

DISTRIBUSI FASA PULSA-PULSA PD MINYAK SILIKON DENGAN TEGANGAN TINGGI AC

Abdul Rajab

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Andalas

ABSTRAK

Salah satu pemicu utama kegagalan sistem isolasi transformator adalah peluahan sebagian (*partial discharge, PD*) yang diantaranya bisa muncul dalam minyak isolasi. Makalah ini membahas distribusi pulsa-pulsa PD dalam minyak silikon di bawah tegangan AC menggunakan pasangan elektroda dengan konfigurasi jarum-plat. Pulsa-pulsa PD dideteksi dengan menggunakan detektor RC dan diukur dengan menggunakan sistem pengukuran PD berbasis komputer. Pulsa-pulsa PD yang terjadi dalam beberapa siklus gelombang tegangan diakumulasikan dan dipresentasikan dalam satu siklus. Pengaruh variasi level tegangan terhadap parameter-parameter PD dianalisis, demikian pula pengaruh nilai sesaat dari tegangan terhadap pola-pola PD. Hasilnya menunjukkan bahwa baik level tegangan maupun besarnya nilai sesaat dari tegangan AC memegang peranan penting dalam aktifitas PD minyak silikon. Semakin tinggi level tegangan semakin tinggi aktifitas PD. Pulsa-pulsa PD yang terkonsentrasi pada puncak gelombang tegangan terapan mengindikasikan ketergantungan aktifitas PD terhadap nilai sesaat dari tegangan terapan tersebut.

Kata Kunci : Peluahan sebagian, minyak silikon dan Tegangan Tinggi AC

I. PENDAHULUAN

Energi listrik umumnya dibangkitkan di tempat-tempat yang jauh dari pusat-pusat beban, tempat dia dimanfaatkan. Kondisi tersebut menuntut adanya sistem transmisi dan distribusi untuk mengirim energi listrik ke pusat-pusat beban. Diantara peralatan tegangan tinggi yang sangat penting peranannya dalam sistem transmisi dan distribusi energi listrik adalah transformator. Dengan transformator *step-up*, tegangan dinaikkan dari level menengah saat dibangkitkan menjadi tegangan tinggi, demi menghindari rugi-rugi yang hilang dalam bentuk perkalian arus kuadrat, tahanan dan waktu. Dewasa ini level tegangan yang umum dipergunakan ini adalah 500 kV dan 150 kV. Tegangan tinggi pada sistem transmisi tersebut kemudian diturunkan ke level tegangan menengah 20 kV untuk keperluan sistem distribusi dengan menggunakan transformator *step-down*, sebelum diturunkan ke level tegangan rendah 220/238 V.

Tingginya ketergantungan masyarakat moderen terhadap energi listrik di berbagai

sektor kehidupan menuntut peningkatan level keandalan dan keamanan peralatan sistem tenaga listrik, termasuk transformator. Di antara semua komponen-komponen transformator, sistem isolasi memainkan peranan paling penting terhadap umur pakai transformator, oleh karena kegagalan kerja transformator umumnya disebabkan oleh permasalahan sistem isolasi. Hal ini mengacu kepada statistik kegagalan kerja transformator di Amerika Serikat antara tahun 1997 hingga tahun 2001^[1]. Oleh karena itu pemantauan terhadap sistem isolasi transformator sangat penting untuk dilakukan.

Salah satu pemicu utama kegagalan sistem isolasi transformator adalah peluahan sebagian (*partial discharge, PD*) yang diantaranya bisa muncul dalam minyak isolasi transformator. PD dalam minyak isolasi terbentuk dalam gelembung-gelembung berisi gas (*bubble*). Dewasa ini, upaya untuk mempelajari keutuhan sistem isolasi dilakukan melalui pengujian PD yang memberikan informasi tentang kesehatan sistem isolasi yang secara kuantitatif dinyatakan dalam besar muatan PD, jumlah PD dan sudut fasa

gelombang tegangan dimana PD terjadi.

