

Pengaruh oksidasi termal terhadap perubahan sifat fisiko-kimia fraksi monomer dan dimer beberapa minyak goreng

oleh

Sumi Hudyono PWS¹, Lin Marlina², Suwarno³

ABSTRAK

Oksidasi merupakan fenomena kerusakan minyak/lemak yang tidak dapat dihindarkan. Telah dilakukan pengamatan pengaruh oksidasi termal pada 200°C selama 0, 2, 5 dan 9 jam terhadap perubahan sifat fisiko-kimia fraksi monomer dan dimer minyak sawit, jagung, kedelai dan bunga matahari. Hasil analisis menunjukkan bahwa sifat fisiko-kimia dan kandungan asam lemak minyak yang digunakan sesuai dengan standar codex alimentus. Fraksinasi dengan kolom kromatografi didapatkan fraksi monomer, dimer dan oligomer presentase monomer yang terbentuk menurun dengan bertambah lamanya oksidasi, sebaliknya terjadi peningkatan dimer dan oligomer. Uji anova dua arah menunjukkan bahwa terdapat perbedaan sangat nyata antar jenis minyak dan antar lama pemanasan pada prosentase fraksi yang terbentuk, perubahan indeks bias, angka peroksida dan total karbonil seluruh fraksi monomer dan dimer kecuali perubahan indeks bias pada fraksi monomer. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa fraksi dimer merupakan fraksi yang lebih teroksidasi dibanding dengan monomernya.

Kata kunci : oksidasi termal, minyak goreng, fisiko-kimia, asam lemak, monomer dan dimer.

Oxidation is a process to the oil and fat alteration. The influence of thermal oxidation at 200°C for 0, 2, 5 and 9 hours to the physico-chemical proprieties of palm, soybean, corn and sun flower oils-were observed. The results showed that the fatty acid content and physico-chemical properties of fresh oil was similar to the industrial standard according to the codex alimentus. The fresh and heated oils were fractionated by column chromatography to the monomer, dimer and oligomer fractions. During oxidation, the percentage of monomer decreased and on the of the kind the dimer and oligomer products increased. Two ways anova of monomer and dimer fractions show different significance between the type of oil and time of oxidation to the % fractions formation, refraction index, peroxide value and total carbonyl. The data showed that the dimer is more oxidized fraction than monomer

Key words : thermal oxidation, frying oil, fatty acid composition, physico-chemical properties, monomer and dimer.

I. PENDAHULUAN

Oksidasi merupakan fenomena yang selalu dijumpai pada lemak/minyak yang mengakibatkan penurunan kualitas minyak/lemak. Oksidasi dapat berlangsung melalui autooksidasi maupun fotooksidasi membentuk senyawa antara hidroperoksida, merupakan produk primer oksidasi yang tidak stabil. Oksidasi lebih lanjut akan menyebabkan terbentuknya produk sekunder baik yang mudah menguap dan/maupun tidak

mudah menguap. Produk volatil berasal dari degradasi senyawa hidroperoksida menjadi senyawa yang lebih pendek berupa aldehid, keton, alkohol atau asam karboksilat yang menyebabkan bau kurang enak (off flavour). Sedangkan produk nonvolatil antara lain berupa hasil siklisasi maupun kondensasi produk primernya, seperti produk monomer, dimer dan oligomer, (Porter et al., 1995; Allen et al., 1989; Gunston et al, 1986).

Produk oksidasi dilaporkan mempunyai efek yang kurang menguntungkan

¹ Jurusan Kimia FMIPA Universitas Indonesia

² Lab. Kimia ITI, Serpong

³ Alumni Jurusan Kimia FMIPA Universitas Indonesia

terhadap kesehatan (Addis, 1986 dan Perciballi et al., 1985); mempengaruhi metabolisme dan nilai nutrisinya (Frankel, 1984 dan Perkins, 1976); mempercepat penuaan dan pembentukan arterosklerosis (Ames, 1983). Pengaruh lain yang telah dilaporkan adalah pembentukan tumor dan kanker (Casaril et al., 1995; O'Brien, 1984; Carroll, 1984 dan Ames, 1983); serta bersifat mutagen (Hudiyono et al, 1996; Thiebaud et al., 1995; Shield et al., 1995; Hageman et al., 1991; Esterbauer et al., 1990 dan Saleh et al., 1986). Secara khusus Hudiyono et al. (1996) melaporkan bahwa fraksi monomer dan dimer produk oksidasi termal minyak goreng menunjukkan sifat mutagen berdasarkan uji Ames menggunakan *Salmonella typhimurium* TA 100.

Produk sekunder oksidasi dapat juga digunakan sebagai indikator kualitas minyak (Gomes, 1992; dan Shukta and Perkins, 1991). Banyak metoda isolasi dan purifikasi produk monomer, dimer dan oligomer yang telah digunakan, umumnya berupa metoda kromatografi. Metoda yang digunakan antara lain kromatografi kolom (Yoshida et al, 1983); ekstraksi fasa solid (Rojo and Perkins, 1989); GC, HPLC dan GPC (Christopolou and Perkins, 1989; Sebadio et al, 1987, dan Rojo, 1987). Metoda isolasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah modifikasi dari metoda Yoshida (1983), sedangkan analisis fisiko-kimianya ditentukan berdasarkan metoda standar. Berdasarkan data analisis fisiko-kimia yang didapat diharapkan dapat diambil kesimpulan tentang penurunan kualitas minyak akibat oksidasi termal yang dilakukan.

II. BAHAN DAN METODA

Bahan

Sampel minyak kelapa sawit, jagung, kacang kedelai dan biji bunga matahari adalah produk komersial yang dibeli di super market daerah Jakarta Selatan. Bahan kimia yang

digunakan mempunyai kualitas sesuai dengan peruntukannya.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah "Split Plot Design" dengan percobaan faktorial yaitu variasi empat jenis minyak goreng dan waktu pemanasan. Masing-masing parameter diukur dengan 3 kali pengulangan pengukuran. Untuk mengetahui adanya perbedaan maka dilakukan uji statistik anova dua arah pada batas kepercayaan 95 dan 99 %. Sedangkan adanya interaksi diuji dengan uji nilai tengah Duncan.

