

# Metode Elektrooptis sebagai Pendeteksi Radikal Bebas dan Prospek untuk Evaluasi Total Mutu Minyak Goreng

K. Sofjan Firdausi, Heri Sugito, Ria Amidasari, dan Sri Murni

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro  
firdausi@undip.ac.id

Received 09-02-2013, Revised 12-03-2013, Accepted 26-03-2013, Published 25-04-2013

## ABSTRACT

One main problem of standard methods for determination of frying oil quality is various parameter of indicators with their various wide of methods or equipments. In this research we proposed a new method for determination of oil quality using single electrooptics parameter to replace previous indicators. The samples used in the experiment were various conditions of palm oils from the same brand. The level of oil quality was proposed by the value of  $\theta^2$ , which represents as the relative number of free radicals produced in the sample. The change of polarization was measured by the value of  $\theta$  as the samples were induced by an external electric field using high voltage dc power supply. At room temperature of 28°C electrooptics method seems capable to detect free radicals and to distinguish all kinds of palm oils. This method has an opportunity to provide a single parameter of oil quality and an evaluator of halal or authentic food from fats.

Key words: electrooptics, frying oil quality, polarization angle, free radicals

## ABSTRAK

Salah satu problem utama pada metode standar untuk uji kualitas minyak goreng adalah banyaknya parameter uji beserta variasi metode-metodenya. Dalam penelitian ini diusulkan metode baru untuk penentuan kualitas minyak goreng nabati menggunakan satu parameter saja, yakni elektrooptis. Sampel yang digunakan adalah minyak goreng sawit baik yang masih layak pakai maupun yang sudah kadaluarsa. Tingkat mutu minyak dinyatakan oleh nilai  $\theta^2$  sebagai representatif jumlah relatif radikal bebas yang dihasilkan. Perubahan sudut polarisasi cahaya  $\theta$  diukur ketika sampel diimbasi oleh medan listrik luar yang dihasilkan melalui catu daya tegangan tinggi DC. Pada suhu kamar 28°C metode elektrooptis kelihatan mampu mendeteksi radikal bebas dan membedakan semua kondisi jenis minyak sawit. Selain berprospek sebagai indikator tunggal mutu minyak goreng, metode ini berpeluang pula sebagai evaluator mutu minyak goreng hewani, serta evaluator tingkat kehalalan bahan makan dari lemak.

Kata kunci: *elektrooptis*, mutu minyak goreng, sudut polarisasi, radikal bebas

## PENDAHULUAN

Sifat optis aktif (atau polarisasi alami) dan elektrooptis (atau polarisasi terimbas) sampai sejauh ini belum pernah dilakukan penelitian dan penyelidikan sebagai parameter mutu minyak goreng, sehingga membuka peluang dan tantangan untuk dikembangkan. Parameter polarisasi alami nampaknya cukup efektif untuk kendali awal mutu minyak goreng<sup>[1,2]</sup> bila dibandingkan dengan parameter-parameter syarat mutu minyak goreng

yang harus dipenuhi<sup>[3]</sup>. Pada parameter standar yang digunakan saat ini, selain jumlahnya banyak, juga metode yang dipakai sangat bervariasi. Sayangnya metode-metode yang digunakan hanya terbatas untuk menentukan secara simultan pada satu atau dua parameter saja<sup>[4]</sup>. Dalam referensi<sup>[5]</sup> telah disimpulkan bahwa metode-metode terkini semacam spektroskopi IR, FTIR dan lain-lain beserta kombinasinya, dapat digunakan secara akurat untuk menentukan mutu minyak. Namun demikian perangkat-perangkat tersebut merupakan peralatan yang mahal, kurang praktis karena beberapa menggunakan perlakuan awal, dan ternyata juga jumlah parameter yang diuji sangat terbatas. Pemanfaatan sifat polarisasi cahaya alami untuk uji awal mutu minyak dalam referensi<sup>[1,2]</sup> merupakan langkah terobosan untuk mengakomodasi beberapa parameter menjadi satu parameter uji saja. Perubahan polarisasi cahaya, selain mampu membedakan dan mengelompokkan berbagai jenis minyak, juga dapat secara langsung membedakan minyak baru, minyak lama, maupun minyak kadaluarsa tanpa perlakuan awal. Selain itu peralatan yang digunakan juga relatif cukup sederhana. Disinyalir bahwa polarisasi cahaya yang terjadi tidak hanya oleh sifat optis aktif molekul trigliserida, namun juga keberadaan asam lemak bebas (ALB), jumlah lemak jenuh, variasi terbentuknya dan terlepasnya molekul-molekul lain yang turut mendegradasi mutu minyak<sup>[1,2]</sup>. Oleh karenanya metode polarisasi cahaya alami nampak cukup memadai untuk kendali awal mutu minyak.

