

STUDI PENGGUNAAN METIL ESTER MINYAK SAWIT SEBAGAI MINYAK ISOLASI PERALATAN LISTRIK

Abdul Rajab⁽¹⁾, Andi Pawawoi⁽¹⁾, Aminudin Sulaeman⁽²⁾, Didin Mujahidin⁽²⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas teknik
Universitas Andalas

⁽²⁾Jurusan Kimia, Fakultas MIPA
Institut Tehnologi Bandung

Abstrak—Makalah ini membahas beberapa parameter metil ester minyak sawit sebagai minyak isolasi. Destilasi dilakukan untuk mendapatkan komposisi minyak yang paling mungkin digunakan sebagai kandidat minyak isolasi. Minyak asli, hasil destilasi dan residu dari destilasi kemudian diuji beberapa parameternya seperti tegangan tembus, faktor disipasi, konstanta dielektrik, viskositas dan stabilitas oksidasi. Hasilnya menunjukkan bahwa faktor disipasi dan viskositas metil ester minyak sawit memenuhi standar sebagai minyak isolasi. Sayangnya tegangan tembus dan stabilitas oksidasinya termasuk kurang memadai. Namun demikian, tegangan tembusnya mungkin bisa ditolerir karena nilainya lebih baik dibanding minyak mineral. Konstanta dielektrik minyak yang lebih tinggi dibanding minyak mineral termasuk menguntungkan untuk keseragaman medan yang lebih baik saat penggunaan bersama dengan isolasi padat.

Kata Kunci : Metil ester, tegangan tembus, faktor disipasi, konstanta dielektrik, viskositas, stabilitas oksidasi

Abstract—This paper discusses experimental results on some parameters of palm methyl ester as insulating oil. Distillations are firstly made to obtained the composition of oil that provide the optimal compromise among measured parameters. Breakdown voltage, dissipation factor, dielectric constant, viscosity and oxidation stability were then tested on original, distilled, and distillation residual oils. The results showed that the dissipation factor and viscosity of distilled palm methyl ester comply with the standard spesification for natural ester to be used as insulating oil. Sadly, the breakdown voltage and oxidation stability of oils do not fulfill the standard. However, the lower breakdown voltage of oils seem to be tolerable as their value are still higher then that of mineral oil. Dielectric constant of oils which were higher then that of mineral oil is an advantage when the oils will be used in combination with solid insulation for more uniformly field reason.

Key words : Methyl ester, breakdown voltage, dissipation factor, dielectric constant, viscosity, oxidation stability.

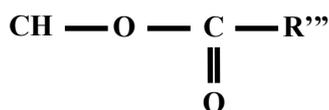
I. PENDAHULUAN

Sejak tahun 1990-an penelitian tentang minyak isolasi transformator dari bahan nabati banyak menarik perhatian para ahli dan praktisi. Daya tarik utama dari minyak nabati untuk digunakan dalam peralatan listrik seperti transformator adalah dampak minyak terhadap lingkungan jika terjadi kebocoran atau ketika minyak sisa pakai harus dibuang. Selain itu, minyak nabati memiliki sejumlah keunggulan, diantaranya: mudah terbiodegradasi, tidak

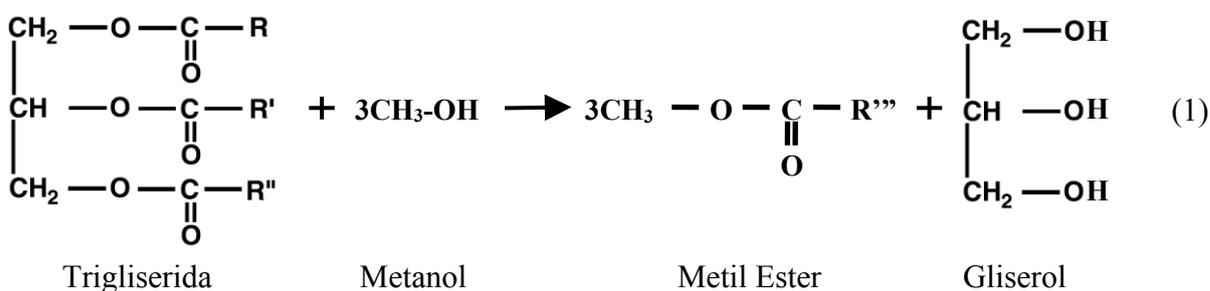
beracun, titik kilat dan titik bakar yang tinggi, karakteristik termal yang baik dan mudah diperoleh sehingga ketersediaannya terjamin (Claiborne, 1999; Oommen dan Claiborne, 2000). Pemakaian minyak nabati juga berpeluang memperpanjang umur pakai isolasi kertas dalam transformator, dan juga transformator itu sendiri, oleh karena laju penuaan isolasi kertas dalam minyak nabati lebih lambat dibanding minyak mineral. (McShane dkk., 2001).

rantai asam lemak minyak dalam struktur trigliserida (struktur kimia RBDPO Olein adalah trigliserida).

