

ANALISIS FENOMENA *ELECTROHYDRODYNAMIC* PADA PERMUKAAN MINYAK SILIKON (CAIRAN DIELEKTRIK) MENGGUNAKAN SISTEM PEMBANGKIT PLASMA LUCUTAN PIJAR KORONA NEGATIF DENGAN ELEKTRODA BERKONFIGURASI TITIK BIDANG**Muhammad Nur, Choirul Anam, Betri Arisa**

Laboratorium Fisika Atom & Nuklir, Jurusan Fisika Fakultas MIPA UNDIP

ABSTRACT

An analysis of Electrohydrodynamic (EHD) phenomenon deformation of oil silicon surface has been done. The negative corona glow discharge plasma in this research is generated by plasma generator system in point to plane electrodes configuration. The first step of experiment is to determine correlation of voltage and electric current, and correlation of distance between electrode and electric current. Then, the second is to determine correlation of voltage and hole radius of oil silicon surface, and correlation of distance between electrode and hole radius of oil silicon surface. Finally, it is to determine the velocity hole for back to initial position of oil silicon surface after turn off electric field. The EHD phenomenon of oil silicon can be generated by impose of non homogeneous high electric field. The voltage of corona at distance between electrodes 1 cm, 1,5 cm and 2 cm are 2,6 kV-4 kV, 3,4 kV-5,2 kV, and 3,8 kV-6,0 kV respectively. The increase of electric field intensity influence dipole moment strength, it increases the radius of the hole of oil silicon surface. The increase of distance between electrode influence parabolic angle of electric line field then cause the increase of hole radius. After this, if the electric field is zero with increasing voltage, velocity hole of oil silicon for back to initial position slower then if the increasing of h, that makes the velocity hole for back to initial position faster.

Key words: Electrohydrodynamic, Silicon Oil, Dielectric polarization, Positive corona glow discharge plasma, ionic wind.

INTISARI

Telah dilakukan penelitian tentang fenomena electrohydrodynamic pada cairan dielektrik berupa minyak silikon. Pada penelitian ini digunakan sistem pembangkit plasma lucutan pijar korona negatif dengan elektroda berkonfigurasi titik bidang. Penelitian diawali dengan mencari hubungan antara tegangan dengan arus listrik dan hubungan jarak elektroda titik bidang dengan arus listrik. Kemudian hubungan variasi tegangan dan jarak antar elektroda titik bidang terhadap jari-jari lubang (deformasi) pada minyak silikon. Setelah itu dilakukan pemutusan medan luar untuk mengetahui kecepatan aliran minyak silikon saat menutup lubang (deformasi) yang terbentuk selama pemberian medan listrik eksternal. Dari penelitian diperoleh bahwa fenomena Electrohydrodynamic (EHD) pada minyak silikon dapat dihasilkan dengan mengenakan medan listrik non homegen yang tinggi. Pada jarak antar elektroda 1 cm kondisi korona terjadi pada 2,6 kV-4 kV, pada jarak 1,5 cm terjadi pada 3,4 kV-5,2 kV dan pada jarak 2 cm korona terjadi pada 3,8 kV-6,0 kV. Semakin besar medan listrik menyebabkan jari-jari lubang pada minyak silikon semakin besar karena meningkatnya dipol yang terbentuk. Semakin besar jarak antar elektroda menyebabkan jari-jari lubang pada minyak silikon semakin besar karena sudut parabola medan listrik yang semakin besar. Kecepatan penyatuan minyak silikon setelah pemutusan medan listrik luar, untuk medan yang semakin besar dengan jarak antar elektroda tetap, kecepatan penyatuan minyak semakin lambat. Sementara untuk jarak antara elektroda yang semakin besar dengan medan listrik tetap, kecepatan penyatuan minyak semakin cepat.

Kata kunci: Electrohydrodynamic, minyak silikon, polarisasi dielektrik, plasma lucutan pijar korona negatif.

