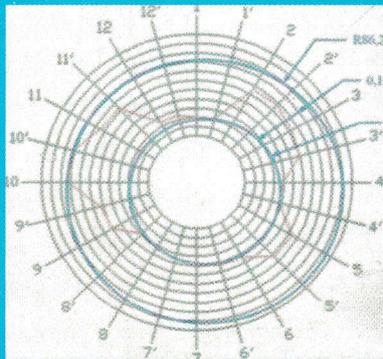


Volume 19 Nomor 2 Oktober 2012

ISSN : 0854-8471

TEKNIKA

Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Andalas



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS PADANG**

Jurnal TeknikA
Volume 19 Nomor 2 Oktober 2012
ISSN: 0854-8471

Penerbit:
 Fakultas Teknik – Universitas
 Andalas

Penasehat
 Rektor Universitas Andalas
 Dekan Fakultas Teknik
 Universitas Andalas

Tim Reviewer Internal
 Dr. Adjar Pratoto
 Dr. Rika Ampuh Hadiguna
 Syafii, PhD
 Dr. Eng Rendy Thamrin
 Dr. Eng. Slamet Raharjo

Pimpinan Redaksi
 Adek Tasri, PhD

Wakil Pimpinan Redaksi
 Titi Kurniati, MT

Redaksi Pelaksana
 Jonrinaldi, PhD

Sekretaris Redaksi
 Merry Nursanti, S.Si

Staf Redaksi
 Ir. Afriyenis, M.Si
 Nursyam, SH
 Ashari Darmawan, Amd
 Masrifah Aini, SS

Alamat Redaksi
 Fakultas Teknik Universitas
 Andalas
 Kampus Limau Manis
 Padang, 25163
 Telepon: (0751)-72564
 Fax: (0751)-72566
 Email: teknika@ft.unand.ac.id

Daftar Isi.....	i
Kata Pengantar Dekan Fakultas Teknik.....	ii
Pengantar Redaksi.....	iii
Perbandingan Tegangan Tembus Minyak Sawit dan Minyak Isolasi Jenis Mineral Pasca Penuaan Termal	
Abdul Rajab	1
Studi Stabilitas Peralihan Multimesin pada Sistem Tenaga Listrik dengan Metode Euler (Studi Kasus: PT. PLN P3B Sumatera)	
Heru Dibyo Laksono, Maherianto	6
Aplikasi Sistem Informasi Geografis untuk Analisis Ganti Rugi Tanah dalam Perencanaan dan Pengembangan Jalan	
Masril Syukur	16
Komputasi Aliran Daya Menggunakan Prosesor Multi-Core untuk Analisa Sistem Tenaga Listrik Skala Besar	
Syafii	23
Simulasi Koefisien Gesek untuk <i>Mixed Lubrication</i> Model <i>Point Contact</i> dengan Kurva Stribeck	
Dedison Gasni	28
Review on Information Technology Competencies of Indonesian Manufacturing Firms	
Alizar Hasan	43
Penghitungan Kekuatan Buckling Kolom Baja Akibat Beban Tekan Aksial dengan Melibatkan Pengaruh Keberadaan Cacat Geometri dan Beban Essentrisitas Secara Bersamaan	
Eka Satria, Satria Rizki, Mulyadi Bur	51
Performansi <i>Prototype Dye-Sensitized Solar Cell</i> (Dye Sensitizer Kulit Manggis) dengan Hubungan Variasi Hambatan terhadap Efisiensi Konversi Energi Listrik dan Perbandingan terhadap Sel Surya Konvensional	
Webri Vandri, Iskandar R	60
Rancang Bangun Alat Penetas Telur Semi Otomatis Kapasitas Industri Rumah Tangga	
Endriyani, Daniel Azhari	69

PERBANDINGAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK SAWIT DAN MINYAK ISOLASI JENIS MINERAL PASCA PENUAAN TERMAL

