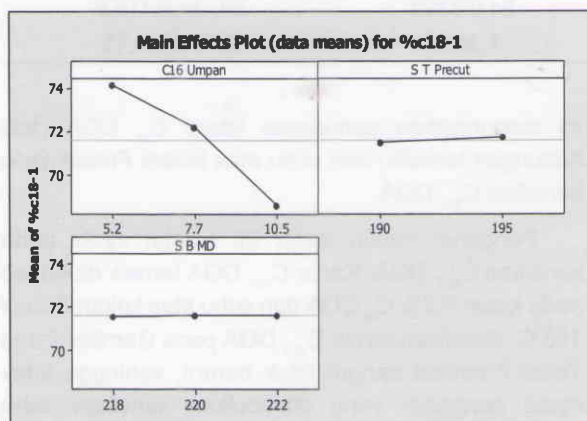
Penurunan kadar C₁₆ umpan COA menyebabkan kenaikan kadar C₁₈₋₁ pada umpan COA. Berdasarkan prinsip distilasi kenaikan suhu kolom baik suhu bagian atas dan suhu bawah kolom distilasi, akan menyebabkan fraksi yang lebih berat (*higher boiling*

fraction) terpisahkan lebih banyak pada produk atas atau distilat kolom distilasi. Demikian pula halnya pada kolom *Precut* (Ritonga, 2004). Kenaikan suhu bagian atas kolom *precut* menyebabkan fraksi C₁₆ lebih banyak terpisahkan dari bagian atas kolom *precut*. Hal ini menyebabkan kadar C₁₆ yang diterima ke kolom *main distiller* semakin kecil, yang berarti kadar C₁₈₋₁ lebih besar. (temperatur yang sesuai pada percobaan ini untuk bagian bawah kolom *main distiller* menghasilkan DOA dengan C₁₈₋₁ yang cenderung lebih besar, sebagai pengaruh kedua faktor pertama).

Pengaruh kadar C₁₆ COA dan suhu bawah *main distiller* pada kadar C₁₈₋₁ DOA

Grafik interaksi faktor-faktor utama pada Gambar 3 yang menunjukkan interaksi pada kadar C₁₆ umpan COA yang sama dengan suhu bawah *main distiller* yang berbeda, terlihat tidak signifikan. Perbedaan perubahan kadar rerata C₁₈₋₁ sebesar 0,15% maksimum pada umpan 10,5% C₁₆, sebesar 0,14% maksimum pada umpan 7,7% C₁₆ dan sebesar 0,07% maksimum pada umpan 5,2% C₁₆ atau 0,07-0,15% maksimum untuk semua data percobaan yang dihasilkan, sangatlah kecil dan relatif sama sehingga tidak nyata.

Pengaruh yang tidak nyata oleh pengaruh suhu bawah kolom *main distiller*, disebabkan komposisi asam lemak C₁₈₋₁ yang masuk kolom *main distiller* dari kolom *precut* relatif tetap pada C₁₆ umpan COA yang sama. Perlu ditegaskan kolom *main distiller* hanya berfungsi untuk memisahkan DOA dari *residue*, bukan fraksinasi.



Gambar 2. Data rerata pengaruh faktor utama pada kadar C₁₈₋₁ DOA.

Tabel 5. Nilai rata-rata C_{18-1} , titer dan cloud point DOA.

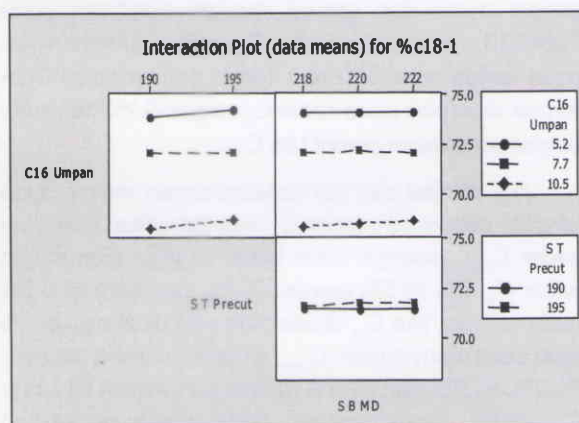
No	C_{16} COA % Berat	Suhu Bagian, °C		C_{18-1} % berat	Titer, °C	Cloud Point, °C
		atas Precut	bawah MD			
1	10,5 %	190	218	68.25	17.85	15.40
			220	68.35	18.05	15.45
			222	68.35	18.3	15.70
		195	218	68.55	16.5	13.2
			220	68.75	16.3	13.0
			222	68.95	16.35	13.05
2	7,7 %	190	218	72.10	9.6	8.60
			220	72.15	9.5	8.50
			222	72.20	9.3	8.30
		195	218	72.15	9.0	8.00
			220	72.25	9.0	8.50
			222	72.00	9.0	8.00
3	5,2 %	190	218	74.15	6.8	5.8
			220	73.80	6.8	5.8
			222	73.85	6.8	5.8
		195	218	74.15	6.8	5.8
			220	74.40	6.8	5.8
			222	74.35	6.8	5.0

Produksi DOA

Kondisi proses distilasi pemurnian asam oleat akan ditentukan dengan mempertimbangkan tingkat produksi distilat asam oleat yang tertinggi diperoleh, disamping mutu asam oleat yang ditetapkan, seperti titer dan cloud point. Hasil analisa signifikansi statistik pada Tabel 9 menunjukkan, bahwa kadar C_{16} umpan, suhu bagian atas kolom *precut* dan bagian bawah kolom *main distiller* berpengaruh sangat nyata terhadap kenaikan produksi DOA.