Ide untuk menggantikan banyak parameter uji minyak goreng standar, telah ditelaah dalam referensi-referensi<sup>[6-8]</sup>, yakni dengan polarisasi terimbas atau elektrooptis. Dengan parameter ini, hampir sebagian besar kontributor-kontributor penyebab degradasi mutu minyak dapat terakumulasi menjadi satu parameter tunggal berbentuk radikal bebas. Dengan demikian, cakupan parameter elektrooptis lebih besar dibandingkan dengan cakupan parameter polarisasi alami (atau optis aktif alami) minyak. Dalam referensi<sup>[4]</sup>, variabel penentu mutu minyak dinyatakan dengan fraksi intensitas transmisi melalui persamaan

$$\eta = \sin^2 \theta \quad (1)$$

dengan  $\theta$  adalah perubahan sudut polarisasi cahaya. Hasil penelitian pada referensi<sup>[4]</sup> menunjukkan bahwa nilai  $\eta$  hampir sebanding dengan jumlah radikal bebas untuk beda potensial di atas 5 kV. Untuk  $\theta$  yang relatif kecil ( $< 10^\circ$ ), digunakan pendekatan<sup>[5]</sup>:

$$\eta = \theta^2 \quad (2)$$

Terhadap kenaikan beda potensial  $V$  antar plat, secara umum masih dipenuhi oleh persamaan polinomial:

$$\eta = aV^3 + bV^2 + cV + d \quad (3)$$

dengan  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , dan  $d$  adalah konstan. Baik buruknya mutu minyak secara relatif mengacu pada Persamaan (2). Semakin besar nilai  $\eta$ , maka semakin berkurang mutu minyak, dan demikian sebaliknya.

Dalam penelitian ini hendak diteliti lagi metode elektrooptis sebagai pendeteksi radikal bebas, sehingga memungkinkan untuk evaluasi total mutu minyak goreng di masa datang.

## METODE

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian adalah polarisator dan analisator yang masing-masing berfungsi untuk memilih arah medan listrik cahaya dan menentukan perubahan polarisasinya  $\theta$ , plat logam sejajar dengan ukuran  $2 \times 6 \text{ cm}^2$  dan berjarak sekitar

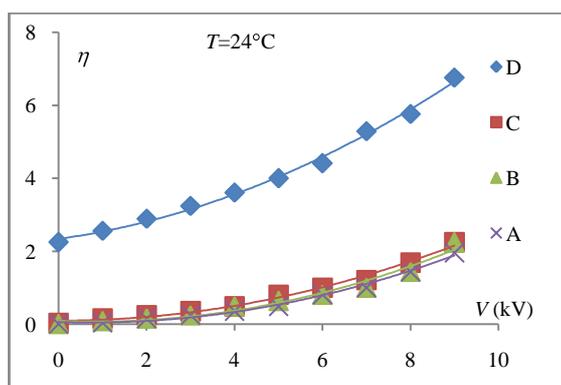
1 cm sebagai tempat untuk menginduksi sampel; Catu daya tegangan tinggi DC 0-10 kV sebagai pembangkit medan listrik statis; kuvet standar 5 ml sebagai wadah sampel dengan panjang lintasan optis sekitar 1 cm; serta sumber cahaya berupa lampu TL 23W.

