

ANALISIS FENOMENA ELEKTROHIDRODINAMIK PADA PERMUKAAN MINYAK MENGGUNAKAN PLASMA LUCUTAN KORONA DC POSITIF DENGAN KONFIGURASI ELEKTRODA GRADIENT OF LINE-TO-PLANE (GL-P)**Desy Nuraini, Asep Yoyo Wardaya dan Zaenul Muhlisin***Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro Jl. Prof. Soedarto, S.H., Semarang 50275*

E-mail: asepyoyowardaya@lecturer.undip.ac.id

*Received: 21 Januari 2021; revised: 13 Februari 2021; accepted: 14 April 2021***ABSTRACT**

The purpose of this study was to analyze the effect of several variations used on the characteristic curve and the distribution of ion winds on electrohydrodynamic phenomena. The active electrodes used were 2×4 cm, 3×6 cm, and 4×8 cm. This research was carried out with variations in the location angle of the active electrode shape (θ) 30°, 45°, and 60° and variations in the distance between the electrodes (d) 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, 2.5 cm, and 3 cm. The results of the research on the I-V curve show that the current strength increases with increasing voltage, and the electrohydrodynamic analysis states that the effect of the diameter of the oil lump hole will change if the variation used also changes. The study was conducted with active electrodes with the same shape, size, angle of sharpness, and the distance between the electrodes.

Keywords: corona discharge, negative corona, positive corona, GL-P electrode configuration, I-V characteristic curve

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh beberapa variasi yang dipakai terhadap kurva karakteristik serta persebaran angin ion pada fenomena elektrohodinamik. Elektroda aktif yang digunakan berukuran 2x4 cm, 3x6 cm, serta 4x8 cm. Penelitian ini dilakukan dengan variasi sudut ketajaman bentuk elektroda aktif (θ) 30°, 45°, dan 60° dan variasi jarak antar elektroda (d) 1 cm, 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm, dan 3 cm. Hasil penelitian pada kurva I-V menunjukkan bahwa kuat arus bertambah sejalan dengan bertambahnya tegangan, serta pada analisis elektrohodinamik menyatakan bahwa pengaruh diameter lubang gumpalan minyak akan berubah jika variasi yang digunakan juga berubah. Penelitian dilakukan dengan elektroda aktif dengan bentuk, ukuran, sudut ketajaman serta jarak antar elektroda yang sama besar.

Kata Kunci: lucutan korona, korona negatif, korona positif, konfigurasi elektroda GL-P, kurva karakteristik I-V, elektrohodinamik

PENDAHULUAN

Elektrohidrodinamik atau biasa disingkat EHD secara luas didefinisikan sebagai cabang mekanika fluida yang berhubungan dengan efek gaya listrik. Prinsip EHD didasarkan pada fenomena hambatan ionik yang dihasilkan dalam cairan dielektrik oleh muatan ruang bergerak yang ditarik oleh medan yang diterapkan secara eksternal. Muatan ruang adalah kumpulan dari sejumlah besar muatan positif atau partikel bermuatan negatif. Elektrohidrodinamik diyakini secara mekanis meningkatkan perpindahan panas cairan fase tunggal melalui berbagai bentuk termasuk gaya elektroforesis dan dielektroforesis, aliran induksi EHD dalam cairan, dan aliran angin dalam gas. Angin listrik adalah fenomena yang terkait dengan induksi muatan listrik menjadi gas dielektrik pada satu elektroda dari dua rakitan elektroda. Medan listrik bekerja pada bulu-bulu muatan dan medan listrik mempercepat muatan menuju elektroda lainnya. Muatan yang bergerak menyeret molekul gas *inert* yang mengelilinginya dan menyebabkan aliran fluida [1].

Terdapat beberapa penelitian yang dapat menunjang penelitian ini diantaranya yaitu analisis fenomena elektrohidrodinamik pada permukaan minyak silikon menggunakan plasma lucutan pijar korona negatif berkonfigurasi elektroda titik-bidang [2], analisis plasma lucutan pijar korona berkonfigurasi elektroda garis-bidang [3], dan perbandingan kurva I-V antara kajian matematis dan eksperimen pembangkitan lucutan korona pada konfigurasi elektroda *gradient of line-to-plane* (GL-P) [4]. Pada analisis elektrohidrodinamik berkonfigurasi elektroda titik-bidang yang dijelaskan oleh [2] bahwa fenomena elektrohidrodinamik pada minyak silikon yang ditandai dengan adanya deformasi atau pergerakan suatu cairan, dapat diperoleh dengan mengenakan medan listrik non-homogen yang sangat