Abdul Rajab

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Andalas

ABSTRAK

Dalam dua dekade terakhir minyak isolasi dari bahan nabati, termasuk minyak sawit, menjadi menjadi perhatian para peneliti. Jika ingin digunakan sebagai minyak isolasi di masa depan, maka tegangan tembus minyak sawit akibat tekanan termal perlu dievaluasi. Makalah ini memaparkan karakteristik dielektrik minyak sawit pasca penuaan termal atau pemanasan. Minyak dipanasi selama 1 hari hingga 7 hari dalam sebuah oven listrik sebelum tegangan tembusnya diuji. Kadar air dan Viskositas minyak juga turut diuji untuk mengantisipasi kemungkinan adanya degradasi molekul minyak pasca penuaan. Perlakuan dan pengujian dilakukan mengacu pada standar IEC-61125 dan IEC-156. Hasilnya menunjukkan bahwa tegangan tembus minyak sawit meningkat tajam pada satu hari pertama, lalu turun pelan pada sisa hari pemanasan, sedangkan tegangan tembus minyak mineral cenderung terus turun secara perlahan. Perubahan kadar air dan viskositas ditengarai sebagai penyebab perubahan tegangan tembus kedua minyak.

Kata Kunci: Penuaan termal, tegangan tembus, viskositas, kadar air

I. PENDAHULUAN

Minyak isolasi digunakan dalam transformator (dan peralatan listrik lainnya) untuk memisahkan secara listrik bagian-bagian yang berbeda tegangan. Disamping itu, minyak isolasi juga berfungsi sebagai media pendingin yang mentransfer panas yang timbul dalam inti dan belitan-belitan transformator ke lingkungan.

Dalam dua dekade terakhir minyak isolasi ramah lingkungan menjadi menjadi perhatian para peneliti material isolasi. Minyak transformator harus ramah lingkungan dalam arti tidak beracun dan dapat terbiodegradasi secara alami baik ketika terjadi kebocoran atau ketika minyak dibuang. Selain itu, minyak harus stabil, inert, serta memiliki sifat dielektrik dan sifat termal yang bagus. Salah satu bahan yang berpotensi dapat memenuhi sifat-sifat tersebut adalah senyawa ester alami dari minyak nabati dengan 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). Selain itu, laju penuaan isolasi kertas dalam minyak nabati lebih lambat dibanding minyak mineral, sehingga usia pakai isolasi kertas lebih lama (McShane dkk., 2001).

Mengingat faktor ketersediaan yang melimpah di Indonesia, maka minyak sawit dikaji kelayakannya menjadi minyak isolasi alternatif yang ramah lingkungan. Dibandingkan dengan sumber minyak nabati lain, sawit adalah yang paling tinggi kadar minyaknya. Produktivitas minyak kelapa sawit mencapai 5.950 liter/Ha/tahun, dua kali lebih tinggi

dibandingkan dengan minyak kelapa yang hanya mencapai 2.689 liter/Ha/tahun (Hambali, 2007).

Di dalam transformator, minyak isolasi terus mengalami tekanan termal (panas), akibat rugi-rugi yang timbul saat pembebanan. Jika minyak sawit akan digunakan sebagai minyak isolasi di masa depan, minyak harus mampu menahan tekanan termal sampai ke level tertinggi yang diperbolehkan, tanpa penurunan signifikan karakteristik dielektrik fungsionalnya. Temperatur maksimum yang diperbolehkan adalah 98 °C menurut standar IEC-354 (1991) atau 110 °C menurut standar IEEE-C57.91 (1999), pada belitan transformator (Walling, dkk., 2007). Secara umum material isolasi akan mengalami penurunan kualitas seiring dengan berjalannya waktu pakai. Pemanasan dalam waktu lama berpotensi mengurai komposisi dan struktur molekul material isolasi yang bisa berujung pada situasi dimana material tidak lagi mampu mengemban fungsinya sebagai isolasi. Jika ingin digunakan sebagai minyak isolasi di masa depan, maka langkah antisipasi perlu dilakukan dengan mengevaluasi karakteristik dielektrik minyak sawit akibat tekanan termal atau pemanasan.