Makalah ini membahas distribusi pulsa-pulsa PD dalam minyak silikon di bawah tegangan AC menggunakan pasangan elektroda dengan konfigurasi jarum-plat. Pulsa-pulsa PD yang terjadi dalam beberapa siklus gelombang tegangan diakumulasikan dan dipresentasikan dalam satu siklus. Pengaruh variasi level tegangan terhadap parameter-parameter PD dianalisis, demikian pula pengaruh nilai sesaat dari tegangan terhadap pola-pola PD.

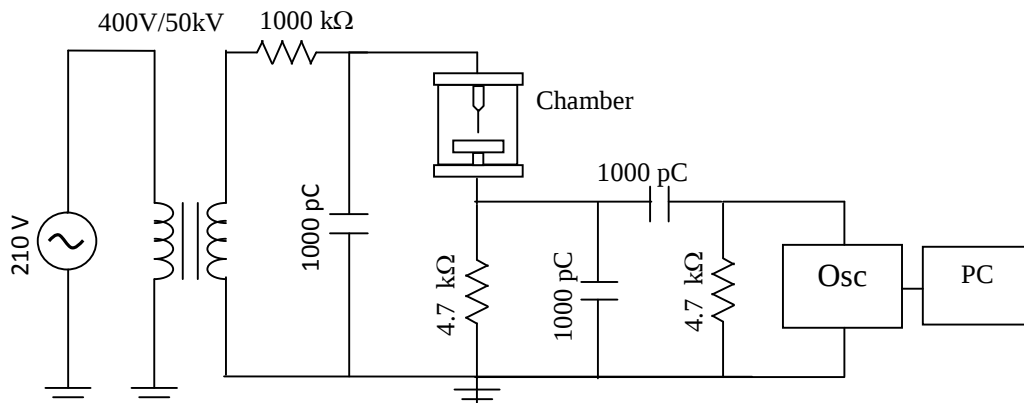
II. EXPERIMENTAL SET UP

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak silikon dengan viskositas 50 cSt dengan merek dagang PMX-561 Transformer Liquid yang diproduksi oleh Dow Corning. Beberapa parameter penting minyak silikon ini ditunjukkan dalam tabel 1. Minyak langsung digunakan dalam eksperimen, tanpa perlakuan pendahuluan.

Tabel 1. Some properties of PMX-561 silicone transformer liquid [Dow Corning Technical Manual]

Properties	Values
Tegangan Tembus	35 kV
Faktor Disipasi	0.007 %
Konstanta Dielektrik	2.7
Viskositas	50 cSt
Titik Nyala	300 °C
Bilangan Asam	0.002 mg KOH/g
Tekanan Antarmuka	44.6 dynes/cm

PD dibangkitkan dalam minyak sampel



Gambar 1. Diagram skematik Pengukuran PD berbasis komputer

dengan menerapkan tegangan tinggi AC, 50 Hz terhadap elektroda jarum dalam konfigurasi pasangan elektroda jarum-plat. Dengan konfigurasi ini, akan diperoleh peninggian medan lokal di ujung elektroda jarum berdasarkan persamaan (1). Elektroda jarum terbuat dari bahan baja sepanjang 4 cm dan berdiameter 1 mm, dengan sudut kurvatur ujung jarum sebesar 30 °C dan berjari-jari 3 μm. Gambar 1 menunjukkan konfigurasi pasangan elektroda jarum-plat. Pasangan elektroda ini direndam dalam minyak silikon dalam sebuah gelas beaker berukuran 1000 ml.