PENDAHULUAN

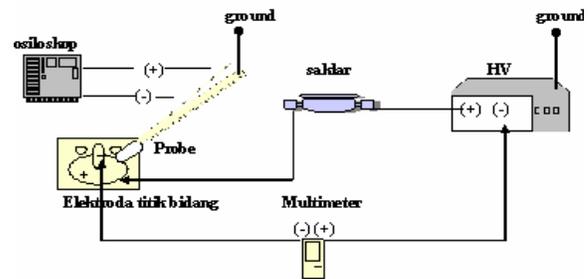
Electrohydrodynamic (EHD) merupakan deformasi atau pergerakan suatu cairan sebagai akibat adanya medan listrik eksternal yang sangat tinggi [1]. Dasar fisis dari EHD yaitu adanya perubahan bentuk atau deformasi dari suatu permukaan cairan (*liquid surface*) yang dipengaruhi oleh medan listrik [2]. Telah banyak dilakukan penelitian tentang fenomena *electrohydrodynamic* (EHD). Fenomena ini sangat menarik karena banyaknya aplikasi yang dapat dihasilkan, diantaranya pembuatan pompa tanpa memerlukan pendorong atau klep. Aliran fluida pada pompa ini diakibatkan oleh pergerakan muatan listrik dari elektroda yang mengikuti arah medan listrik yang terbentuk. Beberapa peneliti antara lain Lee, dkk [3] melakukan penelitian yang mendukung teori EHD dengan menggunakan lucutan gas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis gelombang dari penjalaran cairan polimer yang berbentuk lingkaran setelah dikenai medan listrik tinggi. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa fenomena Bergeraknya cairan polimer merupakan suatu fenomena *electrohydrodynamic* dan bukan sekedar fenomena *hydrodynamic*. Kawamoto dan Umezu [4] juga melakukan eksperimen tentang fenomena EHD pada air untuk menentukan nilai gaya coulomb yang menyebabkan perubahan gerakan permukaan air, mulai dari sebelum terbentuknya plasma lucutan pijar korona sampai terjadinya plasma lucutan pijar korona. Selanjutnya ingin diketahui fenomena *electrohydrodynamic* pada cairan dielektrik berupa minyak silikon dengan menggunakan sistem pembangkit plasma berpolaritas negatif. Pada penelitian ini ingin diketahui faktor-faktor yang mempengaruhi fenomena Fenomena *electrohydrodynamic* pada minyak silikon.

METODE PENELITIAN

Pada saat arus listrik melintasi reaktor maka terjadi ionisasi lapisan udara terlebih

dahulu. Setelah udara terionisasi maka kondisi udara yang netral berubah ke dalam kondisi plasma karena partikel-partikel udara berubah menjadi ion positif, ion negatif dan elektron. Plasma dikondisikan hanya sampai pada tahap lucutan pijar korona. Setelah terjadi lucutan pijar korona maka radiasi dari lucutan pijar korona ini akan mengenai permukaan dari cairan dielektrik sehingga menyebabkan permukaan cairan dielektrik terganggu. Hal ini ditandai dengan timbulnya gumpalan gumpalan pada permukaan minyak silikon, kemudian bergerak menyebar melingkar membentuk suatu lubang. Fenomena EHD telah terjadi ditandai pergerakan dari cairan dielektrik yang dipengaruhi oleh medan listrik tinggi.

Penelitian dilakukan dengan memvariasi tegangan (V) (2,4-5,8) KV dengan jarak antar elektroda (h) tetap. Selanjutnya adalah variasi jarak antar elektroda (h) (1-4) cm, dengan V tetap. Dari dua variasi tersebut diperoleh data



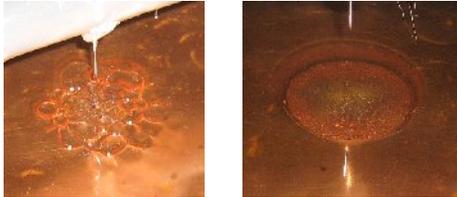
Gambar 1 Sistem pembangkit plasma berkonfigurasi elektroda titik-bidang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Fenomena *Electrohydrodynamic* pada Cairan Minyak Silikon

Pada saat peralatan diaktifkan, timbul medan diantara kedua elektroda titik bidang. Medan tersebut kemudian mengionisasi udara diantara elektroda. Setelah udara antara elektroda terionisasi, maka kondisi udara yang netral berubah kedalam kondisi plasma tahap lucutan korona (*korona discharge*). Radiasi dari lucutan pijar korona akan mengenai permukaan cairan dielektrik. Hal ini

mengakibatkan timbulnya gangguan pada permukaan minyak silikon. Permukaan cairan berubah menjadi gumpalan-gumpalan minyak. Apabila V diperbesar, gumpalan-gumpalan yang berada di bawah elektroda titik tersebut akan bergerak, menyebar membentuk lubang. Gambar 2. memperlihatkan perubahan bentuk permukaan minyak silikon setelah dikenai medan listrik tinggi.