Pengaruh faktor-faktor utama yang dioptimasi pada produksi DOA

Pengaruh masing-masing faktor utama pada kadar C_{18-1} DOA ditampilkan pada Gambar 6. Penurunan kadar C_{16} COA sangat berpengaruh pada kenaikan tingkat produksi DOA, ada hubungan terbalik. Suhu atas kolom *Precut* sangat berpengaruh pada kenaikan tingkat produksi DOA, demikian pula suhu bawah *main distiller*.



Gambar 3. Grafik data rerata interaksi faktor utama pada kadar C_{18-1} DOA.

Pengaruh kadar C_{16} COA dan suhu atas *precut* pada produksi DOA

Pengaruh interaksi antar faktor-faktor utama yang dioptimasi terhadap produksi DOA ditampilkan pada Gambar 6. Plot rerata tingkat produksi DOA terlihat



Tabel 6. Signifikansi Pengaruh Variabel Proses Optimasi dan Interaksinya pada Kadar C_{18-1} DOA.

No	Perlakuan	P_{anova}	Signifikansi
1	C_{16}	0.000	sangat nyata
2	T. <i>Precut</i>	0.000	sangat nyata
3	BMD	0.470	tidak nyata
4	C_{16} * T <i>Precut</i>	0.003	sangat nyata
5	C_{16} * BMD	0.327	tidak nyata
6	T. <i>Precut</i> * BMD	0.125	tidak nyata
7	C_{16} * T. <i>Precut</i> * BMD	0.087	tidak nyata

Tabel 7. Rerata kadar C_{18-1} DOA hasil efek faktor-faktor utama.

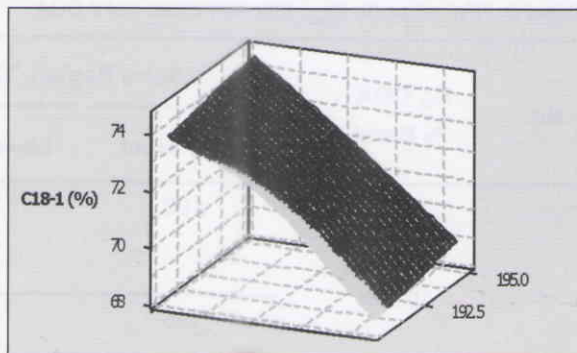
No	Nilai rerata produksi DOA, kg/jam		
	C_{16} , 10,5 %	C_{16} , 7,7 %	C_{16} , 5,2 %
1	68,533	72,1417	74,1167
	T <i>Precut</i> , 190 °C		T <i>Precut</i> , 195 °C
2	71,4667		71,7278
	BMD, 218 °C	BMD, 220 °C	BMD, 222 °C
3	71,5583	71,6167	71,6167

Keterangan : SD = standar deviasi

sangat nyata dan sesuai dengan signifikansi pada Tabel 13. Pengaruh kadar C_{16} umpan sangat nyata pada kedua suhu 190 dan 195°C dan produksi DOA terbaik diperoleh pada kadar C_{16} umpan 5,2% dan suhu bagian atas kolom *precut* 195°C.

Jika ditinjau dari sisi keseimbangan massa pada umpan, penurunan kadar C_{16} menyebabkan kenaikan kadar C_{18-20} (sebagai cikal bakal DOA). Penurunan kadar C_{16} dari 10,5% menjadi 7,7% dan menjadi 5,2% pada umpan, jika C_{16} dipisahkan dan dihitung secara teori akan menyisakan C_{18-20} masing masing sebesar 89,5%, 92,3% dan 94,8% (dalam penjelasan ini kadar C_{12-14} tidak diperhitungkan, agar contoh penjelasan menjadi lebih sederhana).

Kedua faktor variabel pertama (penurunan kadar C_{16} umpan dan kenaikan suhu bagian atas kolom *precut*) menyebabkan penurunan kadar C_{16} DOA, yang berarti kenaikan kadar asam oleat C_{18-1} pada DOA. Kenaikan ini menyebabkan jumlah mol C_{18-1} bertambah, sehingga panas penguapan campuran asam lemak semakin rendah, karena asam oleat C_{18-1} memiliki panas penguapan yang lebih rendah dari C_{16}



Gambar 4. Efek kadar C_{16} umpan dan T *Precut* atas C_{18-1} DOA pada BMD 222°C (grafik lain dengan yang di fotokopian).

(Lurgi, 1989). Dalam hal ini komposisi asam lemak lainnya relatif tetap. Penurunan panas penguapan campuran asam lemak yang masuk ke kolom *main distiller* dan karena suhu bagian bawah *main distiller* dipertahankan sama pada 218°C, 220°C dan 222°C, menyebabkan DOA semakin banyak teruapkan yang berarti produksi DOA yang lebih besar. Jika semakin kecil kadar C_{16} umpan dan didistilasi dengan suhu bagian atas kolom *precut* yang berbeda dan suhu bagian bawah *main distiller* yang sama, produksi DOA semakin besar atau sebaliknya. Hal ini dapat diperhatikan pada Gambar 7 dan 8.