II. EKSPERIMEN

2.1 Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak sawit jenis RBDPO Olein, yaitu minyak sawit yang telah mengalami proses-proses seperti *Refining, Bleaching, Deodorizing dan Fractination*. Nama olein mengacu pada asam oleat yang merupakan kandungan mayoritas dari fraksi cair hasil fraksinasi (Hambali, dkk., 2007). Asam oleat adalah asam lemak tak jenuh dengan jumlah

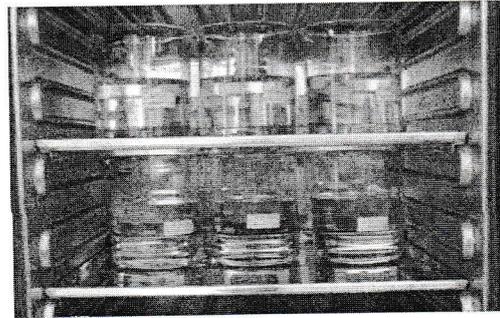
atom karbon 18 yang salah satu rantai karbon-karbonnya merupakan ikatan rangkap atau sering disingkat C18:1. Untuk selanjutnya RBDPO olein akan dituliskan "minyak sawit" saja. Selain itu minyak mineral juga diuji pada kondisi pengujian yang sama sebagai pembanding.

2.2 Penuaan Termal

Penuaan termal disimulasikan dengan memanaskan sampel minyak dalam sebuah oven listrik, sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 1. Sampel minyak sebanyak 500 ml ditempatkan dalam gelas *beaker* tahan panas berukuran 1000 ml dan dipanaskan dalam sebuah oven listrik yang diset pada temperatur 100 °C. Gelas *beaker* berisi minyak dibiarkan terbuka supaya terjadi kontak dengan udara di dalam oven sehingga dimungkinkan untuk terjadi reaksi oksidasi. Kawat tembaga sekitar 2,2 gram ditambahkan ke dalam minyak untuk mempercepat proses oksidasi. Sampel pertama dikeluarkan setelah satu hari pemanasan. Sampel-sampel berikutnya dikeluarkan setelah 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 hari. Sampel minyak yang telah diberi penuaan termal dibiarkan dingin secara alami sebelum pengujian dilakukan.

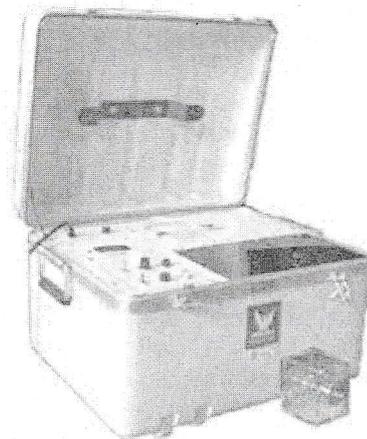
2.3 Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus dilakukan dengan menggunakan *Liquid Dielectric Test Set, Model LD60*, 60 kV, 0.5 kVA, yang diproduksi oleh *Phoenix Technologies* seperti tampak pada gambar 2. Pengujian dilakukan mengacu pada standar IEC-156 dengan memilih laju kenaikan tegangan 2 kV/s menggunakan elektroda jenis VDE (IEC-156, 1995). Prinsip kerja alat ini ditunjukkan dalam gambar 3 (Fofana, dkk., 2003). Tegangan sumber 220 Volt dinaikkan melalui transformator tegangan tinggi. Sebuah motor terpasang pada sisi tegangan rendah dari transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan pada pasangan elektroda secara bertahap dari 0 hingga 60 kV. Sebuah rele arus lebih terpasang secara seri dengan pasangan elektroda yang berfungsi untuk memutus suplai tegangan ke transformator ketika arus yang lewat pada pasangan elektroda (dan tentu saja sampel uji) melewati 8,5 mA. Sebuah voltmeter pembaca nilai maksimum terpasang diantara elektroda untuk merekam tegangan tertinggi yang terjadi selama pengujian.



Gambar 1 Pemanasan minyak dalam sebuah oven listrik.