$$E = \frac{2V}{r \ln\left(\frac{4d}{r}\right)} \quad (1)$$

Sampel minyak didiamkan selama minimal 15 menit setelah dituangkan ke dalam wadah, untuk membiarkan gelembung-gelembung (*bubbles*) yang terbentuk selama proses penuangan, terlepas ke udara sebelum pengukuran mulai dilakukan. Pulsa-pulsa PD dideteksi dengan menggunakan detektor RC, dan diukur dengan menggunakan sistem pengukuran berbasis komputer sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 1. Pemberian Tegangan dilakukan dengan cara menaikkan tegangan secara bertahap dengan kenaikan sebesar 1 kV. Pada setiap level tegangan, minyak dibiarkan selama 2 menit untuk menentukan tegangan insepisi PD (*Partial Discharge Inception Voltage*, PDIV). Mulai dari PDIV tegangan terus dinaikkan secara bertahap dan pada setiap level tegangan PD yang timbul dalam 250 siklus gelombang tegangan direkam dan disimpan dalam komputer untuk dianalisis lebih lanjut.

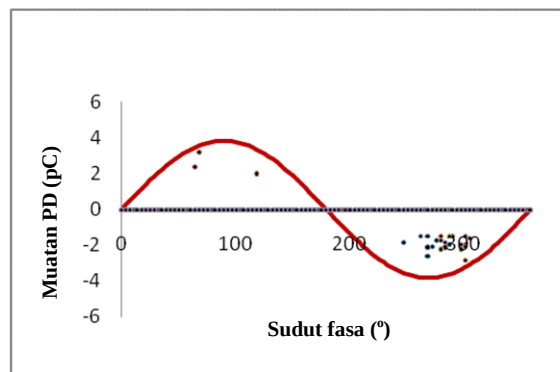
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengaruh Level Tegangan

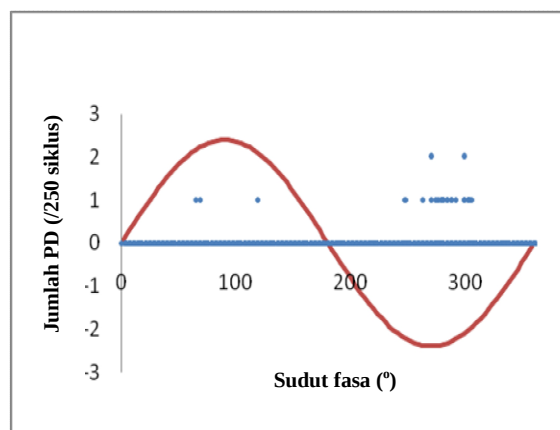
PDIV minyak sislikon dibawah tegangan sinusoidal, dengan menggunakan konfigurasi elektroda jarum-plat berjarak 8 mm, dengan ujung elektroda jarum berjari-jari 3 μm , adalah 10 kV (rms). Nilai ini setara dengan medan listrik sekitar 7,2 MV/cm yang dihitung berdasarkan persamaan (1). Hasil ini sesuai dengan pendapat Lewis [2] yang mengklaim bahwa nilai tipikal medan listrik untuk menginisiasi *streamer* dalam minyak isolasi berada pada kisaran beberapa MV/cm.

Gambar 2 menunjukkan pola-pola pulsa PD minyak silikon pada tegangan PDIV (10 kV) yang terjadi dalam 250 siklus gelombang tegangan. Tampak pada gambar 2 bahwa jumlah PD yang terjadi dalam setengah siklus negatif lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah PD yang terjadi dalam setengah siklus positif. Hal ini mengindikasikan bahwa PD lebih duluan terjadi pada siklus negatif dibandingkan dengan pada siklus positif. Hasil ini sejalan dengan hasil pengujian kami sebelumnya, meskipun pengukuran dilakukan dalam minyak sawit^[3].