Sampel yang digunakan adalah A minyak sawit layak pakai (tanggal kadaluarsa 5 Januari 2014), B minyak sawit layak pakai (tanggal kadaluarsa 27 Desember 2013), C minyak sawit kadaluarsa (11 Agustus 2012), dan minyak sawit D kadaluarsa (30 Okt 2008). Semua sampel berasal dari merk yang sama dan dianggap sudah standar sesuai dengan SNI. Pengukuran pada sampel dilakukan untuk dua nilai suhu kamar yakni 24°C dan 28°C.

Eksperimen dilakukan pada awal bulan November 2012, sehingga dalam rentang waktu tersebut minyak A dan B masih layak pakai ditinjau dari tanggal kadaluarsanya. Perubahan sifat elektrooptis akibat wadah kuvet sangat kecil dan diabaikan. Bertambahnya jumlah relatif radikal bebas direpresentasikan melalui nilai  $\eta$  menggunakan Persamaan (2) dari hasil tabulasi pengukuran perubahan sudut polarisasi  $\theta$  dalam interval 0 – 9 kV. Untuk validasi digunakan metode titrasi guna penentuan ALB dan penentuan angka peroksida.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Memperkuat hasil-hasil penelitian awal kami, hasil pengukuran jumlah relatif radikal bebas  $\eta$  secara umum bertambah terhadap besar medan listrik secara kuadratis. Gambar 1 menunjukkan hubungan antara  $\eta$  dan beda potensial antara plat  $V$  untuk sampel A, B, C, dan D dengan suhu sampel sekitar 24°C. Dalam referensi<sup>[4]</sup> dijelaskan bahwa kenaikan  $\eta$  secara polinomial tersebut diakibatkan oleh keberadaan awal radikal bebas dan terbentuknya radikal bebas saat dikenai medan luar.

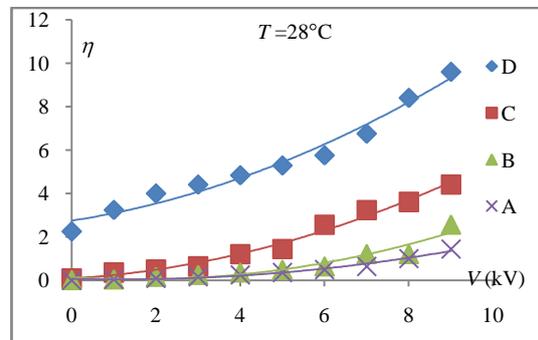


**Gambar 1.** (color online) Pertambahan jumlah radikal bebas relatif sebagai fungsi kenaikan beda potensial antar plat untuk minyak goreng sawit A, B, C, dan D pada suhu sampel 24°C.

Dari hasil-hasil penelitian ini perlu diperjelas lagi bahwa terbentuknya dipol listrik akibat akumulasi radikal bebas tentulah cukup kompleks dan tidak hanya akibat kedua alasan itu, melainkan juga interaksi radikal bebas dengan molekul di sekitarnya yang semakin menambah reaksi berantai, dan mengakumulasi secara keseluruhan dalam bentuk radikal bebas. Akumulasi radikal bebas inilah yang akhirnya membentuk dipol listrik dan akan memutar bidang polarisasi bila dikenai cahaya.