Cara Kerja

Sampel minyak dipanaskan pada 200°C selama 0, 2, 5 dan 9 jam. Sampel pada tiap lama pemanasan dilakukan uji fisiko-kimia dengan pengulangan tiga kali, kecuali penentuan kandungan asam lemaknya yang hanya dilakukan pada sampel kontrol (minyak segar) saja.

Analisis Sifat Fisiko-kimia.

Pengukuran indeks bias, gravitasi spesifik, bilangan asam, bilangan saponifikasi, bilangan iod, karbonil total serta % dien terkojugasi dilakukan berdasarkan metoda standar AOAC (1984). Bilangan peroksida ditentukan berdasarkan metoda Asakawa (1980), sedangkan komposisi asam lemak penyusun trigliseridanya ditentukan secara kromatografi gas dalam bentuk metil ester hasil derivatisasi dengan BF₃-MeOH, Hudiyono et al, 1993.

Pemisahan Fraksi Minyak.

Prosedur pemisahan minyak yang digunakan sesuai dengan pekerjaan Yoshida (1983). Pemisahan secara kromatografi kolom dilakukan dengan menggunakan kolom 2x60 cm yang diisi dengan 40 g gel silika F-254. Sebanyak 2,0 g sampel dielus berturut-turut dengan 250 mL, 20 % diisopropil eter dalam heksana; 250 mL 60 % diisopropil eter dalam heksana; selanjutnya 200 mL dietil eter.

Pengujian tingkat pemisahan dilakukan secara TLC dengan eluen petroleum eter/dieter/eter/asam asetat (50/50/2, V/V/V).

Semua sifat fisiko-kimia diujikan untuk sampel minyak sebelum dan sesudah oksidasi, sedangkan untuk fraksi minyak karena jumlahnya yang terbatas maka hanya dilakukan pada fraksi monomer dan dimer saja dengan parameter yang diuji adalah indeks bias, bilangan peroksida dan karbonil totalnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

I. SIFAT FISIKO-KIMIA MINYAK SEGAR

1.1. Analisis Komposisi Asam Lemak

Hasil analisis komposisi asam lemak penyusun trigliserida minyak yang digunakan ditampilkan pada Tabel-1. Perbandingan dengan komposisi asam lemak standar industri berdasarkan codex alimentus (Gunston et al., 1986), menunjukkan bahwa kualitas minyak yang digunakan mirip dengan standar tersebut.

1.2. Analisis Sifat Fisiko-kimia

Hasil analisis sifat fisiko-kimia minyak segar yang digunakan ditampilkan pada Tabel-2. Berdasarkan perbandingan dengan standar yang diacu maka harga analisis sifat fisiko-kimia yang didapat mirip dan memenuhi standar industri.

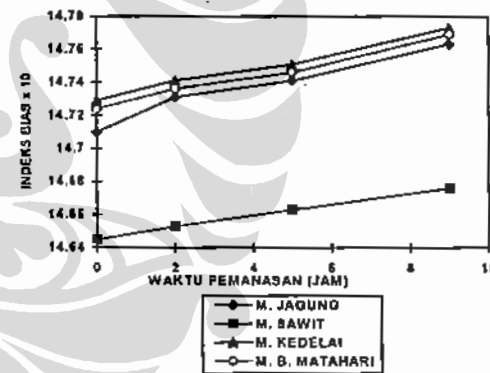
2. PENGARUH OKSIDASI TERMAL TERHADAP PERUBAHAN SIFAT FISIKO-KIMIA MINYAK

Data pengaruh lama pemanasan terhadap perubahan sifat fisika minyak ditampilkan pada Gambar-1, sedangkan untuk perubahan kimianya seperti terlihat pada Gambar-2 dan Gambar-3.

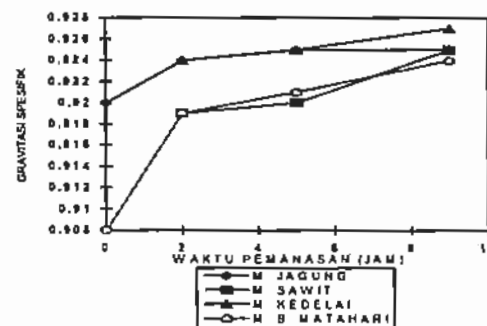
Gambar-1 menunjukkan bahwa oksidasi termal menaikkan harga indeks bias

dan gravitasi spesifik minyak. Peningkatan ini disebabkan oleh terbentuknya produk sekunder non-volatil seperti produk polimerisasi (terutama dimer) yang mempunyai molekul lebih besar sehingga meningkatkan kerapatan minyak. Pengamatan secara visual dari minyak teroksidasi menunjukkan terjadinya perubahan intensitas warna yang lebih pekat sejalan dengan tingkat oksidasinya.

Grafik hubungan antara lama pemanasan terhadap bilangan peroksida menunjukkan bahwa minyak kelapa sawit dan jagung meningkat sampai pemanasan 5 jam kemudian menurun, Gambar-2a. Data tersebut menunjukkan bahwa oksidasi termal sampai 5 jam terjadi pembentukan hidroperoksida dan pemanasan lebih lanjut



(a)

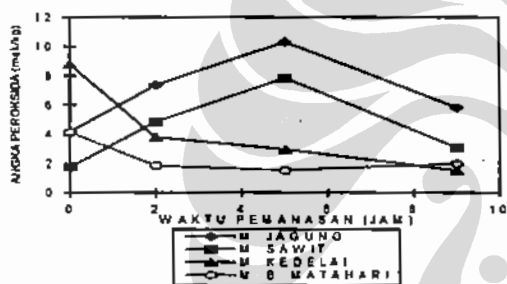


(b)

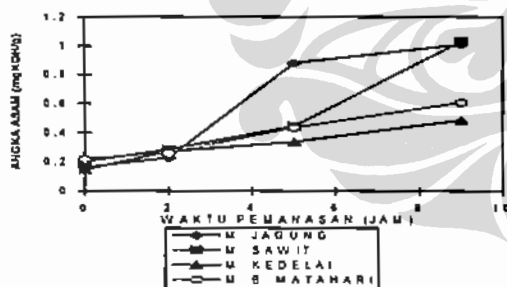
Gambar-1. Pengaruh oksidasi termal terhadap perubahan sifat fisika minyak.