Pengaruh kadar C_{16} COA dan suhu bawah *main distiller* pada produksi DOA

Berdasarkan Gambar 7 yang disajikan di atas, terjadi kenaikan produksi DOA pada suhu bawah *main distiller* yang sama, sebagai akibat interaksi yang sangat nyata antara penurunan kadar C_{16} COA dan kenaikan suhu bawah *main distiller*. Nilai rerata produksi DOA, sebagai hasil interaksi kedua faktor ini ditampilkan pada Tabel 12.

Kenaikan suhu bawah *main distiller* menyebabkan panas yang diberikan untuk menguapkan/memisahkan DOA semakin besar, sehingga semakin mudah menguapkan/ memisahkan DOA dan berdampak pada kenaikan produksi DOA. Semakin tinggi suhu bagian bawah kolom *main distiller*, produksi DOA yang dihasilkan semakin besar demikian pula sebaliknya.

Berdasarkan hasil percobaan ini, produksi DOA yang optimum ditemukan (pada kadar C_{16} umpan 5,2 %) dengan suhu bagian atas kolom *precut* 195°C (hasil pembahasan pada Pengaruh Kadar C_{16} COA dan Suhu Atas *Precut* Pada Produksi DOA) dan suhu

bagian bawah main distiller 222°C sebesar 4.416,8 kg/jam (106,0032 ton/hari) atau 88,34 % dari umpan 5 ton/jam. Produksi ini lebih tinggi dibandingkan dengan produksi sebelum optimasi sebesar 3.360 kg/jam (84% dari umpan 4 ton/jam).

Produksi Residue

Hasil analisa signifikansi statistik pada Tabel 10 menunjukkan, bahwa kadar C_{16} umpan dan suhu atas kolom *precut* berpengaruh sangat nyata terhadap *yield residue*, juga suhu bawah kolom *main distiller* ($P_{\text{anova}} = 0,00 < P\alpha = 0,05$). Berdasarkan hasil analisis di atas produksi *residue* yang optimum diperoleh pada suhu kadar C_{16} COA 5,2 %, suhu atas kolom *Precut* 195°C (lebih rendah 21-24°C dari sebelum dioptimasi) °C dan suhu bawah *main distiller* 222 °C (lebih rendah 24-27°C dari sebelum dioptimasi) sebesar 459,13 kg/jam atau 9,18% (1,88 % lebih besar dari sebelum dioptimasi) dari umpan 5 ton/jam (1 ton lebih besar dari sebelum optimasi).

Penurunan produksi *residue*, karena pengaruh penurunan C_{16} umpan adalah sebagai pengaruh kenaikan produksi DOA oleh sebab yang sama. Respon perubahan produksi *residue* berlawanan arah dengan perubahan respon produksi DOA.

Kenaikan suhu bawah kolom *main distiller*, menyebabkan kenaikan produksi DOA, sehingga jumlah produksi *residue* semakin rendah dengan kenaikan suhu bawah kolom *main distiller*. Kenaikan produksi DOA dan *residue* menyebabkan produksi fraksi ringan berkurang (sesuai dengan prinsip keseimbangan massa), disebabkan penurunan C_{16} COA dan suhu atas kolom *Precut*.

Tabel 8. Rerata kenaikan kadar C_{16-1} (% berat) DOA hasil interaksi C_{16} COA dan T *Precut*.

No	Pada Suhu Atas Kolom <i>Precut</i> 190 °C		
	C_{16} , 10,5 %	C_{16} , 7,7 %	C_{16} , 5,2 %
1	68,3167 SD=0,075	72,15 SD=0,084	73,933 SD=0,207
	F annova = 2679,49		P annova = 0,000
2	Pada Suhu Atas Kolom <i>Precut</i> 195 °C		
	C_{16} , 10,5 %	C_{16} , 7,7 %	C_{16} , 5,2 %
	68,75 SD=0,207	72,1333 SD=0,137	74,3 SD=0,276
	F annova = 1022,99		P annova = 0,000

Keterangan : SD = standar deviasi

Bilangan Asam Residue

Hasil analisa signifikansi statistik faktorial (tidak ditunjukkan dalam tulisan ini) menunjukkan, bahwa kadar C_{16} umpan dan suhu atas kolom *precut* (*top precut*) berpengaruh sangat nyata terhadap bilangan asam (*Acid Value*) *residue*, juga suhu bawah kolom *main distiller* serta interaksinya, kecuali interaksi suhu atas kolom *Precut* dan *main distiller*.

Kondisi terbaik didapat pada kadar C_{16} COA pada 5,2 %, suhu atas kolom *Precut* 195°C dan suhu bawah *main distiller* 222°C. Gambar 13 dan Gambar 14 yang disajikan, cukup mewakili untuk menggambarkan kecenderungan penurunan bilangan asam *residue*, karena pengaruh penurunan kadar C_{16} COA, kenaikan suhu bagian atas kolom *precut* (*top precut*) dan suhu bagian bawah kolom *main distiller*.