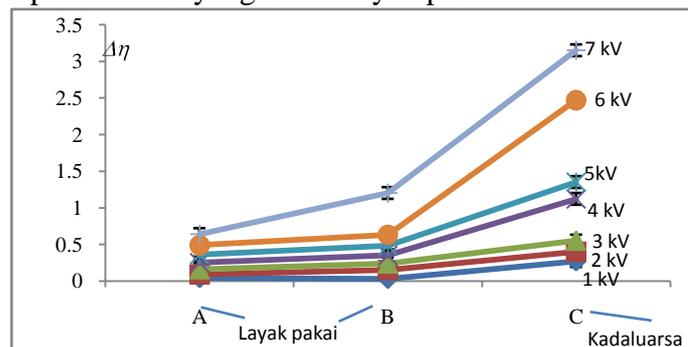
Pada Gambar 1, pada suhu sampel 24°C, ketiga grafik untuk sampel A, B, dan C hampir saling tumpang tindih. Namun untuk sampel D, terlihat jelas perbedaan nilai  $\eta$  yang cukup signifikan. Mengingat bahwa sampel D adalah minyak sawit yang sudah kadaluarsa lebih dari 4 tahun, terbentuknya radikal bebas akibat akumulasi yang terus menerus dari reaksi oksidasi mengakibatkan nilai  $\eta$  yang semakin besar. Sedangkan untuk sampel A, B, dan C

selang waktu kadaluarsanya masih relatif pendek. A dan B adalah sampel minyak yang masih layak pakai ditinjau dari segi tanggal kadaluarsanya, sedangkan sampel C sudah kadaluarsa beberapa bulan yang lalu. Namun sampel C menunjukkan nilai yang hampir sama dengan A dan B. Suhu  $24^{\circ}\text{C}$  merupakan suhu kritis *dimana* sampel minyak goreng dapat mengalami transisi padat dan cair. Oleh karenanya, pada suhu ini ikatan Van der Waals antara molekul relatif kuat yang menyebabkan reduksi jumlah radikal bebas yang terlepas. Hasil pengukuran pada gambar 2 berikut, untuk suhu sampel  $28^{\circ}\text{C}$ , ternyata memperjelas perbedaan dengan hasil untuk suhu  $24^{\circ}\text{C}$  pada Gambar 1.



**Gambar 2.** (color online) Pertambahan jumlah radikal bebas relatif sebagai fungsi kenaikan beda potensial antar plat untuk minyak goreng sawit A, B, C, dan D pada suhu sampel  $28^{\circ}\text{C}$ . Sampel C kadaluarsa mulai terbedakan untuk  $V$  di atas 4 kV, sedangkan antara sampel A dan B mulai terbedakan di atas 7 kV (diperlihatkan pula pada gambar 3).

Secara umum nilai  $\eta$  pada suhu sampel  $28^{\circ}\text{C}$  lebih tinggi (Gambar 2) daripada suhu  $24^{\circ}\text{C}$ . Terlebih lagi terlihat jelas bahwa sampel C dapat dibedakan dari sampel A dan B pada suhu  $28^{\circ}\text{C}$ . Gambar 3 menunjukkan perbedaan nilai rata-rata  $\Delta\eta$  sampel C yang kadaluarsa dengan sampel A dan B yang masih layak pakai.

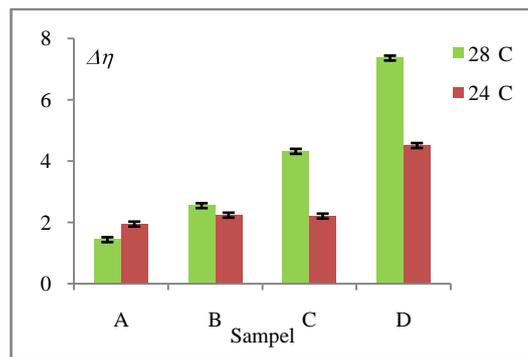


**Gambar 3.** (color online) Perbedaan nilai  $\Delta\eta$  untuk sampel A, B, dan C pada suhu sampel  $28^{\circ}\text{C}$ . Sampel C kadaluarsa dapat terbedakan untuk nilai rerata  $\Delta\eta$  di atas 4 kV, sedangkan antara sampel A dan B terbedakan untuk nilai  $\Delta\eta$  di atas 7 kV.