(a)

Gambar 2 Fenomena EHD minyak silikon pada sistem pembangkit plasma berkonfigurasi titik bidang, berpolaritas negatif dengan jarak elektroda titik bidang 1,5 cm; a) Permukaan minyak silikon pada tegangan 3,2 kV. Terbentuk lubang yang belum stabil dengan diameter 1,9 cm. b) Permukaan minyak silikon pada tegangan 4,6 kV. Terbentuk lubang yang stabil dengan diameter lubang 2,8 cm.

(b)

Gambar 2 (a) merupakan kondisi minyak silikon pada V 3,2 kV dan pada permukaan minyak silikon telah terbentuk gumpalan-gumpalan yang masih belum stabil. Kemudian, saat V dinaikkan dalam kondisi korona (3,6 kV-5,2 kV), ukuran gumpalan semakin kecil dan lingkaran yang terbentuk semakin stabil. Gambar 2(b) memperlihatkan lubang yang sudah mulai stabil. Kondisi ini terjadi pada tegangan 4,6 kV dengan jarak elektroda titik bidang 1,5 cm dan diameter lubang 2,8 cm. Peristiwa deformasi pada permukaan minyak silikon setelah dikenai medan listrik tinggi ini, merupakan suatu fenomena EHD. Fenomena ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Polarisasi

Peristiwa polarisasi tersebut dapat dilihat dari gumpalan-gumpalan minyak yang terjadi. Pada saat tegangan diberikan masih rendah, gumpalan-gumpalan minyak silikon relatif besar. Ketika V yang diberikan semakin tinggi, gumpalan-

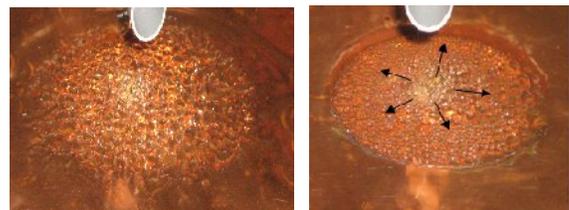
gumpalan menjadi semakin kecil. Secara mikro, molekul-molekul bahan dielektrik bergerak acak tetapi jika diberi medan listrik luar, akan timbul medan listrik yang arahnya berlawanan dengan medan listrik luar. Kuat medan yang besar menyebabkan kuat momen dipol semakin besar.

2. Kekuatan dielektrik minyak silikon

Pada saat elektroda diberi tegangan searah, maka akan timbul medan listrik (E) di dalam dielektrik. Medan-medan elektrik ini memberikan gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Jika suatu dielektrik mempunyai kekuatan dielektrik E_k maka terpaan dielektrik yang dapat dipikul adalah $\leq E_k$. Jika terpaan elektrik yang dipikul dielektrik melebihi E_k maka dalam dielektrik akan terjadi proses ionisasi berantai yang akhirnya dapat membuat dielektrik tembus listrik. Pada saat ini timbul gejala fisik berupa lucutan/percikan (*arc*) yang ditandai terjadi penurunan tegangan secara tiba-tiba dan arus naik secara drastis. Kondisi ini adalah kondisi *breakdown*.