Kenaikan *yield* DOA dan penurunan produksi *residue*, karena penurunan kadar C_{16} umpan, berarti penurunan jumlah asam lemak pada *residue*. Penurunan ini menyebabkan bilangan asam *residue* semakin rendah dan dengan demikian penurunan C_{16} umpan menyebabkan penurunan bilangan asam *residue*.

Kenaikan suhu bawah kolom *main distiller*, berarti kenaikan panas yang diberikan untuk pemisahan DOA dari *residue*. Asam lemak yang masuk kolom *main distiller* bertitik didih relatif tetap pada C_{16} umpan yang sama (Ritonga, 1996), sehingga kenaikan suhu bawah *main distiller* juga menyebabkan kenaikan produksi DOA, berarti DOA lebih banyak terpisahkan dari *residue* dan berarti pula menyebabkan bilangan asam *residue* semakin rendah. Titer salah satu parameter mutu yang tidak memenuhi standar mutu DOA yang

Tabel 9. Signifikansi pengaruh variabel proses optimasi dan interaksinya pada produksi DOA.

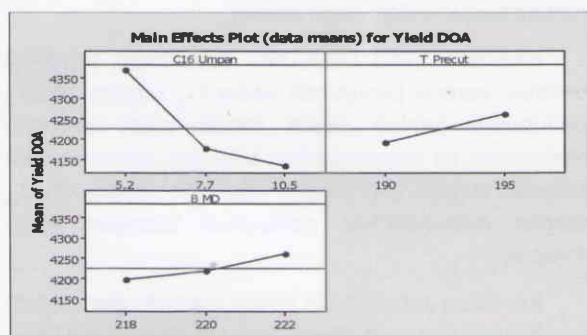
No	Perlakuan	P_{anova}	Signifikansi
1	C_{16}	0.000	sangat nyata
2	T. <i>Precut</i>	0.000	sangat nyata
3	BMD	0.000	sangat nyata
4	C_{16} * T <i>Precut</i>	0.000	sangat nyata
5	C_{16} * BMD	0.010	sangat nyata
6	T. <i>Precut</i> * BMD	0.307	tidak nyata
7	C_{16} * T. <i>Precut</i> * BMD	0.000	sangat nyata



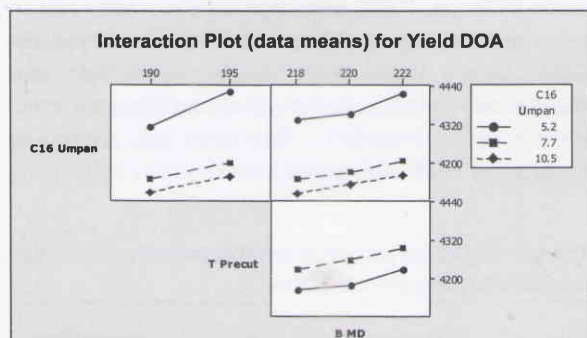
ditetapkan. Hasil akhir analisa statistik menunjukkan faktor penurunan C_{16} COA, kenaikan suhu atas kolom *Precut* dan interaksinya berpengaruh sangat nyata pada penurunan *titer* DOA.

Tabel 10. Rerata produksi DOA hasil efek faktor-faktor utama.

No	Nilai rerata produksi DOA, kg/jam		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
1	4133,45	4175,81	4368,44
	T <i>Precut</i> , 190 °C		T <i>Precut</i> , 195 °C
2	4199,94	4260,86	
	BMD, 218 °C	BMD, 220 °C	BMD, 222 °C
3	4197,15	4218,99	4261,57



Gambar 5. Grafik rerata pengaruh faktor utama pada produksi DOA.



Gambar 6. Grafik data rerata interaksi faktor utama pada produksi DOA.

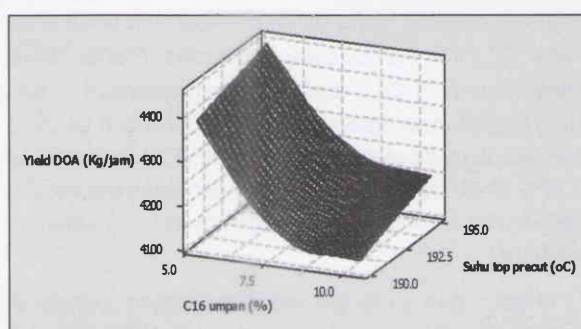
Titer DOA

Berdasarkan data dan gambar di bawah ini, kondisi yang sesuai untuk pemurnian DOA, adalah pada kadar C16 COA 5,2 %, suhu atas kolom *Precut* 195 °C dan suhu bawah *main distiller* 222 °C, (mengingat produksi DOA yang tertinggi dan *residue* yang terendah pada suhu ini).

Tabel 11. Rerata produksi DOA (kg/jam) hasil interaksi C_{16} COA dan T *Precut*.