tinggi. 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 dan pengaruh pemutusan medan molekul minyak silikon terhadap kecepatan menutupnya lubang gumpalan minyak dengan variasi tegangan dan jarak. Pada analisis plasma lucutan pijar korona berkonfigurasi elektroda garis-bidang yang dijelaskan oleh [3], hasil percobaan menunjukkan bahwa medan listrik mengalir dari sepanjang garis permukaan tipis dan kedua tepi bawah elektroda tegak lurus menuju elektroda bidang, dengan medan listrik terbesar muncul dari kedua tepi bawah, yang dapat dideteksi dengan munculnya perubahan pada bentuk gelombang minyak pada elektroda bidang. Sedangkan pada perbandingan kurva I-V antara kajian matematis dan eksperimen pembangkitan lucutan korona pada konfigurasi elektroda GL-P yang dijelaskan oleh [4], hasil percobaan menunjukkan bahwa kurva I-V antara kajian matematis dan eksperimen pembangkitan lucutan korona memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi dengan nilai *t-test* terbesar 0,0347 dan persentase titik singgung terkecil 37,50% serta sebaran aliran plasma pada konfigurasi elektroda GL-P terbesar terjadi di area tajam elektroda aktif.

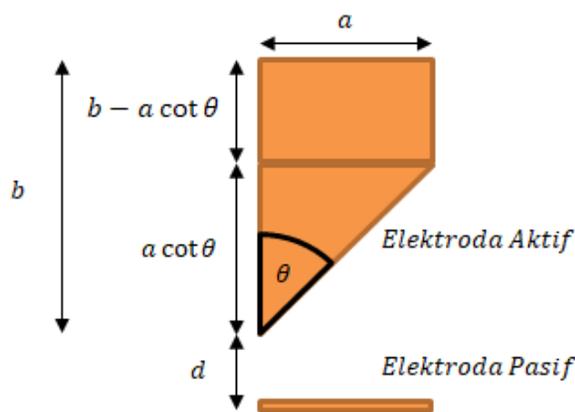
Untuk itu, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan penelitian sebelumnya yang akan membahas analisis fenomena elektrohidrodinamik pada permukaan minyak menggunakan plasma lucutan korona DC dengan konfigurasi elektroda *gradient of line-to-plane* (GL-P). Konfigurasi ini dimodifikasi dengan elektroda aktif berbentuk trapesium siku-siku dengan ketajaman pada salah satu sisi dan ketebalan yang tipis sedangkan elektroda

pasif berbentuk segiempat dalam posisi horizontal. Penelitian ini akan menghasilkan persebaran medan listrik pada kedua sudut elektrodanya dengan menggunakan persebaran minyak pada eksperimen. Simulasi akan dilakukan dengan jenis variasi yakni variasi jarak antar elektroda, variasi sudut ketajaman pada elektroda aktif, dan variasi ukuran elektroda aktif.

DASAR TEORI

Rancang Bangun Elektroda Konfigurasi GL-P

Rancang bangun eksperimen pembangkitan lucutan korona DC pada konfigurasi elektroda *gradient of line-to-plane* (GL-P) terdiri dari 2 pelat elektroda dengan posisi saling tegak lurus. Elektroda aktif berbentuk trapesium siku-siku dengan posisi tegak yang memiliki panjang pelat a , sisi tinggi pelat b , dan ketebalan yang sangat tipis ($\delta = 0,12$ mm). Elektroda aktif memiliki sudut ketajaman bentuk θ terhadap sumbu vertikal elektroda. Elektroda pasif berbentuk segiempat (*plane configuration*) yang terletak di bawah elektroda aktif dengan jarak antar keduanya sebesar d . Elektroda pasif memiliki area luas 20 cm x 20 cm untuk menampung semua aliran fluks listrik yang bergerak dari elektroda aktif menuju elektroda pasif [4]. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.

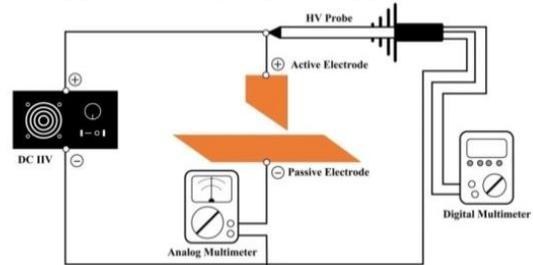


Gambar 1. Tampang lintang konfigurasi elektroda GL-P [4].