3. Garis-garis medan di antara elektroda titik bidang.

Pola garis medan pada elektroda titik bidang berbentuk melengkung. Hal tersebut merupakan salah satu faktor yang menyebabkan lubang yang terbentuk pada permukaan minyak silikon dibawah elektroda titik berbentuk lingkaran cekung. Angin ion muncul apabila V dinaikkan melebihi tegangan ambang korona. Pengaruh angin ion pada permukaan minyak silikon terlihat pada gambar 3:



(a)

(b)

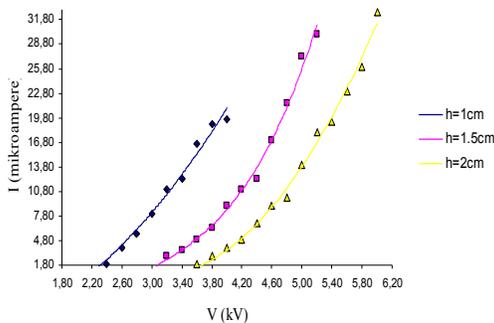
Gambar 3 Lubang yang terbentuk pada minyak silikon, dibawah elektroda titik dengan jarak elektroda titik bidang (h) tetap 2cm dan $V=5,6$ kV.

(a) Pada awal kenaikan tegangan, diameter lubang belum stabil. (b) Pergerakan gumpalan minyak silikon ke tepi lubang diakibatkan oleh dorongan angin ion.

Dari gambar 3 terlihat bahwa ada suatu dorongan yang menyebabkan minyak silikon bergerak ke pinggir lubang. Dorongan tersebut berasal dari tolakan elektroda negatif (jarum) terhadap muatan yang sejenis, yaitu ion-ion negatif. Tolakan tersebut menimbulkan suatu gejala elektris berupa angin. Dorongan oleh angin ion ini menyebabkan gumpalan-gumpalan minyak tergeser dari kedudukannya semula, menjauhi pusat lubang yang berada tepat di bawah elektroda titik.

Karakteristik I dengan Variasi V

Aliran ion akan menimbulkan arus ion yang disebut arus saturasi unipolar korona. Semakin besar tegangan yang diberikan maka arus juga semakin besar. Gambar 4 adalah grafik karakterisasi arus saturasi unipolar korona sebagai fungsi tegangan, pada jarak antar elektroda 1 cm, 1,5 cm dan 2 cm.



Gambar 4 Karakterisasi I sebagai fungsi V pada sistem pembangkit plasma berkonfigurasi titik bidang, berpolaritas negatif, untuk 3 jarak elektroda titik bidang (h=1 cm, h=1,5 cm, h=2 cm).

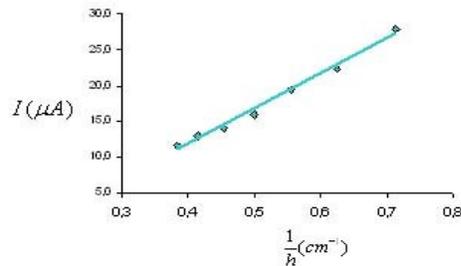
Dari gambar 4 terlihat bahwa untuk jarak antar elektroda 1 cm, arus mulai terukur sebesar 2 μA pada saat tegangan 2,4 kV. Pada saat itu terbentuk gumpalan-gumpalan pada permukaan minyak silikon. Tegangan yang diberikan pada saat terbentuknya gumpalan-gumpalan minyak tersebut adalah tegangan ambang korona. Tegangan korona terjadi pada 2,6 kV-4

kV. Apabila V melebihi 4 kV akan timbul percikan/arc yang menandakan terjadinya peristiwa *breakdown*, sehingga nilai V yang terukur akan turun drastis dan I akan meningkat tajam.

Kondisi korona untuk h 1,5 cm terjadi pada 3,4 kV-5,2 kV dan untuk 2 cm terjadi pada 3,8kV-6,0kV.

Karakterisasi I Sebagai Fungsi h

Hubungan jarak antar elektroda dengan arus terlihat pada gambar 4.5

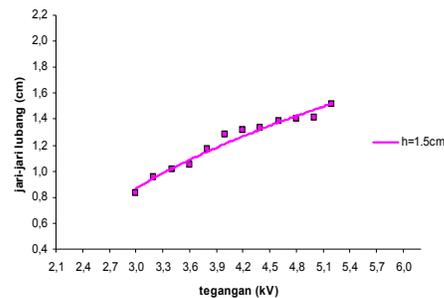


Gambar 5 Karakterisasi I sebagai fungsi h pada sistem pembangkit plasma lucutan pijar korona negatif, pada V 5,4 kV

Dari grafik tersebut terlihat bahwa jika jarak semakin besar maka nilai I akan semakin kecil dan sebaliknya apabila h semakin kecil, maka nilai I yang terukur akan semakin besar.