No	Pada suhu atas kolom <i>Precut</i> 190 °C		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
1	4108,65	4159,92	4113,25
	SD=17,4	SD=14,2	SD=59,6
	F annova = 51,78		P annova = 0,000
2	Pada suhu atas kolom <i>Precut</i> 195 °C		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
	4156,28	4200,7	4423,26
	SD=35,4	SD=36,9	SD=21
	F annova = 119,58		P annova = 0,000

Keterangan : SD = standar deviasi



Gambar 7. Efek kadar C_{16} COA dan T *Precut* pada produksi DOA pada BMD 222 °C.

Penurunan C_{16} COA menyebabkan kenaikan kadar C_{18-1} dan kenaikan suhu atas kolom *Precut* menyebabkan C_{16} lebih banyak teruapkan pada kolom yang sama, yang juga menyebabkan kenaikan kadar C_{18-1} pada DOA. Hal ini menyebabkan nilai *titer* DOA semakin rendah. Sebelum optimasi upaya menurunkan *titer* dilakukan dengan penambahan C_{12} dan C_{14} untuk menekan kadar C_{16} .

Cloud Point

Hasil akhir analisa statistik menunjukkan faktor penurunan C_{16} COA, kenaikan suhu atas kolom *Precut* dan interaksinya berpengaruh sangat nyata pada penurunan *cloud point* (CP) DOA. Hasil analisa ini semakin memperkuat kesimpulan pembahasan yang telah diperoleh di atas.

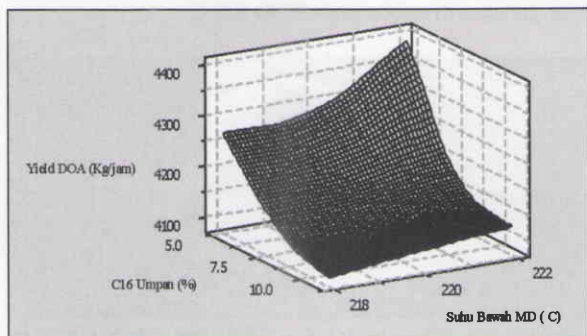
Penurunan C_{16} COA menyebabkan kenaikan kadar C_{18-1} dan kenaikan suhu atas kolom *Precut* menyebabkan C_{16} lebih banyak teruapkan pada kolom yang sama, yang juga menyebabkan kenaikan kadar C_{18-1} pada DOA. Hal ini menyebabkan nilai *cloud point* DOA semakin rendah. Sebelum optimasi upaya menurunkan *cloud point* dilakukan dengan penam-
ba-

han C_{12} dan C_{14} untuk menekan kadar C_{16} . Menekan kadar C_{16} akan menurunkan *cloud point*. Berdasarkan data data di atas, tidak diragukan lagi kondisi yang sesuai untuk pemurnian DOA, adalah pada kadar C_{16} COA 5,2 %, suhu atas kolom *Precut* 195°C dan suhu bawah *main distiller* 222°C dengan *cloud point* 5,40 °C yang terendah.

Tabel 12. Rerata produksi DOA (kg/jam) hasil interaksi C_{16} COA dan BMD.

No	Pada Suhu Bawah M <i>ain Distiller</i> 218°C		
	C_{16} , 10,5 %	C_{16} , 7,7 %	C_{16} , 5,2 %
1	4.104,88 SD=19,4 F annova = 26,43	4.151,05 SD =15,2 P annova = 0,000	4.335,53 SD=78,5
2	Pada Suhu Bawah M <i>ain Distiller</i> 220 °C		
	C_{16} , 10,5 %	C_{16} , 7,7 %	C_{16} , 5,2 %
2	4.133,9 SD=27,9 F annova = 19,94	4.170,05 SD =27,6 P annova = 0,000	4.353,0 SD=82,2
3	Pada Suhu Bawah M <i>ain Distiller</i> 222°C		
	C_{16} , 10,5 %	C_{16} , 7,7 %	C_{16} , 5,2 %
3	4.161,58 SD= 41,9 F annova = 46,55	4.206,33 SD =44,6 P annova = 0,000	4.416,8 SD=32,3

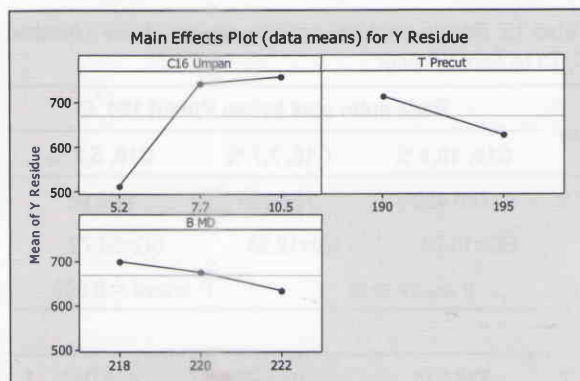
Keterangan : SD = standar deviasi



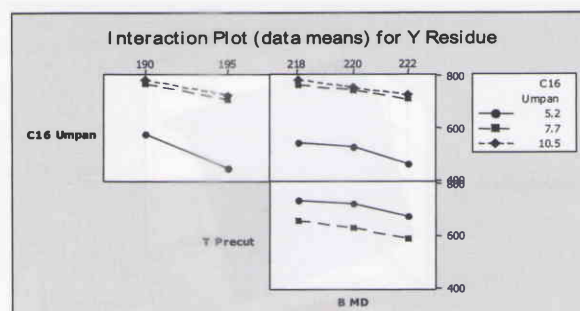
Gambar 8. Efek kadar C_{16} COA dan BMD pada produksi DOA pada *T Precut* 195°C.