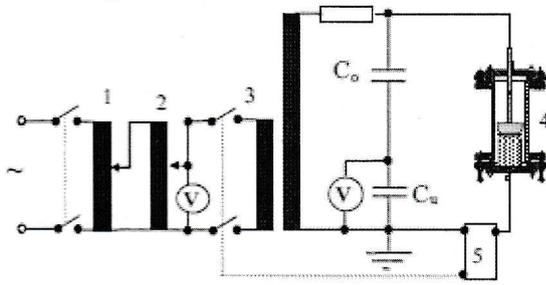
Sampel minyak yang diuji ditempatkan dalam sebuah cawan yang terbuat dari bahan akrilik. Gambar 4a menunjukkan cawan standar dengan jarak pasangan elektroda 2,5 mm. Untuk keperluan penelitian ini digunakan cawan khusus dengan pasangan elektroda berjarak 1 mm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4b. Cawan khusus ini didisain untuk mengantisipasi kenaikan tegangan tembus akibat pemanasan minyak. Pengalaman sebelumnya menunjukkan bahwa pemanasan hingga 60 °C memungkinkan tegangan tembus minyak sawit melebihi kapasitas alat *Liquid Dielectric Test Set, Model LD60* yang maksimal 60 kV (Abdul Rajab, dkk., 2011). Pasangan elektroda dengan konfigurasi VDE (setengah bola) dan berjarak 1 mm terletak dalam cawan. Cawan diisi dengan sampel minyak sekitar 250 mm sehingga pasangan elektroda yang terdapat dalam cawan terendam penuh dan sumbu pasangan elektroda berjarak minimal 4 cm dari permukaan minyak (IEC-156, 1995).



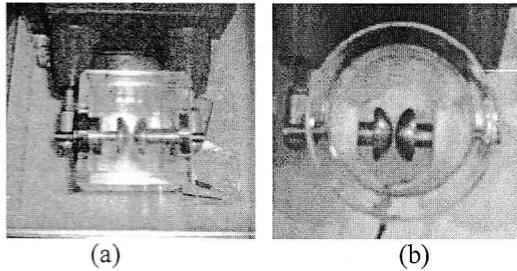
Gambar 2 Perangkat pengujian tegangan tembus, *Liquid Dielectric Test Set, Model LD60* buatan Phoenix Technologies

Penerapan tegangan AC 50 Hz dilakukan terhadap pasangan elektroda berselang minimal 15 menit setelah minyak sawit dituangkan kedalam cawan (Cooper Power System, 2004). Rentang

waktu ini diberikan untuk membiarkan *bubble-bubble* yang terbentuk selama proses penuangan sampel ke dalam cawan lepas ke udara sebelum pengujian dilakukan. Pengujian dilakukan sebanyak 6 kali untuk setiap sampel dengan rentang waktu antara dua pengukuran minimal 6 menit. Rentang waktu antar dua pengukuran berurutan ini dimaksudkan untuk membiarkan sampel minyak mengalami *recovery* sebelum pengukuran berikutnya dilakukan sehingga tidak terpengaruh oleh pengukuran sebelumnya.



Gambar 3 Rangkaian skematik alat uji tegangan tembus; 1 motor penggerak, 2 transformator manual, 3 transformator tegangan tinggi, 4 cawan berisi elektroda, dan 5 rele arus (Fofana, dkk., 2003).



Gambar 4 Cawan berisi elektroda jenis VDE untuk penempatan sampel minyak selama pengujian tegangan tembus; (a) Kondisi standar dengan elektroda berjarak 2,5 mm, (b) Disain khusus dengan elektroda berjarak 1 mm.