(a) Indeks Bias dan (b) Gravitasi Spesifik

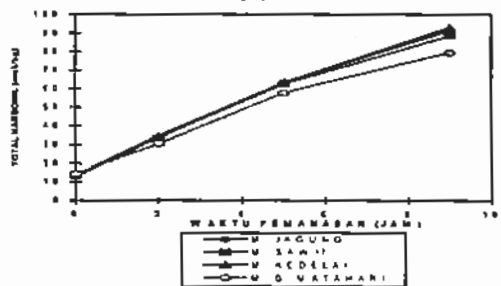
menyebabkan peroksida tersebut terurai membentuk produk sekunder. Sedangkan minyak kedelai dan bunga matahari memberikan pola yang berbeda yaitu terjadi penurunan bilangan peroksida sejak awal oksidasi. Fenomena ini menunjukkan bahwa oksidasi menyebabkan peroksida yang ada langsung mengalami dekomposisi membentuk produk sekunder. Data analisis menunjukkan bahwa minyak biji bunga matahari mempunyai bilangan peroksida yang lebih rendah. dimungkinkan bahwa minyak tersebut telah ditambah dengan antioksidan yang lebih kuat.



(a)



(b)



(c)

Gambar-2. Pengaruh oksidasi termal terhadap perubahan sifat kimia minyak.

- Angka Peroksida,
- Angka Asam
- Total Karbonil.

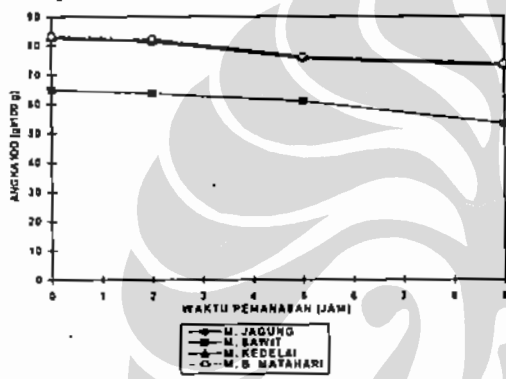
Oksidasi termal menyebabkan peningkatan bilangan asam, Gambar-2b, yang berasal dari produk hidrolisis minyak dan terbentuknya asam karboksilat akibat pemutusan rantai asam lemak hasil dekomposisi hidroperoksida. Fenomena yang sama juga diamati pada pembentukan senyawa karbonil, Gambar-2c, dan % dien terkonjugasi, Gambar-3b. Senyawa karbonil merupakan produk dekomposisi sedangkan dien terkonjugasi terbentuk karena migrasi ikatan rangkap dari posisi terinterupsi membentuk konjugasi akibat energi luar, oksidasi termal. Sedangkan bilangan iod akan menurun sejalan dengan lama oksidasi, Gambar-3a, hal ini menunjukkan terjadinya pemutusan ikatan rangkap yang ada melalui degradasi hidroperoksida membentuk produk sekunder berupa asam karboksilat, karbonil dan senyawa hasil degradasi yang lain.

3. FRAKSINASI MINYAK

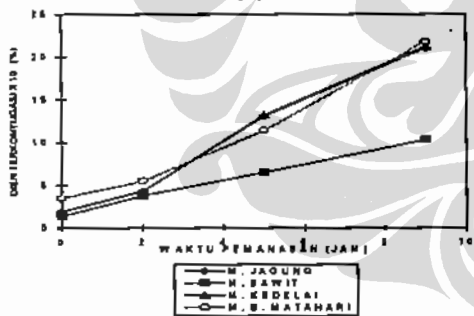
3.1. Komposisi Fraksi Minyak

Fraksionasi dilakukan berdasarkan perbedaan kepolaran pelarut yang digunakan sesuai dengan pekerjaan Yoshida et al. (1983). Monomer merupakan fraksi paling nonpolar yang tersusun dari fraksi trigliserida dan fraksi minyak lain yang dapat berasal dari oksidasi minyak seperti monomer siklik, sedangkan fraksi dimer dan oligomer bersifat lebih polar yang berasal dari kondensasi (polimerisasi) produk primer oksidasi. Berdasarkan kepolaran tersebut maka fraksi monomer akan terelusi oleh 20 % diisopropileter dalam heksana, fraksi dimer oleh 60 % diisopropileter dan fraksi oligomer dalam pelarut dietileter. Penelitian tidak menentukan masing-masing komponen penyusun fraksi, namun demikian uji dengan TLC menunjukkan bahwa tiap fraksi memberikan bercak tunggal kecuali pada dimer dan oligomer yang memberikan sedikit ekor.

Hasil fraksinasi menunjukkan bahwa sampel minyak segar yang digunakan sudah mengandung fraksi dimer dan oligomer. Data selengkapnya tentang pengaruh oksidasi termal terhadap kandungan fraksi monomer, dimer dan oligomer ditampilkan pada Gambar-4. Data analisis menunjukkan bahwa oksidasi menyebabkan penurunan % fraksi monomer yang diikuti dengan peningkatan fraksi dimer dan oligomer, terutama fraksi dimernya.