Tabel 13. Signifikasi pengaruh variabel proses optimasi dan interaksinya terhadap produksi *residue*.

No	Perlakuan	P_{annova}	Signifikasi
1	C_{16}	0.000	sangat nyata
2	<i>T. Precut</i>	0.000	sangat nyata
3	BMD	0.000	sangat nyata
4	$C_{16} * T. Precut$	0.000	sangat nyata
5	$C_{16} * BMD$	0.002	sangat nyata
6	<i>T. Precut</i> * BMD	0.099	tidak nyata
7	$C_{16} * T. Precut * BMD$	0.000	sangat nyata



Gambar 9. Grafik rerata pengaruh faktor utama pada produksi *Residue*.



Gambar 10. Grafik data rerata interaksi faktor utama pada produksi *residue*.

Tabel 14. Rerata produksi *residue* hasil efek faktor-faktor utama.

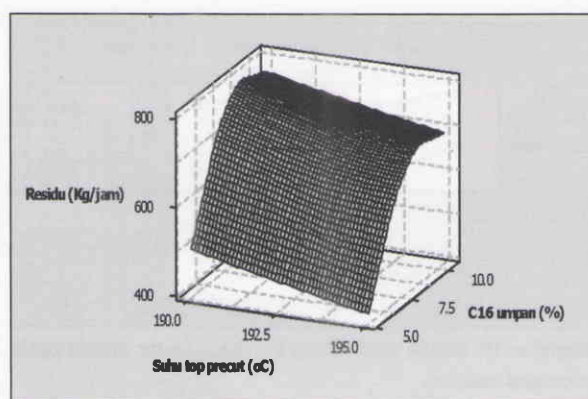
No	Nilai rerata produksi <i>Residue</i> , kg/jam		
	C_{16} , 10,5 %	C_{16} , 7,7 %	C_{16} , 5,2 %
1	756,506	740,475	509,163
T <i>Precut</i> , 190 °C T <i>Precut</i> , 195 °C			
2	711,839	625,59	
BMD, 218 °C BMD, 220 °C BMD, 222 °C			
3	698,248	675,518	632,372

Keterangan : SD = standar deviasi

Tabel 15. Rerata produksi residue (kg/jam) hasil interaksi C_{16} COA dan T *Precut*.

No	Pada suhu atas kolom Precut 190 °C		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
1	786,488	764,305	543,95
	SD=18,24	SD=12,38	SD=58,72
	F anava = 62,56		P anava = 0,000
2	726,338	709,198	459,013

Keterangan : SD = standar deviasi

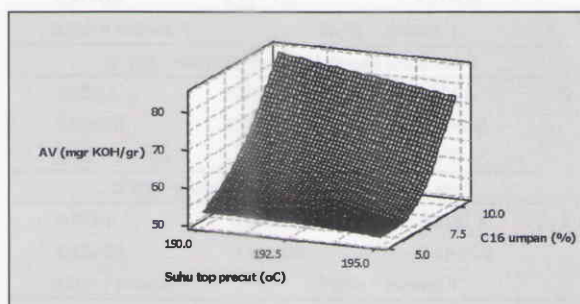
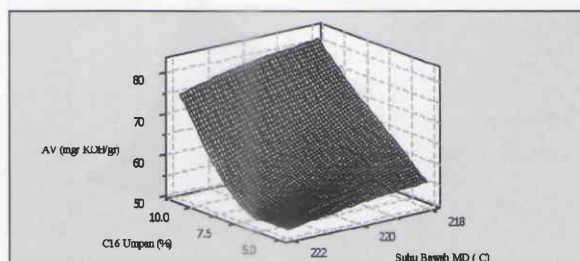
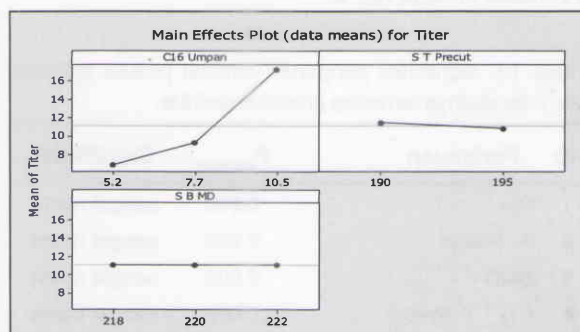
Gambar 12. Efek kadar C_{16} COA dan T *Precut* pada produksi residue pada BMD 222 °C.Tabel 16. Rerata produksi residue (kg/jam) hasil interaksi C_{16} COA dan BMD.

No	Pada suhu bawah main distiller 218 °C		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
1	786,488	764,305	543,95
	SD=24,67	SD=21,7	SD=90,15
	F annova = 23,44		P annova = 0,000
2	Pada suhu bawah main distiller 220 °C		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
	755,98	746,05	524,525
	SD=34,23	SD=34,02	SD=96,37
	F annova = 17,69		P annova = 0,000
3	Pada suhu bawah main distiller 222 °C		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
	727,05	711,07	459,13
	SD= 47,2	SD=53,14	SD=50,23
	F annova = 35,71		P annova = 0,000

Keterangan : SD = standar deviasi

Tabel 17. Signifikasi pengaruh variabel proses optimasi dan interaksinya terhadap bilangan asam residue.