Pengaruh V terhadap jari-jari lubang pada permukaan minyak silikon.

Hubungan tegangan dengan ukuran jari-jari lubang yang terbentuk pada an



Gambar 6 Pengaruh tegangan terhadap lebar jari-jari lubang yang terjadi pada permukaan minyak silikon pada sistem pembangkit plasma lucutan pijar korona negatif, dengan jarak elektroda titik bidang 1,5 cm.

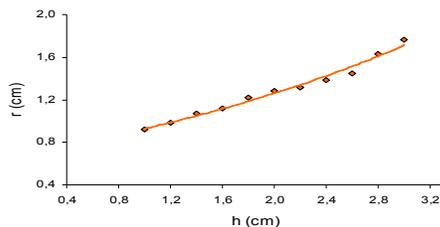
Pada V 3 kV, jari-jari lubang yang terbentuk 0,83 cm, kemudian jari-

jarimeningkat dengan meningkatnya tegangan. Tegangan tertinggi yang dapat dicapai adalah pada 5,2 kV dengan jari-jari lubang 1,5 cm. Apabila V lebih dari 5,2 kV, maka akan terjadi *arc*.

Medan luar ini mengakibatkan terbentuknya dipol-dipol. Pada awalnya medan listrik hanya mempengaruhi permukaan minyak silikon tepat di bawah elektroda titik saja. Kemudian, semakin meningkatnya V akan mengakibatkan molekul yang berubah menjadi dipol semakin bertambah banyak. Hal ini terlihat dari diameter lubang yang terbentuk semakin besar apabila V meningkat.

Pengaruh h terhadap ukuran jari-jari lubang pada V yang tetap.

Pada saat tegangan tetap, hubungan antara jarak antar elektroda dan jari-jari lubang yang terbentuk pada permukaan dielektik, terlihat seperti pada gambar 7.



terbentuk pada permukaan minyak silikon, pada tegangan tetap 4,2 kV.

Dari gambar 7 terlihat bahwa pada V 4,2 kV dan h 1 cm, jari-jari lubang yang terbentuk pada permukaan minyak silikon adalah 0,9 cm. Bila h diperbesar cm, jari-jari lubang juga membesar. Dari hal tersebut terlihat bahwa besarnya jari-jari lubang dipengaruhi juga oleh variasi h . Pola garis alir medan pada elektroda titik bidang (medan tak seragam) akan membentuk garis melengkung (setengah parabola). Perubahan h akan mengakibatkan perubahan dari sudut parabola yang terbentuk sebagai akibat dari medan listrik tinggi. Semakin besar h , maka semakin besar pula sudut parabola yang terbentuk sehingga jari-jari lubang pada minyak silikon juga semakin besar.

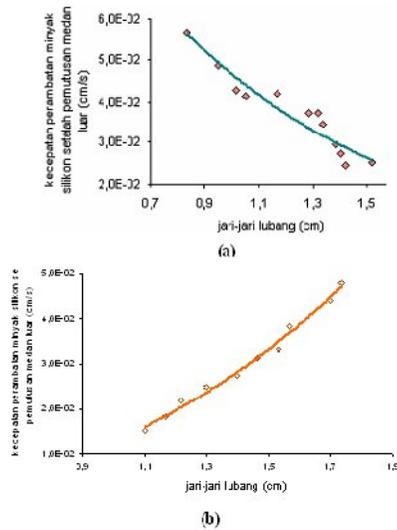
Kecepatan penyatuan minyak silikon setelah pemutusan medan luar ($E=0$).

Pada saat medan luar pada sistem pembangkit plasma berkonfigurasi titik bidang diputus maka lubang yang terbentuk akan bergerak menutup kembali dengan kecepatan tertentu. Ukuran lubang yang terbentuk akan mempengaruhi waktu yang tercatat pada saat pemutusan medan. Dari ukuran lubang dan waktu penyatuan lubang tersebut, akan diperoleh kecepatan penyatuan minyak silikon setelah pemutusan medan luarnya, pada variasi V dengan h tetap dan pada variasi h dengan V tetap, seperti terlihat pada gambar 8.