Di bawah medan listrik yang cukup tinggi, ketika elektroda jarum berada pada polaritas negatif, elektron yang dibutuhkan untuk menginisiasi PD datang dari sisi elektroda jarum. Elektron yang dipancarkan dari elektroda jarum negatif bisa dijelaskan oleh mekanisme *Tunneling* Northem-Fieder. Di lain pihak, ketika ujung jarum berada pada polaritas positif, elektron awal yang dibutuhkan untuk menginisiasi PD datang dari sisi minyak melalui mekanisme ionisasi oleh medan listrik. Elektroda jarum terbuat dari bahan logam yang banyak berisi elektron bebas. Dengan demikian, maka lebih mudah melepaskan elektron dari logam dibandingkan dengan memperolehnya dari sisi minyak yang memerlukan proses ionisasi.



(a)



(b)

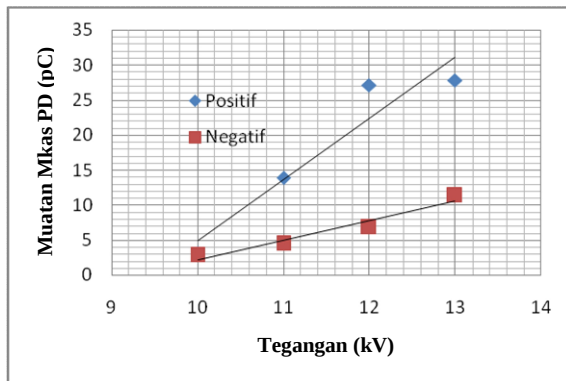
Gambar 2. Distribusi fasapulsa-pulsa PD dalam minyak silikondi bawah tegangan AC 10 kV, yang terjadi dalam 250 siklus;
(a) Muatan, (b) Jumlah PD

Kenaikan tegangan terapan ternyata diikuti dengan kenaikan muatan PD dan jumlah PD dalam minyak silikon. Baik muatan PD maupun jumlah PD mengalami peningkatan signifikan ketika tegangan dinaikkan hingga 13 kV. Gambar 3 menunjukkan pola-pola pulsa PD pada tegangan 13 kV yang terjadi dalam 250 siklus gelombang tegangan. Hasil ini menunjukkan adanya ketergantungan aktifitas PD terhadap level tegangan yang diterapkan. Semakin tinggi level tegangan yang diberikan maka semakin tinggi pula muatan dan jumlah PD yang dihasilkan.

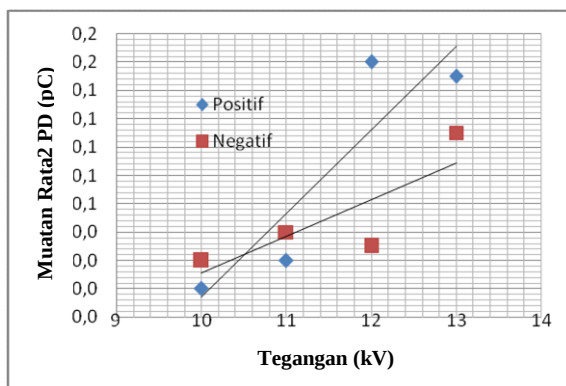
Kenaikan tegangan terapan juga menghasilkan fenomena lain yang menarik. Aktifitas PD pada siklus positif didapati lebih tinggi dibandingkan dengan siklus negatif dari gelombang tegangan. Kenaikan tegangan menyebabkan muatan dan jumlah PD pada siklus positif menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan

siklus negatif. Hal ini terlihat dengan membandingkan pola-pola pulsa PD pada PDIV, 10 kV (Gambar 3) dengan pola-pola pulsa PD pada tegangan 13 kV (Gambar 4).