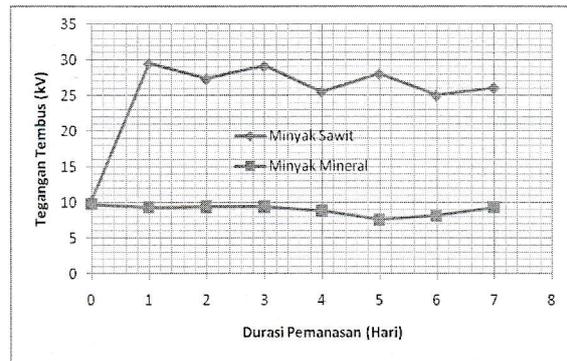
2.4 Pengujian Kadar Air dan Viskositas

Pengujian kadar air dimaksudkan untuk mengantisipasi perubahan kadar air akibat pemanasan dan keterkaitannya dengan perubahan tegangan tembus minyak. Sedangkan viskositas dimaksudkan untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya degradasi molekul minyak menjadi molekul-molekul yang lebih kecil, atau sebaliknya kemungkinan terjadinya polimerisasi membentuk molekul yang lebih besar. Panjang pendeknya rantai atom dalam suatu senyawa kimia akan menentukan viskositasnya karena terkait dengan gaya Van Der Walls yang bekerja pada dua molekul berdekatan (Fessenden & Fessenden, 1986).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penuaan termal atau pemanasan terhadap sampel minyak dilakukan selama 7 hari, dan setiap selang satu hari sampel dikeluarkan dari oven untuk dilakukan pengujian tegangan tembus. Untuk setiap durasi pemanasan, pengukuran tegangan tembus dilakukan sebanyak 6 kali dan nilai rata-rata ke enam hasil pengukuran ditunjukkan dalam gambar 5.

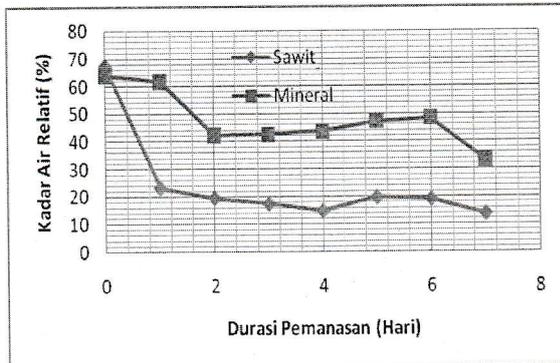
Dari gambar 5 terlihat bahwa penuaan termal menyebabkan tegangan tembus minyak sawit meningkat cukup tajam. Hal ini diduga disebabkan oleh penurunan kadar air relatif minyak. Gambar 6 menunjukkan variasi kadar air relatif minyak sawit dan minyak mineral terhadap durasi penuaan. Pengujian kadar air dilakukan dengan menggunakan metode Karl Fischer berdasarkan standar ASTM D-1533. Dengan menyandingkan gambar 5 dengan gambar 6 tampak bahwa kenaikan tegangan tembus bersesuaian dengan penurunan kandungan air relatif minyak. Sedikit berbeda dengan minyak sawit, tegangan tembus minyak mineral nyaris tidak berubah dengan penuaan. Hal ini bisa dimaklumi oleh karena penuaan termal tidak mereduksi kandungan air relatif minyak mineral secara signifikan. Meskipun dipanasi selama 7 hari kandungan air relatif minyak mineral tetap di atas 30 %. Hal ini berbeda dengan minyak sawit yang kandungan air relatifnya mengalami perubahan dari 67% sebelum penuaan menjadi sekitar 14% setelah penuaan.



Gambar 5. Tegangan tembus minyak sawit, minyak mineral dan minyak silikon sebagai fungsi dari durasi penuaan termal.

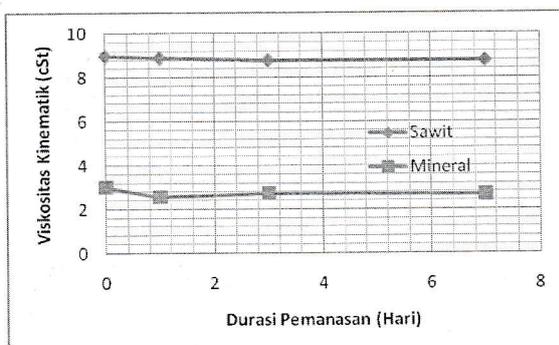
Namun demikian, sedikit penurunan tegangan tembus terdeteksi pada minyak sawit dan minyak mineral dengan semakin lamanya durasi penuaan. Penomena ini kemungkinan terkait dengan penurunan viskositas kinematik minyak. Pengujian viskositas kinematik minyak dilakukan berdasarkan standar ASTM D-445. Sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 7, viskositas kedua minyak sedikit turun dengan semakin lamanya durasi penuaan.