Pada gambar 3 untuk  $V$  rendah (0 sampai 3 kV) belum memberikan nilai yang signifikan antara sampel A, B, dan C. Namun setelah 4 kV, sampel C (kadaluarsa) mulai dapat dibedakan dari sampel layak pakai (A dan B). Demikian pula antara sampel A dan B mulai dapat dibedakan setelah  $V = 7$  kV.

Pada suhu kamar  $28^{\circ}\text{C}$  ini ikatan Van der Waals antar molekul relatif lebih lemah dari pada suhu  $24^{\circ}\text{C}$ , sehingga menyebabkan jumlah relatif radikal bebas yang dihasilkan ketika beda potensial  $V$  dinaikkan relatif semakin mudah. Penjelasan ini digunakan dengan

asumsi bahwa ikatan rata-rata yang paling dominan pada molekul minyak goreng adalah ikatan Van der Waals. Dalam hal ini nampak bahwa gaya Van der Waals sangat berperan penting dalam mempengaruhi tingkat-tingkat mutu minyak goreng akibat dihasilkannya radikal bebas. Bila dibandingkan dengan variasi suhu, kenaikan  $\eta$  terhadap suhu mutlak sampel hampir identik dengan kenaikan  $\eta$  terhadap beda potensial  $V$ . Dalam referensi<sup>[2]</sup>, kami telah melakukan variasi suhu dari interval 27°C sampai dengan 200°C dengan hasil tren yang cenderung linier. Peran eksposi suhu sampel dan medan listrik luar kelihatannya identik, yakni memperlemah gaya Van der Waals antar molekul. Hanya saja perlakuan suhu tinggi dapat merusak ikatan molekul, dibanding perlakuan medan listrik statis pada batas beberapa kV. Namun demikian kami belum melakukan penelitian secara *rigid* khusus untuk variasi suhu kamar dalam interval 22°C sampai dengan 30°C. Disinyalir bahwa pada interval suhu-suhu kamar ini, perubahan fase minyak baru dan kadaluarsa dapat dibedakan tanpa harus penggunaan suhu yang tinggi. Gambar 4 berikut menampilkan perbedaan nilai  $\Delta\eta$  pada suhu 24°C dan 28°C.



**Gambar 4.** (*color online*) Nilai rata-rata fraksi intensitas relatif  $\Delta\eta$ ,<sup>[2]</sup> dihitung berdasarkan rata-rata  $\theta^2$  dalam interval 0 – 9 kV, sebagai representasi jumlah relatif radikal bebas untuk sampel A, B, C, dan D pada suhu 24°C dan 28°C.

Pada Gambar 4, nampak bahwa suhu 28°C lebih efektif dibanding 24°C sehingga metode elektrooptis dapat membedakan mutu sampel masih layak (A, B) dengan sampel kadaluarsa (C), pada kasus ini, mulai  $V = 4$  kV. Untuk sampel A dan B sendiri mulai terbedakan pada  $V=7$  kV. Namun untuk minyak yang relatif masih baru, sampel A, terdapat sedikit anomali yakni nilai  $\Delta\eta$  pada suhu 28°C sedikit lebih kecil dari pada 24°C. Perbedaan ini sementara masih belum dapat dijelaskan secara detail. Kemungkinan bahwa kontributor-kontributor pendegradasi mutu minyak mempunyai batas ambang yang khas yang sangat berkaitan dengan gaya Van der Waals antar molekul. Bila nilai  $\eta$  berkaitan dengan jumlah relatif radikal bebas, maka gaya antar molekul rata-rata sangat dimungkinkan sebagai fungsi beberapa parameter, yang meliputi, jumlah lemak jenuh<sup>[4]</sup>, suhu kamar efektif, jenis gelombang cahaya yang digunakan, intensitas cahaya, beda potensial antar plat, dan kelembaban (tekanan udara sekitar). Pada penelitian ini variabel tekanan udara dianggap konstan. Kenaikan  $\eta$  terhadap  $V$  dan juga pergeseran fase dan nilai  $\Delta\eta$  dari sampel A (minyak baru), sampel B (tidak baru namun masih layak sesuai batas kadaluarsa), sampel C (minyak kadaluarsa lebih dari 6 bulan), dan sampel D (minyak kadaluarsa lebih dari 4 tahun) memungkinkan untuk mengganti parameter radikal bebas dengan energi ikat rata-rata dalam molekul minyak. Terlepasnya satu atau lebih molekul dari molekul trigliserida pada metode elektrooptis paling dominan dipengaruhi oleh sumber cahaya dan medan listrik statis yang dikenakan ke sampel. Merujuk pada energi disosiasi dari molekul, maka kontribusi energi foton dan medan listrik luar nampak berperan cukup efektif secara simultan. Sehingga, gaya Van der Waals yang mengikat