METODE PENELITIAN

Skema Alat Eksperimen

Rancang bangun eksperimen ditunjukkan oleh Gambar 2. Tampak bahwa eksperimen ini menggunakan tegangan tinggi DC.



Gambar 2. Skema alat eksperimen.

Elektroda aktif dihubungkan pada kutub positif tegangan. Pada rancang bangun eksperimen terdapat alat untuk mengukur arus dan tegangan pada rangkaian elektroda. Multimeter analog digunakan untuk mengukur arus pada rangkaian dan multimeter digital digunakan untuk mengukur beda potensial pada rangkaian dilengkapi *High Voltage Probe* agar pembacaan tegangan dapat dilakukan dengan mengkonversi dari *kV* menjadi *V*.

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan cairan minyak silikon pada elektroda pasif untuk mengamati pengaruh lucutan korona yang timbul dari elektroda aktif. Minyak silikon yang dipakai untuk setiap pengambilan data sebesar 5 ml. Sebelum kedua elektroda diberi tegangan, minyak silikon ditumpahkan terlebih dahulu di atas elektroda pasif, lalu beri tegangan yang sama untuk setiap variasi. Setelah itu, diamati dan diukur diameter perubahan permukaan minyak setiap pengambilan data. Timbulnya perubahan pada permukaan minyak yang terjadi dapat dianalisis lebih lanjut secara fisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses yang dialami permukaan minyak silikon setelah diberi medan listrik diawali dengan terjadinya polarisasi pada permukaan

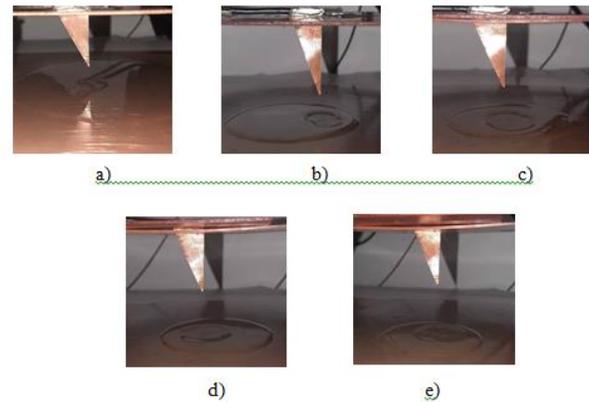
minyak silikon. Polarisasi yang terjadi menyebabkan permukaan minyak berubah menjadi gumpalan minyak. Kemudian tegangan dinaikkan hingga gumpalan minyak silikon bergerak menjauhi pusat lubang. Pergerakan gumpalan minyak silikon dikarenakan adanya angin ion yang mendorong gumpalan minyak sehingga membentuk lubang pada area yang diberi medan listrik. Kuat medan pada elektroda aktif lebih besar daripada kuat medan pada elektroda pasif menyebabkan gas pada udara di sekitar elektroda aktif terionisasi. Potensial positif yang diberikan pada elektroda aktif menyebabkan muatan-muatan negatif seperti ion negatif dan elektron tertarik menuju elektroda aktif dan menolak muatan-muatan positif seperti ion positif. Tertolakannya ion positif dari elektroda aktif yang memiliki potensial positif menciptakan suatu gejala listrik berupa “angin” yang berasal dari elektroda aktif [6]. Pada penelitian ini, angin ion muncul pada tegangan korona.

Analisis Fenomena Elektrohodinamik Variasi Jarak

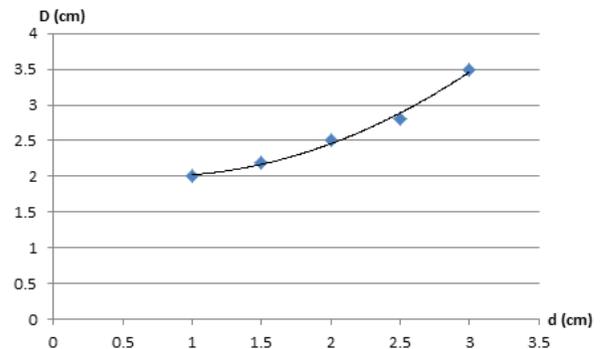
Pemberian plasma lucutan pijar korona serta pengukuran diameter bentuk perubahan permukaan minyak silikon yang diuji pada rangkaian reaktor elektroda berkonfigurasi *gradient of line-to-plane* dengan tegangan masukan 9 kV variasi jarak antar elektroda dengan elektroda aktif yang dipakai berukuran 2×4 cm dan sudut ketajaman 30° dapat dilihat pada Gambar 3. Terjadinya peningkatan jarak antar elektroda mengakibatkan semakin melebarnya pergerakan gumpalan minyak silikon.