No	Perlakuan	P _{anova}	Signifikasi
1	C_{16}	0.000	sangat nyata
2	T. <i>Precut</i>	0.000	sangat nyata
3	BMD	0.000	sangat nyata
4	C_{16} * T <i>Precut</i>	0.000	sangat nyata
5	C_{16} * BMD	0.000	sangat nyata
6	T. <i>Precut</i> * BMD	0.401	tidak nyata
7	C_{16} * T. <i>Precut</i> * BMD	0.007	sangat nyata

Gambar 13. Efek kadar C_{16} COA dan T *Precut* terhadap bilangan asam residue pada BMD 222 °C.Gambar 14. Efek kadar C_{16} COA dan BMD terhadap bilangan asam residue pada T *Precut* 195 °C.

Gambar 15. Grafik rerata pengaruh faktor utama pada Titer DOA (°C).

Tabel 18. Rerata Titer DOA ($^{\circ}\text{C}$) hasil interaksi C16 COA dan T Precut.

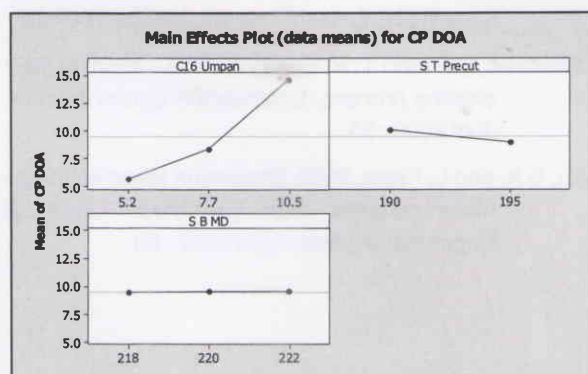
No	Pada suhu atas kolom Precut 190 $^{\circ}\text{C}$		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
1	18,067	9,467	6,8
	SD=0,216	SD=0,273	SD=0,00
	F annova = 5143,08		P annova = 0,000
2	Pada suhu atas kolom Precut 195 $^{\circ}\text{C}$		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
	16,3833	9,0	6,8
	SD=0,1169	SD=0,000	SD=0,00
	F annova = 33188,9		P annova = 0,000

Keterangan : SD = standar deviasi

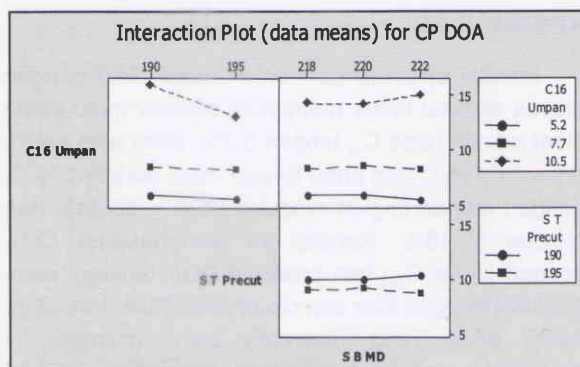
Tabel 19. Rerata Titer DOA ($^{\circ}\text{C}$) hasil interaksi C16 COA dan BMD.

No	Pada suhu bawah main distiller 218 $^{\circ}\text{C}$		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
1	17,175	9,3	6,8
	SD=0,78	SD=0,383	SD=0,000
	F annova = 465,46		P annova = 0,000
2	Pada suhu bawah main distiller 220 $^{\circ}\text{C}$		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
	17,175	9,25	6,8
	SD=1,014	SD=0,379	SD=0,000
	F annova = 300,98		P annova = 0,000
3	Pada suhu bawah main distiller 222 $^{\circ}\text{C}$		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
	17,325	9,15	6,8
	SD=1,13	SD=0,191	SD=0,000
	F annova = 279,05		P annova = 0,000

Keterangan : SD = standar deviasi



Gambar 17. Grafik rerata pengaruh faktor utama pada CP DOA ($^{\circ}\text{C}$).



Gambar 18. Grafik data rerata interaksi faktor utama pada CPDOA ($^{\circ}\text{C}$).

Tabel 20. Rerata Cloud Point DOA ($^{\circ}\text{C}$) hasil interaksi C₁₆ COA dan T Precut.

No	Pada suhu atas kolom Precut 190 $^{\circ}\text{C}$		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
1	15,967	8,467	5,80
	SD=1,244	SD=0,273	SD=0,00
	F annova = 308,49		P annova = 0,000
2	Pada suhu atas kolom Precut 195 $^{\circ}\text{C}$		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
	13,083	8,167	5,533
	SD=0,117	SD=0,320	SD=0,00
	F annova = 921,02		P annova = 0,000

Keterangan : SD = standar deviasi

Tabel 21. Rerata Cloud Point DOA ($^{\circ}\text{C}$) hasil interaksi C₁₆ COA dan BMD.

