

## ANALISIS MEDAN LISTRIK PADA PLASMA KORONA DENGAN KONFIGURASI CINCIN BIDANG

Asep Y. Wardaya<sup>1)</sup>, M. Nur<sup>2)</sup>

Jurusan Fisika, Universitas Diponegoro Semarang

<sup>1)</sup>asepyoyo@yahoo.co.id <sup>2)</sup>m.nur@undip.ac.id

### Abstract

*It has been studied efectivity of the electric field and density of current that have been determined by the physical criteria from a long size of cylinder and a radius of thin ring from the corona plasma generator with the plane ring electrode. The result of the calculation is indicate that the strong electrics field will be resulted by the configurations of the thin ring form, contiguity apart between the thin rings (minimum cylinder length) and the size of the thin ring radius which near of the size of external cylinder radius. The radial symmetrical of geometric form of the thin ring is causing it has not current density form at tip of the thin ring.*

**Key words** : Plasma, plane-ring, electric field, density of current.

### Abstrak

*Telah dipelajari efektifitas dari medan listrik dan rapat arus yang ditentukan oleh ukuran-ukuran fisik dari jari-jari cincin tipis dan ukuran panjang silinder dari pembangkit plasma korona dengan elektroda cincin bidang. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa medan listrik yang kuat akan dihasilkan oleh bentuk konfigurasi cincin tipisnya, kedekatan jarak diantara cincin-cincin tipisnya (panjang silinder minimum) dan ukuran jari-jari cincin tipis yang mendekati jari-jari silinder luar. Bentuk geometris cincin tipis yang simetris secara radial menyebabkan tidak terbentuknya rapat arus pada ujung-ujung cincin tipis tersebut.*

**Kata kunci** : Plasma, cincin bidang, medan listrik, rapat arus.

### PENDAHULUAN

Lucutan pijar korona adalah sebuah plasma non-thermal yang terkarakterisasikan dengan suhu gas yang rendah dan suhu tinggi elektron<sup>[1]</sup>. Teknik plasma nonthermal menawarkan sebuah pendekatan inovatif terhadap solusi yang efektif dan murah untuk menghilangkan gas-gas polutan<sup>[2]</sup>. Lucutan korona dimulai ketika medan listrik disekitar elektroda dengan bentuk geometri sangat lengkung (elektroda aktif) memiliki kemampuan untuk mengionisasi spesies gas<sup>[3]</sup>. Secara umum rapat arus dapat terbentuk pada pembangkit plasma korona apabila divergensi dari medan listrik yang dihasilkan tidak berharga nol. Nilai divergensi dari medan listrik sangat ditentukan oleh bentuk fisik dari alat pembangkit plasma tersebut yaitu

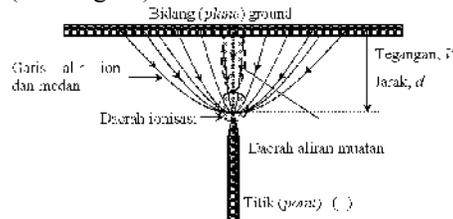
bentuk konfigurasi pembangkit plasma yang tidak simetris terhadap bidangnya seperti pada perhitungan konfigurasi titik-bidang secara umum oleh Coelho dan Debeau<sup>[4]</sup>. Adapun penjelasan mengenai terjadinya arus saturasi pada contoh kasus geometri sebuah elektroda titik yang dikenakan tegangan listrik tinggi adalah medan listrik yang kuat di dekat elektroda titik tersebut akan menghasilkan sebuah *electron avalanche* (pelipatgandaan elektron) yang akan menyebabkan terjadinya ionisasi medium oleh tumbukan elektron<sup>[5]</sup>. Ketika elektron berenergi rendah bertumbukan dengan molekul-molekul gas, elektron-elektron akan membentuk ion-ion negatif atau ion-ion cluster yang dapat mengalirkan muatan ke anode dari sebuah sistem medan listrik<sup>[6]</sup>. Analisis medan listrik dan rapat

arus pada penelitian-penelitian sebelumnya hanya menyangkut titik-bidang<sup>[7]</sup> dan kawat bidang<sup>[8]</sup>. Kebaruan dari perhitungan yang disajikan dalam makalah ini adalah konfigurasi merupakan cincin bidang.

**Konfigurasi Titik Bidang**

Lucutan plasma dari geometri titik-bidang sering dipelajari dalam hubungannya dengan aplikasi industri dari garis-garis lintasan (*array*) bidang titik. *Array* linear dari sistem pengkoronaan titik negatif akan menciptakan arus longitudinal yang lebih merata dari pemancar kawat negatif yang secara khusus memperlihatkan bintik-bintik hebat dari lucutan korona terisolasi dan terkadang bergerak melewati kawat (pemancar kawat positif mempunyai sebuah distribusi arus korona yang lebih merata)<sup>[9]</sup>. Sebagai acuan pembahasan konfigurasi cincin bidang, pada makalah ini dibahas bentuk konfigurasi paling sederhana dari pembangkit plasma yaitu konfigurasi titik bidang.