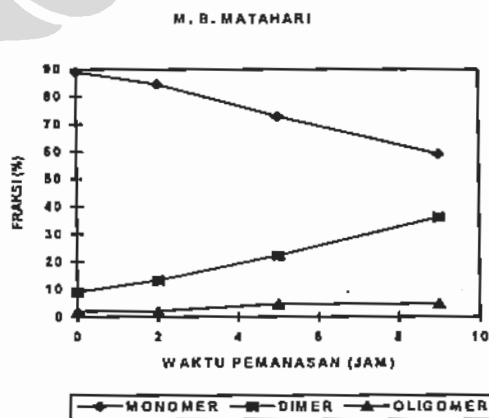
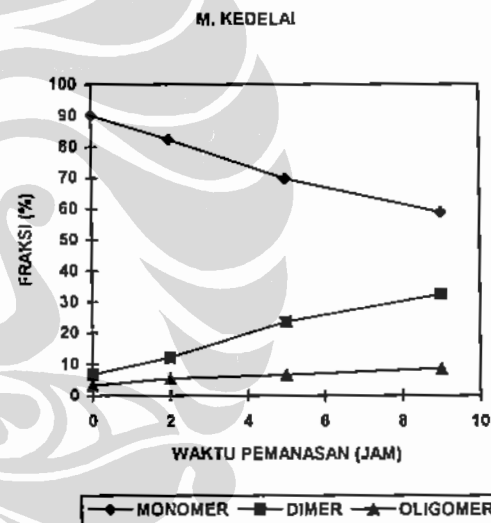
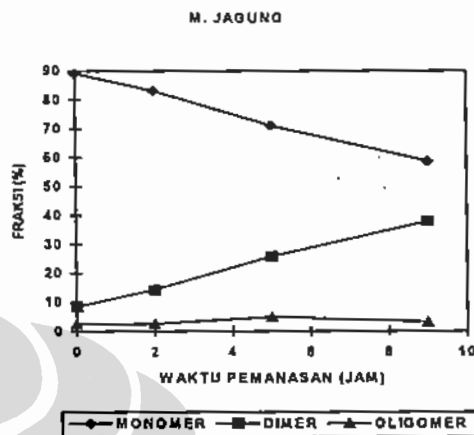
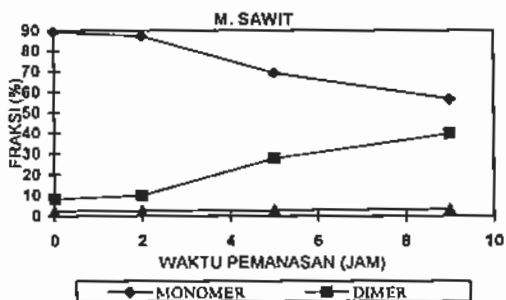


(a)



(b)

Gambar-3. Pengaruh oksidasi termal terhadap perubahan sifat kimia minyak. a. Angka iod dan b. % Dien Terkonjugasi.

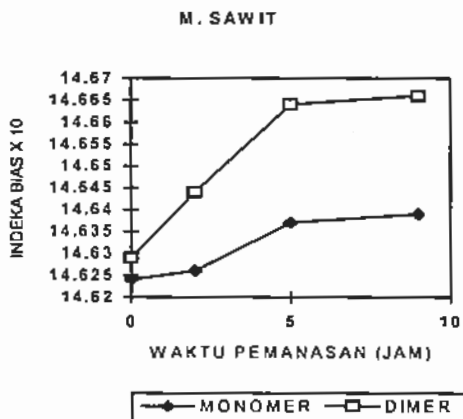
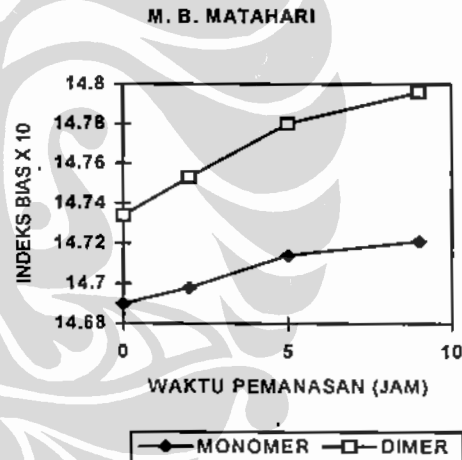
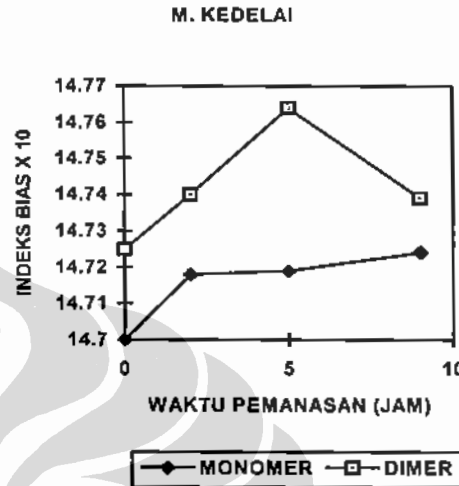
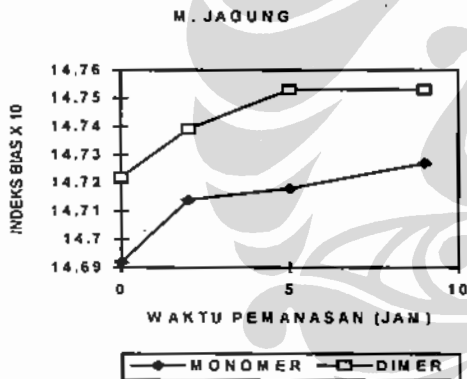


Gambar-4. Pengaruh oksidasi termal terhadap komposisi fraksi minyak

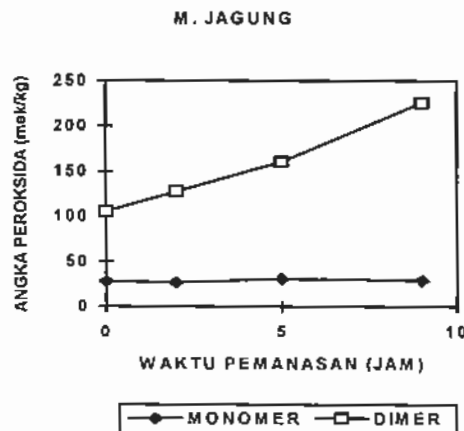
3.2. Perubahan Sifat Fisiko-kimia Fraksi Minyak