Dari gambar 8 terlihat ada perbedaan kecepatan penyatuan minyak untuk variasi tegangan dan variasi jarak antar elektroda. Perbedaan kecepatan menutupnya lubang disebabkan adanya perbedaan kuat momen dipol induksi.

Pada grafik (a), semakin besar tegangan yang diberikan menyebabkan molekul minyak silikon yang terpolarisasi juga semakin banyak. Hal ini mengakibatkan kuat momen dipol induksinya juga semakin besar. Tarikan antar molekul yang cukup kuat, dapat terjadi antara molekul-molekul dengan memperbesar tegangan. Hal ini mengakibatkan momen dipol induksi tersebut masih mempengaruhi molekul-molekul minyak silikon saat pemutusan medan luar. Sehingga kecepatan penyatuan kembali cairan dielektrik ini semakin lambat karena adanya penghalang berupa momen dipol induksi yang masih mempengaruhinya.

Pada grafik (b), apabila jarak antar elektroda diperbesar, akan membuat lingkaran yang terbentuk pada permukaan minyak silikon semakin besar karena sudut parabola yang merupakan pola garis medan juga semakin besar. Semakin besar jarak antar elektroda, pengaruh momen dipol induksi terhadap molekul-molekul minyak silikon akan semakin melemah. Karena gaya tarik antar molekul yang



Gambar 8. Pengaruh pemutusan medan luar terhadap penyatuan minyak silikon pada sistem pembangkit plasma berkonfigurasi titik-bidang, ditinjau dari lebar jari-jari lubang pada minyak silikon

(a) Variasi tegangan dengan jarak elektroda titik bidang tetap ($h=1,5\text{cm}$) (b) Variasi jarak elektroda titik bidang dengan tegangan tetap ($V=4,8\text{ kV}$)

ditimbulkan oleh dipol semakin lemah, maka pada saat pemutusan medan luar, faktor penghalang yang mempengaruhi kecepatan minyak silikon semakin kecil dan akibatnya menutupnya lubang semakin cepat.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan :

1. Fenomena *Electrohydrodynamic* (EHD) pada minyak silikon yang ditandai dengan adanya deformasi atau pergerakan suatu cairan, dapat diperoleh dengan mengenakan medan listrik non homogen yang sangat tinggi.
2. Pada jarak antar elektroda 1 cm kondisi korona terjadi pada 2,6 kV-4 kV, pada jarak 1,5 cm terjadi pada 3,4 kV-5,2 kV dan pada jarak 2 cm korona terjadi pada 3,8kV-6,0kV.

3. Semakin besar medan listrik menyebabkan jari-jari lubang pada minyak silikon semakin besar karena meningkatnya dipol yang terbentuk. Semakin besar jarak antar elektroda menyebabkan jari-jari lubang pada minyak silikon semakin besar karena sudut parabola medan listrik yang semakin besar.
4. Kecepatan penyatuan minyak silikon setelah pemutusan medan listrik luar:
 - a. Untuk medan yang semakin besar dengan jarak antar elektroda tetap, kecepatan penyatuan minyak semakin lambat
 - b. Untuk jarak antara elektroda yang semakin besar dengan medan listrik tetap, kecepatan penyatuan minyak semakin cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tobing, B.L., 2003, "Peralatan Tegangan Tinggi", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [2] Schaffer, E., Albrecht, T.T., Russell, T.P., Steiner, U., 2001, "Electrohydrodynamic Instability in Thin Polymer Film", *Europhysics Letters*, 53(4), 5182001.
- [3] Lee, T.S., Phan, T., Fok, B., Malraison, B., and Atten, P., 1996, "Imploding and Exploding Circular EHD Solitary Waves Propagating onto an Insulating Dielectric Liquid Layer", *Proceedings Conference Record of the ICDL 12th International Conference on Conduction and Breakdown in Dielectric Liquids*, Roma, Itali.
- [4] Kawamoto, H., and Umezu, S., 2005, "Electrohydrodynamic Deformation Of Water Surface in a Metal Pin to Water Plate Corona Discharge System", *J. Appl. Phys.*, Vol. 38, pp 887-894