Makalah ini menyajikan hasil pengujian beberapa parameter MEMIS seperti tegangan tembus, faktor disipasi, konstanta dielektrik, viskositas dan stabilitas oksidasi. Beberapa jenis sampel diperoleh melalui proses destilasi. Hasil-hasil pengujian terhadap sampel-sampel tersebut dianalisis dan diperkuat dengan hasil pengujian GCMS untuk mengetahui perubahan komposisi MEMIS akibat destilasi.



Gambar 2. Struktur kimia metil ester; R''' adalah rantai-rantai asam lemak yang bisa berupa asam lemak jenuh maupun tak jenuh.



3.2. Destilasi

Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan destilasi pada tiga rentang temperatur, masing-masing temperatur di bawah 220 °C, temperatur di bawah 260 °C dan temperatur di bawah 300 °C.

Gambar 3 menunjukkan peralatan yang digunakan untuk proses destilasi. Labu destilasi yang berisi Metil Ester Minyak Sawit sebanyak 1 liter dipanaskan pada temperatur maksimum 220 °C. Uap yang terbentuk pada temperatur 220 °C didinginkan dalam tabung pendingin, lalu dialirkan untuk kemudian ditampung dalam gelas ukur. Pendinginan dilakukan melalui sirkulasi air yang dipompakan dari dalam ember masuk ke dalam tabung pendingin dan dikembalikan ke dalam ember. Prosedur yang sama dilakukan untuk destilasi pada rentang temperatur 220 °C < T ≤ 260 °C dan rentang temperatur 260 °C < T ≤ 300 °C.

III. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan meliputi penyiapan sampel, destilasi, pengujian-pengujian dan analisis hasil pengujian.

3.1. Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah metil ester minyak sawit. Metil ester diperoleh melalui reaksi esterifikasi minyak sawit. Esterifikasi merupakan reaksi antara trigliserida dengan metanol berdasarkan persamaan (1).

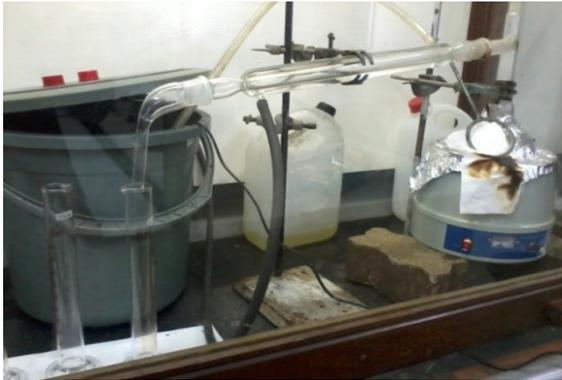
Minyak mineral juga diuji dan digunakan sebagai pembanding jika parameter yang diuji tidak tercantum dalam daftar spesifikasi minyak nabati untuk digunakan sebagai minyak isolasi berdasarkan standar ASTM D6781 (*the spesification standard for Vegetable (natural ester) oil used in Electrical apparatus*).

Dengan demikian diperoleh lima macam sampel metil ester minyak sawit, yaitu:

- a. Sampel Metil Ester kondisi normal
- b. Sampel Metil Ester hasil destilasi untuk temperatur (T) ≤ 220 °C.
- c. Sampel Metil Ester hasil destilasi untuk 220 °C < T ≤ 260 °C.
- d. Sampel Metil Ester hasil destilasi untuk 260 °C < T ≤ 300 °C.
- e. Sampel Metil Ester residu destilasi.

3.3. Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus dilakukan berdasarkan standar ASTM D 1816. Pasangan elektroda yang digunakan adalah jenis VDE dengan jarak antar elektroda 2 mm. Tegangan AC diterapkan terhadap pasangan elektroda dengan laju kenaikan 500 kV/det hingga terjadi tembus pada sampel minyak.