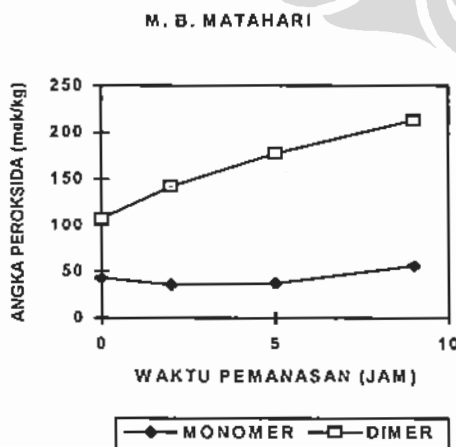
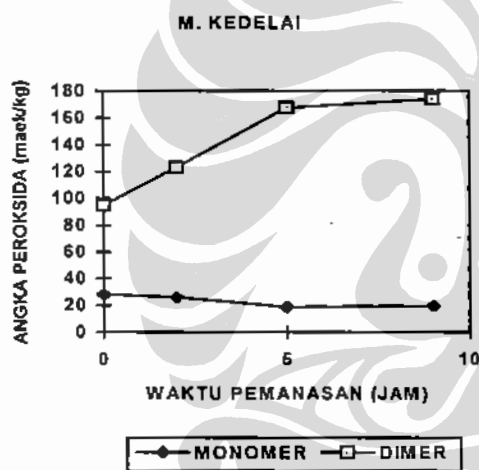
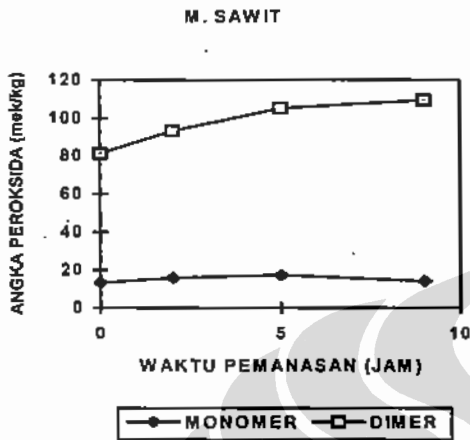
Analisis fisiko-kimia hanya dilakukan terhadap fraksi monomer dan dimer dengan uji terhadap indeks bias, bilangan oksidasi dan karbonil totalnya saja. Hasil analisis sifat fisiko-kimia ditampilkan pada Gambar-5 (indeks bias), Gambar-6 (bilangan peroksida) dan Gambar-7 (karbonil total).

Oksidasi termal menyebabkan peningkatan indeks bias terutama dimer akibat terbentuknya molekul yang lebih besar hasil polimerisasi. Peningkatan bilangan peroksida dan karbonil total juga lebih besar pada fraksi dimer. Fenomena tersebut membuktikan bahwa fraksi dimer merupakan produk yang lebih teroksidasi dibanding dengan monomernya.



Gambar-5. Perubahan indeks bias fraksi minyak selama oksidasi termal.

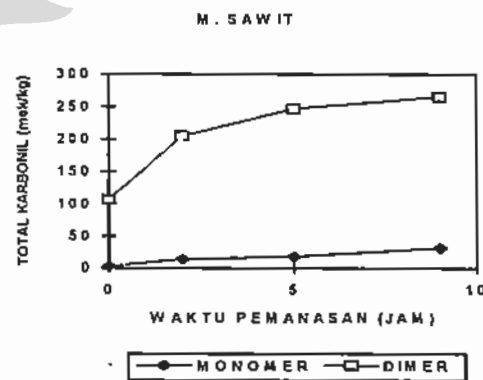
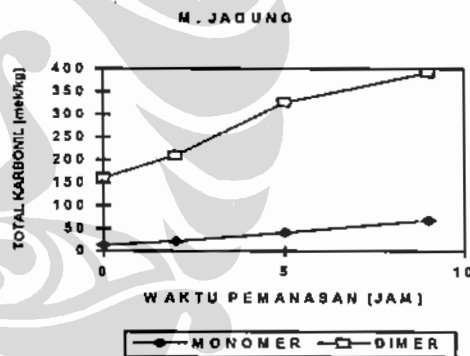




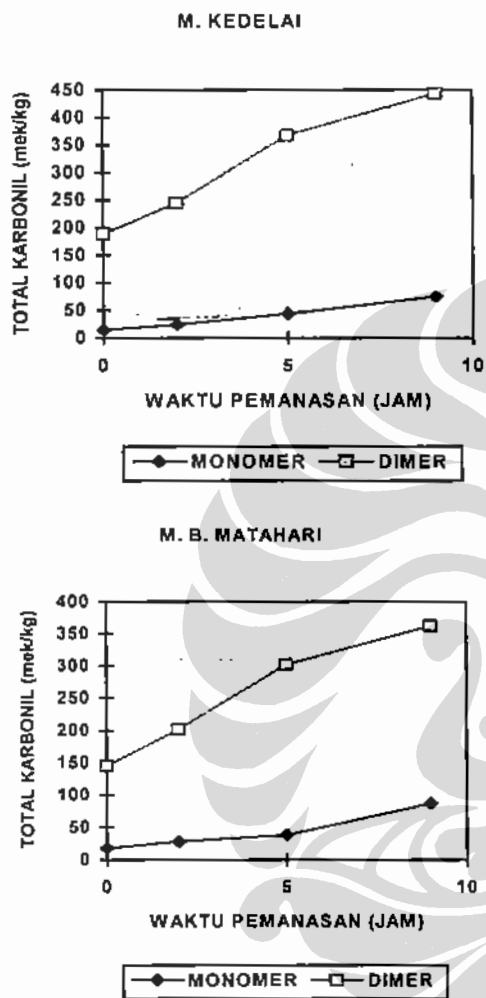
4. UJI ANOVA PERUBAHAN SIFAT FISIKO-KIMIA MINYAK

Data anova dua arah pengaruh jenis minyak terhadap semua sifat fisiko-kimia minyak menunjukkan adanya perbedaan sangat nyata antar jenis dan antar lama oksidasi. Sedangkan uji terhadap % fraksi yang terbentuk menunjukkan perbedaan sangat nyata dan terdapat interaksi antar keduanya.

Hasil uji anova pengaruh oksidasi termal terhadap perubahan indeks bias fraksi menunjukkan adanya perbedaan yang sangat nyata dan terdapat interaksi antar keduanya untuk fraksi dimer, sedangkan sebaliknya untuk fraksi monomer. Analisis bilangan peroksida memberikan perbedaan yang sangat nyata, sedangkan untuk karbonil total hanya memberikan perbedaan yang nyata. Keduanya menunjukkan adanya interaksi antar jenis dan antar lama oksidasi.



Gambar-6. Perubahan angka peroksida fraksi minyak selama oksidasi termal.