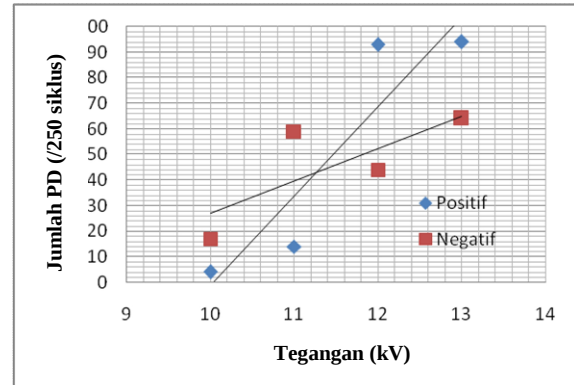
Fenomena ini kemungkinan bisa dijelaskan sebagai berikut. Ketika medan listrik mencapai level yang cukup untuk mengionisasi molekul minyak, dan tersedia begitu banyak molekul minyak untuk diionisasi, maka akan tersedia sekian banyak elektron untuk menginisiasi PD. Pada level ini, aktifitas PD mengalami lonjakan. Hal inilah yang tampaknya menjelaskan mengapa pada tegangan yang lebih tinggi, baik magnitud PD maupun jumlah PD menjadi lebih tinggi pada siklus positif dibandingkan dengan pada siklus negatif dari gelombang tegangan.



(a.)



(b.)



(c)

Gambar 3. Pengaruh tegangan terapan terhadap: (a) Muatan maksimum PD, (b) Muatan rata-rata PD, dan (c) Jumlah PD

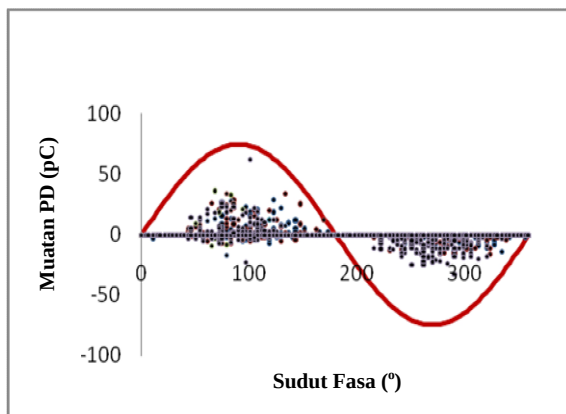
b. Pengaruh Bentuk Tegangan

Gambar 4 menunjukkan pola-pola PD dalam minyak silikon pada tegangan AC 13 kV_{rms}. Pulsa-pulsa PD terlihat berada pada sekitar puncak dari gelombang tegangan terapan, baik pada siklus positif maupun pada siklus negatif. Magnitud PD berada dalam rentang antara beberapa PD hingga sekitar 30 pC, seperti tampak pada gambar 4a. Sedangkan jumlah PD berkisar antara 1 hingga 3 sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 4b. Baik magnitud PD maupun jumlah PD terlihat lebih tinggi pada daerah puncak dari gelombang tegangan terapan, yaitu di sekitar sudut fasa 90° dan 270°. Hasil yang menunjukkan kemiripan pola-pola kejadian PD dengan bentuk gelombang tegangan terapan ini mengindikasikan bahwa terdapat ketergantungan yang kuat antara tegangan sesaat dengan aktifitas PD dalam minyak silikon.

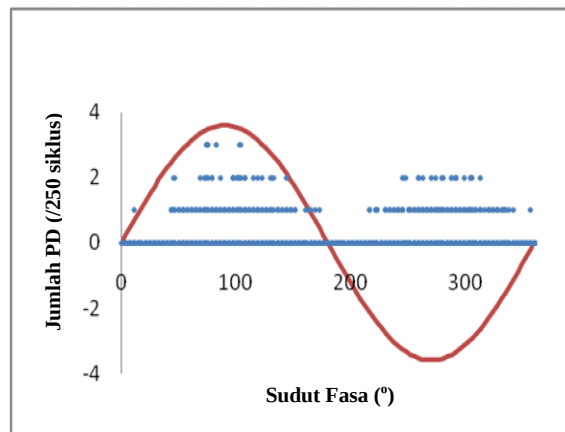
Hasil pengujian ini mirip dengan hasil yang diperoleh oleh Suwarno [4] yang juga melakukan pengujian PD terhadap minyak silikon dengan menggunakan pasangan elektroda jarum-plat dan dengan menerapkan tegangan tinggi AC. Namun demikian, terdapat sedikit perbedaan kondisi pengujian dengan yang dilakukan oleh Suwarno. Minyak silikon yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak silikon untuk transformator (Silicon Transformer Liquid) dengan viskositas 50 cSt. Di samping itu, jarak elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah 8 mm, lebih lebar