Gambar 3. Peralatan destilasi.

3.4. Pengujian Faktor Disipasi dan Konstanta Dielektrik

Pengujian faktor disipasi dan Konstanta dielektrik dilakukan berdasarkan standar IEC-247. Sampel minyak ditempatkan dalam sebuah sel uji berupa pasangan elektroda konsentris dengan celah antara elektroda luar dan elektroda dalam berjarak 2 mm. Pengujian dilakukan berdasarkan prinsip kerja Jembatan Schering. Sel uji berisi sampel diletakkan pada salah satu dari dua lengan sisi tegangan tinggi Jembatan Schering. Pada lengan tegangan tinggi yang lain ditempatkan kapasitor standar (C_s). Tegangan AC sekitar 1 kV diterapkan terhadap pasangan elektroda sehingga medan listrik yang dialami oleh minyak sampel tidak melebihi nilai 1,2 kV/mm.

Nilai faktor disipasi sampel diperoleh pada kondisi setimbang jembatan schering. Kesetimbangan diperoleh dengan mengatur tahanan dan kapasitor variabel pada lengan bagian lain dari Jembatan Schering.

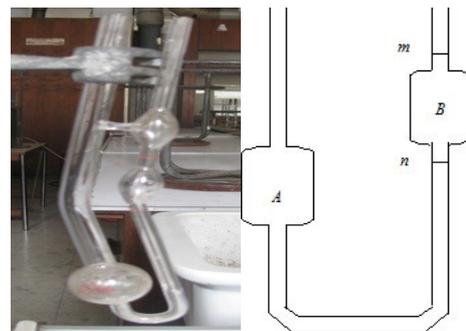
3.5. Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan viskometer (Gambar 4a). Temperatur sampel saat diuji dikontrol dengan mengontrol temperatur cairan *bath dengan thermostat*. Sampel minyak sebanyak sekitar 10 – 15 ml dimasukkan ke dalam viskometer sedemikian rupa sehingga jika sampel minyak dibawa ke reservoir B dan permukaannya melewati garis m, reservoir A masih terisi sekitar setengahnya (Gambar 4b). Sampel kemudian dibiarkan mengalir dengan bantuan gravitasi. Viskositas sampel minyak ditentukan dengan membandingkan waktu alir (dari m ke n, Gambar 4b) dan kerapatan massanya dengan waktu alir dan kerapatan massa air suling, yang

dinyatakan dengan persamaan (2) seperti di bawah ini:

$$\eta = \eta_0 \frac{t\rho}{t_0\rho_0} \quad (2)$$

Di mana η adalah viskositas minyak sampel, η_0 adalah viskositas air suling, t adalah waktu alir minyak sampel, t_0 adalah waktu alir air suling, ρ adalah kerapatan massa minyak sampel, dan ρ_0 adalah kerapatan massa air suling.



Gambar 4. (a) Viskometer Oswald untuk mengukur viskositas minyak, (b) Rincian posisi sampel minyak dalam viscometer

3.6. Pengujian Stabilitas Oksidasi

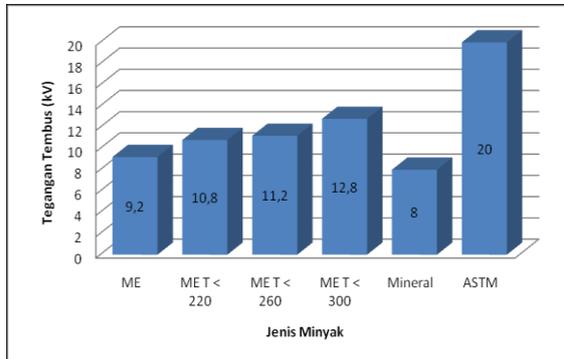
Pengujian stabilitas oksidasi dilakukan dengan Rancimat 873 berdasarkan metode EN 14112. Metode pengujian ini mengukur waktu induksi oksidasi (*Oxidation Induction Time*), yaitu waktu yang diperlukan oleh sampel minyak hingga mengalami oksidasi sekunder, yaitu terbentuknya senyawa-senyawa organik mudah terbakar dan asam-asam karboksilat molekuler rendah yang ditandai dengan meningkatnya konduktivitas minyak. Pengujian dilakukan dengan mengirim sampel minyak ke Laboratorium Pengembangan Proses dan Unit Biodiesel, LEMIGAS.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tegangan Tembus

Hasil pengujian tegangan tembus ditunjukkan oleh diagram batang dalam gambar 5. Tampak pada gambar bahwa semua sampel metil ester minyak sawit memiliki tegangan tembus di bawah harga standar tegangan tembus minyak nabati untuk penggunaan sebagai minyak isolasi pada peralatan listrik (ASTM D 6781). Namun demikian, hasil

pengujian tegangan tembus ini perlu diinvestigasi lebih lanjut oleh karena tegangan tembus minyak mineral juga memiliki tegangan tembus di bawah nilai standar, lebih rendah dari tegangan tembus semua sampel metil ester minyak sawit.