Gambar-7. Perubahan total karbonil fraksi minyak selama oksidasi termal.

IV. KESIMPULAN

Kualitas minyak goreng yang digunakan, berdasarkan data fisiko-kimia dan kandungan asam lemaknya, sesuai dengan standar industri Codex Alimentus. Namun demikian pada sampel minyak segar sudah ditemui, dalam jumlah kecil, fraksi dimer dan oligomer yang menunjukkan bahwa sampel sudah mengalami sedikit oksidasi.

Berdasarkan hasil analisis sifat fisiko-kimianya ditunjukkan bahwa kualitas minyak mengalami penurunan yang sangat tajam

setelah mengalami oksidasi termal selama dua jam. Pengamatan terhadap fraksi yang terbentuk menunjukkan bahwa selama oksidasi termal terjadi penurunan jumlah monomer yang diikuti dengan pembentukan fraksi dimer dan oligomernya. Data analisis yang didapat juga menunjukkan bahwa tingkat oksidasi pada dimer lebih besar dibanding dengan monomernya

V. DAFTAR PUSTAKA

Addis, P.B., 1986. Occurrence of Lipid Oxidation Product in Foods. *Fd. Chem. Toxic.* 24(10/11), 1021-1030.

Allen, J.C. and R.J. Hamilton, 1989. *Rancidity in Food*. 2nd ed., Elsevier Applied Science Publ., London.

Ames, B.N., 1983. Dietary Carcinogens and Anticarcenogens, *Sciences*, 221, 1256-1264.

AOAC, 1984. *Official Methods of Analysis*, Washington DC.

Asakawa, T. and S. Matsushita, 1980. A Colorimetric Microdetermination of Peroxide Values Utilizing Aluminium as the Catalyst. *Lipids*, 15(11), 965-967.

Carrol, K.K., 1984. Role of Lipids in Tumorigenesis. *JAOCS*, 6(12), 1888-18891.

Christopoulou, C.N. and E.G. Perkins, 1989. High Performance Size Exclusion Chromatography of Monomer, Dimer and Trimer Mixtures. *JAOCS*, 66(9), 1338-1343.

Christopoulou, C.N. and E.G. Perkins, 1989. Chromatographic Studies of Fatty Acid Dimers : Gas Liquid Chromatography, High Performance Liquid Chromatography and Thin-Layer Chromatography. *JAOCS*, 66(9), 1953-1959.

Christopoulou, C.N. and E.G. Perkins, 1989. Isolation and Characterization of Dimers

Esterbauer, H., P. Eckl and A. Ortner, 1990. Possible Mutagen Derived from Lipid Precursor. *Mutat. Res.*, 238(3), 223-233.

- Formed in Used Soybeans Oil. *JAACS*, 66(9), 1960-1970.
- Frankel, E.N., 1984. Lipid Oxidation : Mechanism, Product and Biological Significance. *JAACS*, 61(12), 1908-1917.
- Gomes, T., 1992. Oligopolymer, Diglycerides and Oxidized Triglyceride Contents as Measures of Olive Oil Quality. *JAACS*, 69(12), 1219-1222.
- Gunston, F.D., J.L. Harwood and F.B. Padley, 1986. *The Lipid Handbook*. Chapman and Hall, London.
- Hudiyono, S and L. Marlina, 1996. Uji Mutagenesis dengan *Salmonella typhimurium* TA 100 terhadap fraksi Monomer dan Dimer Produk Oksidasi Termal Minyak Goreng. Seminar Nasional Mikrobiologi Lingkungan II, Bogor.
- Hudiyono, S., H. Adenier and H. Chaveron, 1993. Essai de Determination de la Composition Triglyceridique d'une Fraction d'Huile de palme Hydrogenee., *Rev. Franc. Coprs Grass*, 40(3/4), 131-141.
- Hudiyono PWS, Sumi, 1993. Penentuan Isomer Asam Lemak takjenuh tunggal Hasil Hidrogenasi Fraksi Palmolein. *Akta Kimia*, 3(1), 25-31.
- Perciballi, M. and S.J. Pintauro, 1985. The Effect of Fractionated Thermally Oxidized Corn Oil on Drug-Metabolizing Enzyme System in Rat. *Fd. Chem. Toxic.*, 23(8), 737-740.
- Perkins, E.G., 1976. Chemical, Nutritional and Metabolic Studies of Heated Fats II- Nutritional Aspects. *Rev. Franc. Coprs Grass*, 23(6), 314-322.
- Porter, N.A., S.E. Caldwell and K.A. Mills, 1995. Mechanisme of Free Radical Oxidation of Unsaturated Lipids. *Lipids*, 10(4), 277-290.
- O'Brien, P.J., 1984. Lpid Peroxide Catalyzed Chemical Carcinogenesis. *JAACS*, 61(12), 1904-1907.
- Rojo, J.A. and E.G. Perkins, 1989. Cyclic Fatty Acid Monomer : Isolation and Purification with Solid Phase Extraction. *JAACS*, 66(11), 1593-1595.
- Rojo, J.A. and E.G. Perkins, 1987. Cyclic Fatty Acid Monomer Formation in Frying Fats. I. Determination and Structural Study. *JAACS*, 64(3), 414-421.
- Saleh, M.A., K.A. Ahmed, A.N. Sharaf and M.S. Abdel-Latief, 1986. Mutagenicity of Heated Cottonseed Frying Oil. *J. of Food Safety*, 7, 203-213.
- Sebadio, J.L., J. Prevost and A. Grandgirard, 1987. Heat Treatment of Vegetable Oils I. Isolation of the Cyclic Fatty Acid Monomers from Heated Sunflower and Linseed Oils. *JAACS*, 64(7), 1026-1032.
- Shields, P.G., G.X. Shue, W.J. Blot, J.F. Fraumen Jr., G.E. Trivers, E.D. Pellizzari, Y.H. Qu, Y.T. Gao and C.C. Harris, 1995. Mutagens from Heated Chinese and US Coking Oils. *J. Natl. Cancer Inst.*, 87(11), 836-841.
- Shukla, V.K.S. and E.G. Perkins, 1991. The Presence of Oxidative Polymeric Materials in Encapsulated Fish Oils. *Lipids*, 26(1), 23-26.
- Thiebaud, H.P., M.G. Knizw, P.A. Kuzmicky, D.P. Hsieh and J.S. Felton, 1995. Airborn Mutagens Produced by Frying Beef, Pork and Soy based Food. *Fd. Chem. Toxic.*, 33(10), 821-828.
- Yoshida, H. and J.C. Alexander, 1983. Enzymatic Hydrolysis of Fractionated Products from Oils Thermally Oxidized in the Laboratory. *Lipids*, 18(6), 402-407.