Berdasarkan Gambar 3, persebaran gumpalan minyak silikon yang membentuk lubang pada jarak antar elektroda yang lebih jauh akan semakin lebar menjauhi pusat lubang. Hal ini disebabkan oleh sudut parabola dari garis medan yang terbentuk, semakin besar jarak antar elektroda maka akan semakin besar pula sudut parabola

yang terbentuk sehingga diameter lubang pada permukaan minyak silikon juga semakin besar. Grafik pengaruh jarak antar elektroda terhadap besar diameter lubang gumpalan minyak dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Elektrohodinamik variasi jarak antar elektroda a) 1 cm; b) 1,5 cm; c) 2 cm; d) 2,5 cm; e) 3 cm.



Gambar 4. Kurva pengaruh jarak antar elektroda terhadap besar diameter lubang gumpalan minyak variasi jarak antar elektroda.

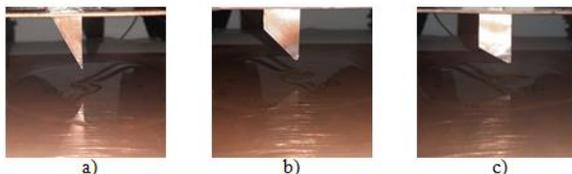
Berdasarkan Gambar 4, pada jarak 1 cm menghasilkan diameter lubang gumpalan minyak sebesar 2 cm, pada jarak 1,5 cm menghasilkan diameter lubang gumpalan minyak sebesar 2,2 cm, pada jarak 2 cm menghasilkan diameter lubang gumpalan minyak sebesar 2,5 cm, pada jarak 2,5 cm menghasilkan diameter lubang gumpalan minyak sebesar 2,8 cm, serta pada jarak 3

cm menghasilkan diameter lubang gumpalan minyak sebesar 3,5 cm.

Diameter lubang akan berubah jika jarak antar elektroda aktif dan elektroda pasif ikut berubah. Semakin jauh jarak antar elektroda, maka diameter lubang gumpalan minyak yang terbentuk semakin besar. Hal ini berbanding terbalik dengan arus yang dihasilkan, dimana semakin jauh jarak antar elektroda maka arus yang dihasilkan semakin sedikit. Diameter lubang bisa berbanding terbalik dengan besarnya arus dikarenakan lebar dari lubang tidak hanya dipengaruhi oleh nilai kuat medan listrik tetapi juga sudut parabola dari garis medan yang terbentuk. Karena semakin besar sudut parabola garis medan, maka lubang yang dihasilkan juga semakin besar [6].

Analisis Fenomena Elektrohodinamik Variasi Sudut

Pemberian plasma lucutan pijar korona serta pengukuran diameter bentuk perubahan permukaan minyak silikon yang diuji pada rangkaian reaktor elektroda berkonfigurasi *gradient of line-to-plane* dengan tegangan masukan 9 kV variasi sudut ketajaman dengan elektroda aktif yang dipakai berukuran 2x4 cm dan jarak antar elektroda 1 cm dapat dilihat pada Gambar 5. Terjadinya peningkatan besar sudut ketajaman mengakibatkan semakin melebarnya pergerakan gumpalan minyak silikon.



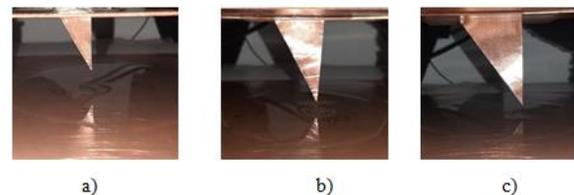
Gambar 5. Elektrohodinamik variasi sudut ketajaman elektroda aktif a) 30°; b) 45°; dan c) 60°.

Berdasarkan pada Gambar 5, persebaran gumpalan minyak silikon yang membentuk lubang dengan elektroda aktif

yang memiliki sudut ketajaman lebih besar akan semakin lebar menjauhi pusat lubang, meskipun arus yang dihasilkan akan semakin sedikit. Hal ini disebabkan oleh sisi miring pada elektroda aktif, semakin besar sudut ketajaman elektroda aktif maka akan semakin dekat pula sisi miring elektroda aktif terhadap elektroda pasif sehingga diameter lubang pada permukaan minyak silikon juga semakin besar karena menerima medan listrik yang tersebar di area elektroda aktif lainnya selain area tajam. Pada sudut ketajaman 30° menghasilkan diameter lubang gumpalan minyak sebesar 1,3 cm, pada sudut ketajaman 45° menghasilkan diameter lubang gumpalan minyak sebesar 1,5 cm, serta pada sudut ketajaman 60° menghasilkan diameter lubang gumpalan minyak sebesar 2 cm.