Gambar 5. Tegangan tembus berbagai jenis sampel dan perbandingan dengan standar spesifikasi berdasarkan ASTM D 6871.

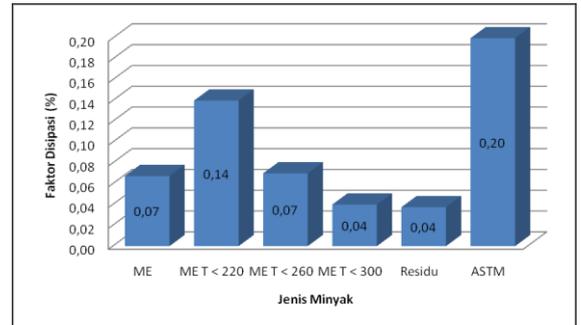
Hasil lain yang menarik adalah destilasi menyebabkan tegangan tembus minyak menjadi lebih tinggi dan semakin membesar dengan naiknya temperatur destilasi. Padahal patut diduga bahwa semakin tinggi temperatur destilasi semakin besar peluang minyak mengalami degradasi, yang hasil degradasinya berpeluang memperburuk tegangan tembus minyak.

4.2. Faktor Dissipasi

Hasil pengujian faktor disipasi ditunjukkan oleh diagram batang dalam gambar 6. Dapat di lihat pada gambar 5 bahwa semua sampel metil ester minyak sawit memiliki faktor disipasi yang lebih rendah dari harga standar faktor disipasi minyak nabati untuk penggunaan sebagai minyak isolasi pada peralatan listrik (ASTM D 6781). Hasil ini sesuai dengan yang diharapkan. Semakin rendah nilai faktor disipasi sebuah minyak semakin rendah rugi-rugi dielektrik yang timbul dalam minyak saat digunakan sebagai minyak isolasi.

Hal lain yang menarik dari hasil pengujian sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 6 adalah bahwa dengan mengabaikan sampel pada kondisi normal, faktor disipasi metil ester minyak sawit semakin rendah jika

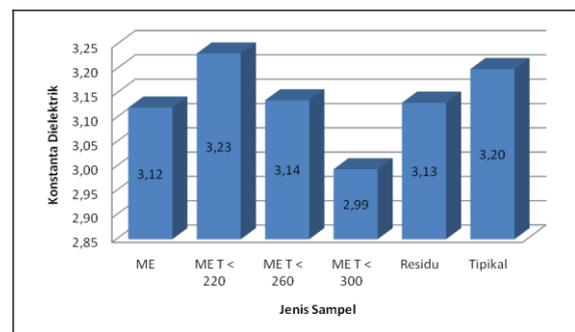
minyak didestilasi pada temperatur yang semakin tinggi.



Gambar 6. Faktor disipasi berbagai jenis sampel dan perbandingan dengan standar spesifikasi berdasarkan ASTM D 6871.

4.3. Konstanta Dielektrik

Hasil pengujian konstanta dielektrik terhadap metil ester minyak sawit pada berbagai level temperatur ditunjukkan dalam gambar 7. Dapat dilihat dari gambar 7 bahwa konstanta dielektrik metil ester minyak sawit hasil destilasi turun dengan naiknya temperatur destilasi. Sampel hasil destilasi pada temperatur maksimum 220 °C menunjukkan nilai konstanta dielektrik yang paling mendekati nilai tipikal konstanta dielektrik minyak nabati. ASTM D 6871 tidak mematok harga khusus yang harus dipenuhi oleh sebuah minyak untuk dapat digunakan sebagai minyak isolasi pada berbagai peralatan listrik. Namun demikian, konstanta dielektrik yang lebih besar akan memberikan tingkat keseragaman medan lebih baik saat digunakan bersamaan dengan isolasi kertas, kasus yang umum terjadi pada berbagai peralatan listrik tegangan tinggi.