Penurunan viskositas minyak disebabkan oleh berkurangnya rantai atom karbon penyusun minyak. Gaya Van Der Waals, yang merupakan gabungan dari gaya-gaya yang mengikat atom-atom dari molekul-molekul yang berdekatan, mengecil dengan rantai karbon yang semakin pendek (Fessenden dan Fessenden, 1986).



Gambar 6 Kadar air relatif minyak sawit dan minyak mineral sebagai fungsi dari durasi penuaan termal.

Pemanasan yang semakin lama tampaknya menyebabkan semakin banyak rantai karbon yang terputus. Pemutusan rantai karbon akan menghasilkan senyawa dengan berat molekul rendah dalam fasa gas (Patch, 2007). Keberadaan gas di dalam minyak isolasi telah diketahui bisa mereduksi tegangan tembusnya. Kemungkinan lain adalah bahwa semakin banyak rantai karbon yang terpotong, maka bentuk molekul minyak semakin mendekati bentuk bulat. Menurut Borsi (1991) molekul berbentuk bulat cenderung memiliki tegangan tembus lebih rendah dibandingkan dengan molekul berbentuk memanjang. Gaya gesek yang menghambat pergerakan elektron cenderung lebih kecil pada molekul dengan struktur bulat dibandingkan dengan molekul dengan struktur memanjang.



Gambar 7 Viskositas kinematik minyak sawit dan minyak mineral sebagai fungsi dari durasi penuaan termal

IV. KESIMPULAN

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

1. Penuaan termal menyebabkan tegangan tembus minyak sawit naik akibat penurunan kadar air relatifnya. sedangkan tegangan tembus minyak mineral tidak mengalami kenaikan. Kadar air minyak mineral yang mestinya turun oleh penuaan termal tampaknya dikompensasi oleh reaksi oksidasi yang menghasilkan air.
2. Bertambahnya durasi penuaan menyebabkan tegangan tembus minyak sawit mengalami penurunan tipis akibat degradasi molekul minyak yang ditandai dengan penurunan tipis dalam viskositasnya. Demikian juga dengan minyak mineral.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada LPPM Unand atas bantaun pembiayaan melalui Program Penelitian Dana DIPA Unand 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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).
- [2] Borsi, H., *Dielectric Behavior of Silicone and Ester Fluids for Use in Distribution Transformers*, Journal of IEEE Transaction on Electrical Insulation, **26**, 755-762 (1991)
- [3] 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).
- [4] Fessenden dan Fessenden, *Kimia Organik*, Penerbit Airlangga (1986).
- [5] Fofana, I., dkk., *Results on Ageing of Aramid Paper under Selective Conditions*, XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, Netherlands (2003).
- [6] Hambali, E., dkk., *Teknologi Bioenergi*, Argo Media, Jakarta (2007).
- [7] IEC 156, *Insulating Liquids – Determination of the Breakdown Voltage at Power Frequency – Test Method* (1995).
- [8] IEC 60247, *Insulating Liquids – Measurement of Relative Permittivity, Dielectric Dissipation Factor and DC Resistivity* (2004).
- [9] McShane, C.P., dkk., *Aging of Paper Insulation in Natural Ester Dielectric Fluid*, 2001 IEEE/PES Transmission & Distribution

- Conference & Exposition, Atlanta GA (2001).
- [10] 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).
- [11] Patsch, R., Arief, Y.Z., Bezerouk, D. dan Menzel. J., *Pulse Sequence and Pulse Shape Analysis – Methods to Analyze Partial Discharge Processes*, Proceeding of International Conference on Electrical Engineering and Informatics. Bandung (2007).
- [12] Walling, Reigh dan Shattuck, G.B., *Distribution Transformer Thermal Behavior and Aging in Local-Delivery Distribution systems*, Proceedings of the 19th Conference on Electricity Distribution, Vienna (2007).