dibanding jarak yang digunakan oleh Suwarno dalam penelitiannya, yang menggunakan jarak 4 mm.

Jarak elektroda yang lebih lebar memberikan peluang bagi terbentuknya muatan ruang akibat panjangnya jarak yang harus ditempuh oleh pembawa-pembawa muatan sebelum tiba di elektroda-elektroda yang berlawanan polaritas. Muatan positif akan bergerak ke arah elektroda negatif, demikian juga sebaliknya. Muatan ruang terbentuk ketika laju injeksi muatan ke suatu ruang lebih tinggi dari laju muatan meninggalkan ruang tersebut. Meskipun jarak elektroda yang digunakan dalam penelitian ini jauh lebih lebar dibandingkan dengan jarak elektroda yang digunakan oleh Suwarno dalam eksperimennya, pergeseran fasa – yang biasanya digunakan sebagai indikator terbentuknya muatan ruang – tidak ditemukan dalam hasil penelitian ini. Jarak elektroda yang lebih panjang sepertinya terkompensasi oleh rendahnya viskositas minyak silikon yang digunakan dalam penelitian ini. Seperti diketahui bahwa mobilitas pembawa muatan berbanding terbalik dengan viskositas minyak, maka pembawa muatan dalam minyak yang viskositasnya lebih rendah akan tiba lebih cepat di elektroda dengan polaritas berkebalikan, dibandingkan dengan pembawa muatan yang bergerak dalam minyak yang viskositasnya lebih tinggi.



(a)



(b)

Gambar4. Distribusi fasapulsa-pulsa PD dalam minyak silikondi bawah tegangan AC 13 kV, yang terjadi dalam 250 siklus;
(a) Muatan, (b) Jumlah PD.

IV. KESIMPULAN

Pengujian PD dalam minyak silikon dengan tegangan tinggi AC menggunakan pasangan elektroda jarum-plat telah dilakukan. Beberapa kesimpulan bisa diambil sebagai berikut:

1. Pada tegangan rendah aktifitas PD pada siklus negatif lebih tinggi dibandingkan dengan pada siklus positif. Tapi pada tegangan yang lebih tinggi terjadi fenomena sebaliknya, aktifitas PD pada siklus positif lebih tinggi dibandingkan pada siklus negatif.
2. Semakin tinggi level tegangan yang diterapkan semakin tinggi aktifitas PD dalam minyak, ditandai dengan semakin besarnya muatan PD dan jumlah PD.
3. Pulsa-pulsa PD terkonsentrasi pada daerah sudut fasa 90 dan 270 yang mengindikasikan ketergantungan aktifitas PD terhadap nilai sesaat dari tegangan terapan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yuslianti, E., *Analysis of Dielectric Properties Comparison between Mineral Oil and Synthetic Ester Oil*, Master Thesis, Delft University of Technology, (2010).

- [2] Lewis, T.J., A New Model for the primary Process of Electrical breakdown in liquids, IEEE. Transc. Dielc. Elect. Insult., 5(3), 305-315 (1998).
- [3] Abdul Rajab dkk., Partial Discharge Phase Distribution of palm oil as insulating liquid, Jurnal Telkomnika 9(1), 151-160 (2011).
- [4] Suwarno, A Model of Streamer Discharges in Insulating Liquid and Computer Simulation, Research Journal of Applied Science 4(4), 134-141 (2009)

Biodata Penulis

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.