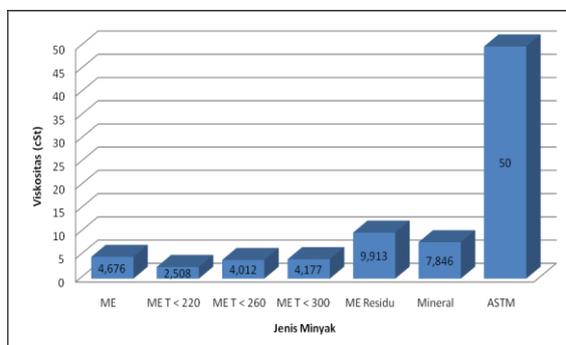


Gambar 7. Konstanta dielektrik berbagai jenis sampel dan perbandingan dengan nilai tipikal konstanta dielektrik minyak nabati.

Perbandingan antara gambar 6 dan gambar 7 menunjukkan bahwa tren perubahan konstanta dielektrik terhadap temperatur destilasi sedikit berbeda dengan tren perubahan faktor disipasi, ketika memasukkan residu sebagai sampel yang akan terdestilasi jika temperatur destilasi terus ditingkatkan. Gambar 6 menunjukkan bahwa faktor disipasi sampel residu ikut dalam tren umum dimana faktor disipasi mengecil dengan naiknya temperatur destilasi. Gambar 7, di lain pihak, menunjukkan bahwa konstanta dielektrik sampel residu tidak mengikuti tren penurunan konstanta dielektrik dengan kenaikan temperatur destilasi. Konstanta dielektrik sampel residu justru secara signifikan lebih besar dibandingkan dengan konstanta dielektrik sampel hasil destilasi pada temperatur maksimum 300 °C.

4.4. Viskositas

Hasil pengujian viskositas terhadap berbagai jenis sampel metil ester minyak sawit ditunjukkan dalam gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bahwa viskositas semua sampel metil ester minyak sawit jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai spesifikasi minyak nabati untuk penggunaan sebagai minyak isolasi berdasarkan standar ASTM D 6871. Hasil ini sesuai dengan yang diharapkan oleh karena semakin kecil viskositas sebuah minyak akan semakin memudahkan transfer panas, yang berarti semakin bagus dalam berfungsi sebagai media pendingin jika digunakan pada berbagai peralatan listrik tegangan tinggi.



Gambar 8. Viskositas berbagai jenis sampel dan perbandingan dengan standar spesifikasi berdasarkan ASTM D 6871.

Hasil lain yang menarik dari gambar 8 adalah bahwa dengan mengabaikan sampel

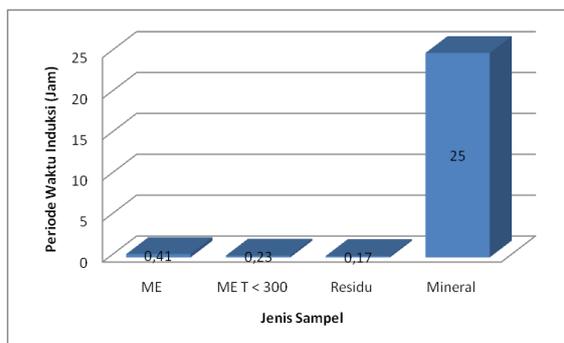
pada kondisi normal dan dengan menganggap bahwa sampel residu akan ikut terdestilasi jika temperatur destilasi terus ditingkatkan, viskositas minyak metil ester hasil destilasi meningkat dengan naiknya temperatur destilasi.

4.5. Stabilitas Oksidasi

ASTM D 6781 tidak menunjukkan prosedur standar pengujian stabilitas oksidasi dan juga tidak menetapkan spesifikasi standar. Namun demikian, jika suatu minyak akan digunakan sebagai minyak isolasi dalam berbagai peralatan listrik tegangan tinggi, maka minyak harus cukup tangguh terhadap reaksi oksidasi. Dalam penelitian ini pengujian stabilitas oksidasi dilakukan dengan mengukur waktu induksi, dan hasilnya dibandingkan dengan waktu induksi minyak isolasi jenis mineral, karena minyak isolasi jenis mineral inilah yang paling banyak digunakan sebagai minyak isolasi pada berbagai peralatan listrik tegangan tinggi hingga saat ini.