Analisis Fenomena Elektrohodinamik Variasi Ukuran

Pemberian plasma lucutan pijar korona serta pengukuran diameter bentuk perubahan permukaan minyak silikon yang diuji pada rangkaian reaktor elektroda berkonfigurasi *Gradient of Line-to-Plane* dengan tegangan masukan 9 kV variasi ukuran elektroda aktif dengan sudut ketajaman elektroda yang digunakan 30° dan jarak antar elektroda 1 cm dapat dilihat pada Gambar 6. Terjadinya peningkatan besar ukuran elektroda aktif mengakibatkan semakin melebarnya pergerakan gumpalan minyak silikon.



Gambar 6. Elektrohodinamik variasi ukuran elektroda aktif a) 2x4 cm; b) 3x6 cm; dan c) 4x8 cm.

Berdasarkan Gambar 6, pada elektroda aktif berukuran 2x4 cm menghasilkan diameter lubang gumpalan

minyak sebesar 2 cm, pada elektroda aktif berukuran 3×6 cm menghasilkan diameter lubang gumpalan minyak sebesar 2,5 cm, serta pada elektroda aktif berukuran 4×8 cm menghasilkan diameter lubang gumpalan minyak sebesar 2,6 cm.

Persebaran gumpalan minyak silikon yang membentuk lubang dengan elektroda aktif yang memiliki ukuran lebih besar akan semakin lebar menjauhi pusat lubang. Hal ini disebabkan oleh arus keluaran yang dihasilkan oleh elektroda aktif yang berukuran lebih besar akan menghasilkan arus yang juga lebih besar sehingga kuat medan listrik pada elektroda tersebut pun ikut meningkat.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah:

1. Pada analisis fenomena elektrodinamik variasi jarak antar elektroda membuktikan bahwa semakin besar jarak antar elektroda maka diameter lubang pada permukaan minyak silikon juga semakin besar.
2. Pada variasi sudut ketajaman elektroda aktif membuktikan bahwa semakin besar sudut ketajaman elektroda aktif maka diameter lubang pada permukaan minyak silikon juga semakin besar.
3. Pada variasi ukuran elektroda aktif membuktikan bahwa semakin besar ukuran elektroda aktif maka diameter lubang pada permukaan minyak silikon juga semakin besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Fisika dan FSM Undip yang telah menyediakan fasilitas Laboratorium serta mendukung secara finansial melalui Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP),

Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia berdasarkan kontrak No. 2196/UN7.5.8.2/PP/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Russel MK, Selvaganapathy PR, Ching CY. Ion drag electrohydrodynamic (EHD) micro-pumps under a pulsed voltage. *Journal of Electrostatic*. 2016; 82: 48–54.
- [2] Nur M, Anam C, & Arisa B. Analisis Fenomena Elektrodinamik pada permukaan minyak silikon (cairan dielektrik) menggunakan sistem pembangkit plasma lucutan pijar korona negatif dengan elektroda berkonfigurasi titik-bidang. *Berkala Fisika*. 2007; 10(2): 87-92.
- [3] Wardaya AY, Muhlisin Z, Hudi A, et al. A study of line-plane configuration in the Corona discharge theory. *The European Physical Journal Applied Physics*. 2020; 89 (3): 30801.
- [4] Hadi S, Wardaya AY, Muhlisin Z, et al. Comparison of I-V Curves Between the Experiment of Corona Discharge on Gradient of Line-To-Plane (GL-P) Configuration and The Mathematical Approach. *Journal of Physics and Its Applications*. 2021; 3 (2): 155-164.
- [5] Chen J, Davidson JH, Electron Density and Energy Distributions in the Positive DC Corona: Interpretation for Corona-Enhanced Chemical Reactions. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2002; 22: 199-224.
- [6] Rahayu S, Azam M, Triadyaksa P, et al. Analisis Fenomena Elektrodinamik pada permukaan minyak silikon menggunakan Plasma Lucutan Pijar Korona Positif. *Berkala Fisika*. 2007; 10 (1): 13-23.