molekul minyak, dapat diukur melalui energi ikat rata-rata atau energi disosiasi rata-rata sebagai pengganti radikal bebas.

Kami membandingkan juga nilai  $\Delta\eta$  dengan metode standar konvensional yakni titrasi untuk penentuan ALB, dan titrasi untuk penentuan bilangan peroksida sebagai perwakilan radikal bebas reaktif, yang disajikan pada tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Perbandingan nilai  $\Delta\eta$  dari metode elektrooptis ( $T=28^\circ\text{C}$ ) dengan nilai ALB dan bilangan peroksida dari metode-metode standar konvensional untuk sampel A, B, C, dan D.

Sampel	Tanggal kadaluarsa	Metode titrasi		Metode Elektrooptis	
		ALB (%)	Bil Peroksida (meq/kg)	$(\Delta\eta)$	$\eta_{\text{awal}} (V=0)$
A	5-1-2014	0,04	0,38	1,44	0,00
B	27-12-2013	0,07	0,87	2,55	0,01
C	11-8-2012	0,19	1,38	4,32	0,09
D	28-10-2008	1,38	2,30	7,36	2,25

Dari tabel, nilai ALB dari sampel A sampai dengan D naik secara drastis dan hampir identik dengan perubahan polarisasi awal tanpa pengaruh medan listrik,  $\eta_{\text{awal}}$ . Sejah ini nilai  $\eta$  saat  $V = 0$  tidak lain adalah kondisi polarisasi alami, selain dipengaruhi oleh jumlah ALB, juga disinyalir tergantung jumlah asam lemak jenuh.

Sedangkan kenaikan jumlah bilangan peroksida dari sampel A sampai dengan D ternyata juga sebanding dengan kenaikan relatif nilai  $\Delta\eta$  rata-rata sekitar 40%. Hal ini sesuai dengan pembahasan sebelumnya bahwa peroksida merupakan radikal reaktif, dan bila berinteraksi dengan molekul lain cenderung akan memperbesar jumlah molekul-molekul bebas, atau setara dengan melemahnya gaya ikat Van der Waals. Kenaikan  $\Delta\eta$  semata-mata tidak hanya oleh ALB atau radikal reaktif, namun juga molekul dan atom bebas lain. Dalam parameter tunggal, partikel-partikel bebas tersebut kami sebut sebagai radikal bebas yang secara umum juga berinteraksi dengan molekul trigliserida. Bila interaksi-interaksi tersebut secara simultan dengan pemberian medan listrik luar dan gelombang elektromagnetik, maka kebolehdian melemahnya gaya Van der Waals semakin besar. Dengan memberikan medan listrik luar, molekul-molekul dan atom-atom bebas akan terimbas membentuk dipol listrik dan selanjutnya akan memutar bidang polarisasi bila berinteraksi dengan cahaya.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian dengan metode elektrooptis menunjukkan bahwa kontributor-kontributor pendegradasi mutu minyak goreng dapat terwakili oleh parameter tunggal yakni jumlah relatif radikal bebas,  $\eta$ . Memperkuat hasil-hasil riset kami sebelumnya, nilai tersebut cukup akurat dengan beberapa kelebihan dari metode standar konvensional lainnya adalah peralatan yang relatif sederhana, tanpa perlakuan awal, serta tidak memerlukan waktu uji yang relatif lama. Oleh karenanya, metode elektrooptis dapat diusulkan sebagai pengganti parameter uji tunggal, setidaknya di sini dapat melengkapi metode-metode yang lain. Untuk masa datang, metode ini berprospek pula sebagai evaluator mutu minyak goreng hewani, mengingat kondisi awal yang cukup peka terhadap komposisi lemak jenuh dan ALB, serta berprospek sebagai evaluator tingkat kehalalan bahan makan dari lemak.