Tabel 1. Komposisi asam lemak minyak yang digunakan

Jenis Asam Lemak	Komposisi Asam Lemak (%)							
	Kelapa Sawit		Jagung		Kedelai		B. Matahari	
	Literatur	Analisis	Literatur	Analisis	Literatur	Analisis	Literatur	Analisis
C12:0	< 1,2	0,25	< 0,1	-	< 0,1	-	< 0,4	0,05
C14:0	0,5-5,9	0,86	< 0,1	-	< 0,5	0,06	< 0,5	0,07
C16:0	32,0-	37,20	8,0-19,0	10,34	7,0-14,0	10,48	3,0-10,0	6,41
C18:0	59,0	4,79	0,5-4,0	1,63	1,4-5,5	4,54	1,0-10,0	4,09
C18:1	1,5-8,0	40,40	19,0-	23,09	19,0-	22,05	20,0-	30,12
C18:2	38,0-	14,40	50,0	62,90	30,0	52,68	40,0	57,41
C18:3	44,0]	34,0-]	44,0-]	50,0-]
C20:0	5,0-14,0]	62,0]	62,0]	75,0]
	< 1,5	2,11	< 2,0	2,04	4,0-11,0	10,18	< 0,7	1,85
	< 0,5		< 1,0		< 1,0		< 1,5	

Catatan : Harga literatur sesuai dengan Draft Codex, diambil dari The Lipid Handbook, Gunston et al., 1986.

Tabel 2. Hasil analisis sifat fisiko-kimia minyak yang digunakan

Sifat Fisiko-kimia	Kelapa Sawit		Jagung		Kedelai		Bunga Matahari	
	Literatur	Analisis	Literatur	Analisis	Literatur	Analisis	Literatur	Analisis
-Indeks bias	1,449-	1,465	1,465-	1,472	1,466-	1,473	1,467-	1,472
-Gravitasi Spesifik	1,455	0,914	1,468	0,920	1,470	0,920	1,469	0,908
-Bilangan Peroksida (mek/kg sampel)	0,891-0,899	1,79	0,917-0,925	4,20	0,919-0,925	8,82	0,918-0,923	4,14
-Bilangan Asam (mg KOH/g sampel)	-	0,20	-	0,16	-	0,15	-	0,22
-Bilangan Iod (g I ₂ / 100 g sampel)	0,1	64,72	0,1	82,80	0,1	82,80	0,1	83,44
-Karbonil Total (mek/kg sampel)	50,0-55,0	13,58	103-128	12,80	1,20-1,43	13,74	110-143	14,36
-% Dien Terkonjugasi (% berat)	-	0,14	-	0,19	-	0,19	-	0,35
	-		-		-		-	

Catatan : Harga literatur sesuai dengan Draft Codex, diambil dari The Lipid Handbook, et al., 1986.

Nilai (-) berarti tidak ditentukan dalam standar yang diacu, tetapi diharapkan serendah mungkin.

Tabel 3. Perubahan sifat fisiko-kimia minyak selama oksidasi termal pada 200°C.

Jenis Analisis	Lama Oks. (jam)	Jenis Minyak			
		Kelapa Sawit	Jagung	Kacang Kedelai	Biji Bunga Matahari
Indeks Bias	0	1,4645	1,4118	1,4729	1,4724
	2	1,4653	1,4731	1,4741	1,4736
	5	1,4663	1,4740	1,4751	1,4745
	9	1,4676	1,4763	1,4773	1,4769
Gravitasi Spesifik	0	0,9139	0,9199	0,9200	0,9077
	2	0,9186	0,9224	0,9242	0,9194
	5	0,9201	0,9251	0,9249	0,9210
	9	0,9250	0,9275	0,9274	0,9237
Bilangan Peroksida (mek/kg sampel)	0	1,7902	4,1985	8,8225	4,1424
	2	4,8733	7,3681	3,7900	1,8596
	5	7,8399	10,3262	2,9645	1,5489
	9	3,0985	5,8268	4,6802	2,0021
Bilangan Asam (mg KOH/g sampel)	0	0,2019	0,1645	0,1495	0,2197
	2	0,2851	0,8976	0,2711	0,2617
	5	0,4628	0,8796	0,3366	0,4338
	9	1,0331	1,0098	0,4861	0,6077
Bilangan Iod (g I ₂ /100 g sampel)	0	64,7196	82,4850	82,8022	83,4367
	2	63,6614	81,2155	81,6389	82,4849
	5	62,0177	75,6082	76,1399	76,3514
	9	53,2980	72,8617	73,2847	73,9192
Karbonil Total (mek/kg sampel)	0	13,5831	12,8023	13,7392	14,3637
	2	33,5674	33,4113	34,6604	30,4449
	5	62,4511	63,4920	63,2318	57,7673
	9	88,6026	91,3348	92,8961	79,6252
Dien terkonjugasi (% berat)	0	0,1416	0,1901	0,1908	0,3455
	2	0,3781	0,4315	0,4331	0,5458
	5	0,6540	1,3116	1,3166	1,1353
	9	1,0258	2,1023	2,1200	2,1779

Tabel -4. Sidik ragam sifat fisiko-kimia minyak dengan variasi waktu pemanasan.