No	Pada suhu bawah main distiller 218 $^{\circ}\text{C}$		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
1	14,30	8,30	5,80
	SD=1,244	SD=0,273	SD=0,000
	F annova = 129,62		P annova = 0,000
2	Pada suhu bawah main distiller 220 $^{\circ}\text{C}$		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
	14,255	8,50	5,80
	SD=1,415	SD=0,346	SD=0,000
	F annova = 10,64		P annova = 0,000
3	Pada suhu bawah main distiller 222 $^{\circ}\text{C}$		
	C16, 10,5 %	C16, 7,7 %	C16, 5,2 %
	15,05	8,15	5,0
	SD=2,596	SD=0,191	SD=0,642
	F annova = 42,45		P annova = 0,000

Keterangan : SD = standar deviasi

KESIMPULAN

Kondisi optimum pemurnian asam oleat dengan proses distilasi untuk memenuhi standar mutu asam oleat adalah pada C_{16} umpan 5,2%, suhu atas kolom *precut* = 195°C dan suhu bawah *main distiller* 222°C , dengan respon tingkat produksi DOA = 88.34% dan *residue* 8,316%. Kondisi ini menghasilkan DOA dengan kadar C_{18-1} dan produksi DOA tertinggi serta produksi *residue*, *titer* dan *cloud point* DOA terendah. Asam oleat yang diperoleh pada optimasi ini memenuhi standar mutu yang ditetapkan. Secara umum dapat disimpulkan hanya dua faktor utama variabel proses distilasi yang dioptimasi pada percobaan ini. Interaksi C_{16} umpan dan T_{precut} berpengaruh sangat nyata untuk pemurnian asam oleat dengan proses distilasi.

Berdasarkan hasil optimasi di atas, sangat disarankan menggunakan umpan asam oleat kasar dengan kadar C_{16} sebesar 5,2% atau lebih rendah untuk mendapatkan respon *yield* DOA yang lebih tinggi. Jika ada kemungkinan untuk menaikkan kapasitas produksi proses distilasi asam oleat, kadar C_{16} pada umpan asam oleat kasar disarankan dibuat lebih rendah dari 5,2%.

DAFTAR PUSTAKA

- Chemtech, S. 2006. Separation teknologi for the chemical process industry - oleochemical step into a growing market with Sulzer Chemtech
- Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, Kementerian Pertanian RI. 2009. Profil Proyek Investasi Bioenergi (Biofuel). Profil Investasi biofuel dari kelapa sawit. [_Http://p.php.deptan.go.id/xplore/view.php?file=PENGOLAHAN-HASIL/PENGOLAHAN%20HASIL/8-Profil%20Usaha/PROFIL%20INVESTASI%20BIOENERGI/PROFIL%20KELAPA%20SAWIT%20FINAL.doc](http://p.php.deptan.go.id/xplore/view.php?file=PENGOLAHAN-HASIL/PENGOLAHAN%20HASIL/8-Profil%20Usaha/PROFIL%20INVESTASI%20BIOENERGI/PROFIL%20KELAPA%20SAWIT%20FINAL.doc). Diakses pada tanggal 23 Januari 2009.
- Duquid, I. 2001. Avoid process engineer mistakes. Chemical Engineers Journal, November 2001: 97.
- Eder, H. 2003. For good process control, understand the process. Chemical Engineers Journal, September 2003: 63.
- Flora Sawita Chemindo. 2005. Production Process. Medan. Indonesia.
- Gonzalez, P.M.M., J.C. Balada, M. Leon, and E. Gracian. 2007. Optimization of mixture of sunflower oil and oelic acid in a continuous process. JAOD, 84 (5): 479-487.
- Krister, H.Z. and D.R. Gill. 2004. Diagnosing instability in the column overhead. Chemical Engineers Journal, September 2004: 229-232.
- Leird, D., and J. Cornelisen. 2000. Control : system improvements expand refinery process. Oil Gas Journal, Sept. 25, 2000 : 71.
- Le, J., M. Thatcher, and V.H. Edwards. 2000. Doublecheck your process simulation. Journal Chemical Engineers Progress, May 2000 : 51.
- Lurgi, GMBH. 1989. Boiling diagram of fatty acid, Lurgi, Frankfurt.
- Peter, W.F., K. Kolmezt, and W.S. Kek., 2004, Revamp strategies for fatty acid distillation section in oleo-chemical plants, Sulzer Chemtech, Singapore.
- Zacchi, P., Daghero, and P. Jager. 2006. Extraction/fractionation and acidification of wheat germ oil using supercritical carbon monoxide, Brazilian Journal of Chemical Engineering, 23(1):105-110.
- Ritonga, M.Y. 2004. Asam Stearat 1850 dari minyak kelapa sawit. Jurnal Saintek, 20 (2) : 137-141.
- Ritonga, M.Y. 2006. Distilasi asam oleat dari minyak inti sawit. Jurnal Saintek, 24 (2) : 55-58.
- Sloley, A.W. 2001. Effectively column pressure. Jurnal Chemical Engineers Journal, January 2001: 38.
- Sankwitz, G.P. and T. P. Stanffer. 2000. Improve your existing process, Engineers Program Journal, Juni 2000 : 35.
- Xu, S.X. and L. Pless. 2002. Distillation tower flooding - more complex than you think. Chemical Engineers Journal, June 2002 : 60.