Beberapa hal yang masih jadi kendala adalah istilah radikal bebas sebagai parameter uji perlu diperbarui, agar tidak rancu dengan radikal bebas reaktif. Penyelidikan nilai  $\eta$  pada

interval suhu kamar dalam rentang 20°C sampai dengan 30°C juga perlu dilakukan secara *rigid* sehingga diperoleh suhu sampel optimal atau efektif.

Selain itu, untuk realisasi pembuatan prototipe alat elektrooptik sederhana masih perlu dilakukan sehingga ke depan diperoleh hasil pengukuran yang lebih akurat, lebih praktis, dan *portable* dapat diaplikasikan ke masyarakat.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh DIKTI melalui hibah penelitian Strategis Nasional tahun 2012. Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksana dan kelancaran penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- 1 Syifa, A. Y., Nisa, F., Irvani, D., Murni, S, dan Firdausi, K. S. 2013. Pemanfaatan Sifat Optis Aktif Alami Untuk Kendali Awal Mutu Minyak Goreng Nabati, *Berkala Fisika*, ISSN: 1410-9662, Vol 16, No. 2.
- 2 Firdausi, K. S., Suryono, Priyono, Amatasari, dan Murni, R. 2013. Evaluasi Degradasi Mutu Minyak Goreng Kemasan Berdasarkan Polarisasi Cahaya dengan Variasi Suhu Sampel, *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, ISBN: 978-979-028-528-6, UNESA Surabaya, pp. 56–59.
- 3 SNI, Minyak Goreng, Badan Standardisasi Indonesia, SNI 01-3741-2002.
- 4 Firdausi, K. S., Triyana K., dan Susan A. I. 2012. An Improvement of New Test Method for Determination of Vegetable Oil Quality Based on Electrooptics Parameter, *Berkala Fisika*, ISSN: 1410-9662, Vol 15 No. 3.
- 5 Firdausi, K. S., Sugito, H., Amatasri, R., Istiyawan, W., dan Murni, S. 2012. Elektrooptis Sebagai Metode yang Handal untuk Uji Alternatif Minyak Goreng, *Prosiding Seminar Nasional MIPA*, UNNES, pp. 64-69.
- 6 Widyastuti, N., Azam, M., dan Firdausi, K. S. 2009. Studi Sifat Elektrooptis pada Minyak Goreng, *Berkala Fisika*, ISSN: 1410-9662, Vol. 12, No. 2, pp. 63-68.
- 7 Firdausi, K. S., Susan A. I., dan Setia B. W. 2010. Sifat Elektrooptis pada Minyak Goreng, *Prosiding Seminar Fisika Nasional*, ISBN: 978-602-97835-0-6, UNNES, PP. FM109-1 – FM109-3.
- 8 Firdausi, K. S., dan Susan A. I. 2011. Penentuan Nilai Polarisabilitas Taklinier pada Molekul Minyak Kelapa Sawit menggunakan Sifat Elektrooptis, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV Himpunan Fisika Indonesia Jateng – DIY*, ISSN 0853-0823, pp. 200-202.