Sumber	DB	Indeks Bias	Gravitasi Spesifik	Bilangan Peroksida	Bilangan Asam	Bilangan Iod	Karbonil Total	% Dien Konjugasi
Waktu	3	1)32.61 2)0.0001 ^{sn}	1)1115.34 2)0.0001 ^{sn}	1)188,86 2)0.0001 ^{sn}	1)6532.67 2)0.0001 ^{sn}	1)1108.38 2)0.0001 ^{sn}	1)18240,3 2)0.0001 ^{sn}	1)4881.58 2)0.0001 ^{sn}
Jenis	3	1)230.42 2)0.0001 ^{sn}	1)397.65 2)0.0001 ^{sn}	1)4277.91 2)0.0001 ^{sn}	1)1196.33 2)0.0001 ^{sn}	1)6782.34 2)0.0001 ^{sn}	1)144.34 2)0.0001 ^{sn}	1)168.26 2)0.0001 ^{sn}
Waktu x Jenis	9	1)0.96 2)0.4964 ^{tn}	1)45.09 2)0.0001 ^{sn}	1)2000.32 2)0.0001 ^{sn}	1)592.19 2)0.0001 ^{sn}	1)24.38 2)0.0001 ^{sn}	1)42.73 2)0.0001 ^{sn}	1)49.07 2)0.0001 ^{sn}

Catatan : 1) F hitung, 2) P nyata, DB : Derajat Bebas, sn : berbeda sangat nyata (a = 0,01), n : berbeda nyata (a = 0,05), tn : tidak berbeda nyata.

Tabel-5. Komposisi fraksi yang terbentuk selama oksidasi termal.

Jenis Minyak	Lama Oksidasi (jam)	% Fraksi		
		Monomer	Dimer	Oligomer
Kelapa Sawit	0	89,28	8,19	2,33
	2	87,42	9,99	2,59
	5	69,25	27,83	2,98
	9	56,70	39,83	3,47
Jagung	0	89,21	8,36	2,41
	2	83,18	14,26	2,57
	5	71,82	25,87	4,04
	9	58,76	38,00	3,23
Kacang Kedelai	0	90,05	6,72	3,23
	2	82,42	12,10	5,48
	5	69,76	23,58	6,66
	9	58,89	32,46	8,65
Biji Bunga Matahari	0	89,07	8,92	2,02
	2	84,63	13,24	2,12
	5	73,03	22,34	4,63
	9	59,14	36,11	4,75

Tabel-6. Sidik ragam persentase fraksi minyak dengan variasi waktu pemanasan

Sumber	DB	Monomer	Dimer	Oligomer
Waktu	3	1) 965,13 2) 0,0001 ^{sn}	1) 782,19 2) 0,0001 ^{sn}	1) 663,83 2) 0,0001 ^{sn}
Jenis	3	1) 0,92 2) 0,4611 ^{tn}	1) 13,35 2) 0,0004 ^{sn}	1) 592,17 2) 0,0001 ^{sn}
Waktu x Jenis	9	1) 3,54 2) 0,0224 ⁿ	1) 7,39 2) 0,0011 ^{sn}	1) 57,66 2) 0,0001 ^{sn}

Catatan : 1) F hitung, 2) P nyata, sn : berbeda sangat nyata (a = 0,01), tn : tidak berbeda nyata.

DB : Derajat Bebas, n : berbeda nyata (a = 0,05),

Tabel-7. Pengaruh Oksidasi Termal terhadap Perubahan Sifat Fisiko-kimia Fraksi Minyak

Jenis Analisis	Lama Oksidasi (jam)	Kelapa Sawit		Jagung		Kacang Kedelai		Bunga Matahari	
		Mono-mer	Dimer	Mono-mer	Dimer	Mono-mer	Dimer	Mono-mer	Dimer
Indeks Bias	0	1,4624	1,4628	1,4692	1,4722	14,700	1,4725	1,4690	1,4734
	2	1,4626	1,4643	1,4714	1,4739	1,4718	1,4740	1,4698	1,4753
	5	1,4637	1,4664	1,4718	1,4752	1,4719	1,4764	1,4714	1,4780
	9	1,4639	1,4666	1,4727	1,4787	1,4724	1,4792	1,4721	1,4796
Bilangan Peroksida (mek/kg sampel)	0	13,2792	81,8960	28,0942	105,278	28,2331	94,8317	42,8976	107,585
	2	15,8846	93,1174	26,8947	127,556	25,9768	123,206	35,9453	142,222
	5	17,2602	105,129	30,1519	160,545	18,7588	167,910	37,2943	177,389
	9	13,9105	109,335	29,2834	225,753	19,7570	173,862	55,7781	212,761
Karbonil Total (mek/kg sampel)	0	2,9730	106,591	13,4424	161,083	14,4666	188,454	18,0317	144,805
	2	14,5254	205,152	22,1329	209,408	23,8192	244,996	28,3945	200,279
	5	17,9898	247,337	40,8883	325,629	43,9681	367,494	28,3945	301,919
	9	31,7626	265,659	67,9728	390,755	74,9871	443,822	87,0187	362,303

Tabel-8. Sidik ragam sifat fisiko-kimia fraksi minyak dengan variasi waktu pemanasan.

Sumber	DB	Monomer			Dimer		
		Indeks Bias	Bilangan Peroksida	Karbonil Total	Indeks Bias	Bilangan Peroksida	Karbonil Total
Waktu	3	1) 1,22 2) 0,4106 ^{tn}	1) 10,73 2) 0,0022 ⁿ	1) 1355,89 2) 0,0001 ^{sn}	1) 4737,31 2) 0,0001 ^{sn}	1) 2452,40 2) 0,0001 ^{sn}	1) 8741,49 2) 0,0001 ^{sn}
Jenis	3	1) 2,06 2) 0,1597 ^{tn}	1) 876,09 2) 0,0001 ^{sn}	1) 969,24 2) 0,0001 ^{sn}	1) 1110,88 2) 0,0001 ^{sn}	1) 1488,40 2) 0,0001 ^{sn}	1) 1462,92 2) 0,0001 ^{sn}
Waktu x Jenis	9	1) 1,09 2) 0,4368 ^{tn}	1) 50,79 2) 0,0001 ^{sn}	1) 139,57 2) 0,0001 ^{sn}	1) 102,40 2) 0,0001 ^{sn}	1) 169,95 2) 0,0001 ^{sn}	1) 132,11 2) 0,0001 ^{sn}

Catatan : 1) F hitung, 2) P nyata, DB : Derajat Bebas, sn : berbeda sangat nyata ($\alpha = 0,01$),
n : berbeda nyata ($\alpha = 0,05$), tn : tidak berbeda nyata.