Hasil pengujian waktu induksi berbagai jenis sampel minyak ditunjukkan pada gambar 9. Tampak pada gambar 9 bahwa waktu induksi semua sampel metil ester minyak sawit jauh di bawah waktu induksi minyak mineral. Hal ini mengindikasikan bahwa ketahanan semua sampel metil ester minyak sawit terhadap oksidasi jauh dibawah ketahanan terhadap oksidasi dari minyak isolasi yang selama ini digunakan secara luas. Sampel metil ester kondisi normal, yang merupakan sampel dengan dengan tingkat ketahanan oksidasi paling tinggi diantara semua sampel, bahkan hanya memiliki periode induksi 60 kali lebih rendah dibandingkan dengan waktu induksi minyak mineral.

Pengujian stabilitas oksidasi dengan mengukur waktu induksi sampel minyak menunjukkan hasil yang kurang menggembirakan dalam upaya penggunaan metil ester minyak sawit sebagai minyak isolasi. Namun demikian, pengujian dengan metode yang sama dan membandingkan hasilnya dengan minyak nabati lain yang telah dinyatakan cocok digunakan sebagai minyak isolasi perlu dilakukan sebelum menyimpulkan bahwa metil ester minyak sawit tidak layak digunakan sebagai minyak isolasi.



Gambar 9. Waktu induksi berbagai jenis sampel metil ester minyak sawit dan perbandingan dengan minyak isolasi jenis mineral.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pada pembahasan di atas maka beberapa kesimpulan dapat diambil sebagai berikut:

1. Faktor disipasi dan viskositas metil ester minyak sawit untuk semua kondisi memenuhi syarat sebagai minyak isolasi, sedangkan tegangan tembus kurang memuaskan. Namun demikian tegangan tembus minyak untuk semua kondisi lebih baik dari tegangan tembus minyak mineral.
2. Destilasi menyebabkan kenaikan tegangan tembus, faktor disipasi dan konstanta dielektrik. Kenaikan temperatur destilasi menyebabkan tegangan tembus terus naik, namun menyebabkan faktor disipasi dan faktor disipasi jadi turun.
3. Destilasi menyebabkan viskositas metil ester minyak sawit turun, tapi kemudian naik dengan naiknya temperatur destilasi.
4. Stabilitas oksidasi metil ester minyak sawit untuk semua kondisi lebih rendah dari stabilitas oksidasi minyak mineral.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada LPPM Unand atas bantuan pembiayaan melalui Program Hibah Pekerti berdasarkan kontrak No.016/PL/SPK/PNP/FT-Unand/2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Rajab dkk. "Properties of RBDPO Oleum as A Candidate of Palm Based-Transformer Insulating Liquid", 2009

International Conference on Electrical Engineering and Informatics, Selangor, Malaysia, (2009)

- [2] Abdul Rajab, Aminudin Sulaeman, Sudaryatno Sudirham dan Suwarno, *A Comparison of Dielectric Properties of Palm Oil with Mineral and Synthetic Types Insulating Liquid under Temperature Variation*, ITB Journal of Engineering Science, **43**, 189-206 (2011).
- [3] ASTM D6871 "Standard Specification for Natural (Vegetable Oil) Ester Fluids Used in Electrical Apparatus" Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.03, (2003)
- [4] Claiborne, C.C., Wals, E.J. dan Oommen T.V., *An Agricultrally Based Biodegradable Dielectric Fluid*, Proceeding of IEEE/PES T&D Conference, New Orleans, 11-16 (1999).
- [5] McShane, C.P., dkk., *Aging of Paper Insulation in Natural Ester Dielectric Fluid*, 2001 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, Atlanta GA (2001).
- [6] Oommen T.V. dkk.: *Biodegradable Electrical Insulation Fluids*, Electrical Insulating Conference, Chicago, (1997).
- [7] Oommen, T.V., dan Claiborne. C.C., *A New Vegetable Oil Based Transformer Fluid : Development and Verification*, Proceeding of Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 876-881 (2000).

Biodata Penulis

Abdul Rajab, Penulis menyelesaikan pendidikan S1 tahun 1996 di Universitas Hasanuddin dan menyelesaikan pendidikan S2 di ITB tahun 2001. Saat ini penulis terdaftar sebagai dosen Teknik Elektro Universitas Andalas Padang. Minat penelitian adalah minyak isolasi pada peralatan listrik tegangan tinggi, monitoring dan diagnosis sistem isolasi.