Pada gambar 1 ditunjukkan daerah dalam lucutan pijar korona antara dua elektroda dengan konfigurasi geometri hiperboloid-bidang yang merupakan pendekatan terhadap geometri titik-bidang. Pada gambar 1 tersebut terdapat arus yang keluar dari geometri lengkung titik bidang yang dinamakan arus saturasi unipolar korona yang dihasilkan dari ion-ion yang mengalir melalui daerah aliran muatan (*drift region*)<sup>[7]</sup>.

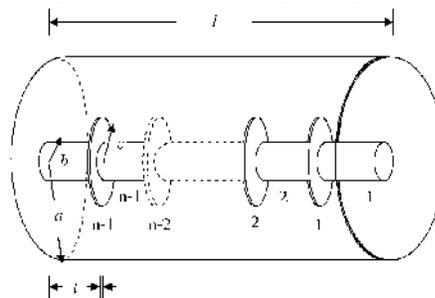


Gambar 1. Ilustrasi daerah antara dua elektroda pada lucutan korona titik bidang dengan polaritas positif pada elektroda titik<sup>[7]</sup>.

**Konfigurasi Cincin Bidang**

Model konfigurasi geometri titik-bidang telah diketahui efektif untuk menghasilkan lucutan pijar korona, namun demikian terdapat berbagai bentuk konfigurasi yang memungkinkan untuk dihasilkannya lucutan pijar korona. Pada makalah ini akan dicoba menghitung efektifitas medan listrik dan rapat arus yang dihasilkan *model pembangkit plasma pijar korona dengan konfigurasi cincin bidang*

Model pembangkit plasma pijar korona dengan konfigurasi cincin bidang seperti digambarkan pada gambar 2, terdiri dari silinder luar dan silinder dalam. Silinder luar mempunyai jari-jari sebesar *a* dan panjang silinder sebesar *l*. Untuk silinder dalam terdiri dari dua bentuk yaitu silinder biasa dengan jari-jari sebesar *b* dan panjangnya *t* serta piringan silinder tipis berbentuk cincin dengan jari-jari sebesar *c* serta tebal piringan cincin sebesar  $\Delta l \cong \Delta l$ . Kedua bentuk pada silinder dalam tersebut saling berurutan berselang-seling.



Gambar 2. Model Pembangkit Plasma Pijar Korona dengan konfigurasi Cincin Bidang

Secara umum untuk bagian silinder dalam yang tersusun dari *n* silinder setinggi *t* dan *n-1* piringan tipis setebal  $\Delta l$ , maka hubungan diantara panjang silinder luar dengan panjang silinder dalam adalah:

$$l = nt + (n-1) \Delta l \cong nt \tag{1}$$

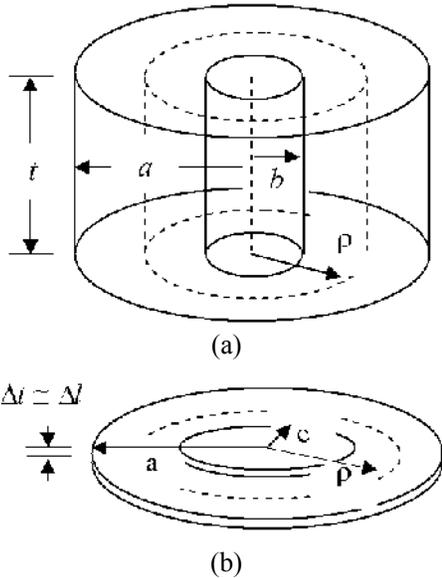
karena dianggap  $\Delta l \rightarrow 0$ .

Untuk menghitung kapasitansi dari susunan elektroda berbentuk silinder bercincin tersebut (susunan

silinder dalam dan silinder luar adalah merupakan dua bagian elektroda), maka perhitungan dibagi dalam 2 bagian yaitu kapasitansi dari silinder biasa dengan jari-jari dalam  $b$  dan jari-jari luar  $a$  dengan tinggi silinder  $t$  serta kapasitansi dari silinder tipis setebal  $\Delta l$  dengan jari-jari luar  $a$  dan jari-jari dalam  $c$ .

Untuk bagian pertama bisa dilihat pada gambar 3a. Medan listrik sepanjang arah radial silinder dengan jari-jari  $b \leq \rho \leq a$  adalah:

$$E_1 = \frac{Q_1}{2\pi\rho t \epsilon_0} \quad (2)$$



Gambar 3. Model elektroda silinder dengan tinggi  $t$ , jari-jari dalam  $b$  dan jari-jari luar  $a$  (a), serta model elektroda piringan tipis setebal  $\Delta l \cong \Delta l$ , jari-jari dalam  $c$  dan jari-jari luar  $a$  (b).

Diperoleh besarnya potensial diantara kedua silinder itu adalah:

$$V_1 = \int_b^a E_1 \cdot d\rho \quad (3)$$

$$= \frac{Q_1}{2\pi t \epsilon_0} \ln\left(\frac{a}{b}\right)$$

sehingga akhirnya diperoleh besarnya kapasitansi dari silinder yaitu:

$$C_1 = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{2\pi t \epsilon_0}{\ln(a/b)} \quad (4)$$

Untuk kasus silinder tipis setebal  $\Delta l$ , dengan jari-jari dalam  $c$  dan jari-jari luar  $a$  dengan  $c \leq \rho \leq a$ , seperti pada gambar 3b, mempunyai cara perhitungan yang hampir sama dengan kasus pada gambar 3a, kecuali tinggi silinder diganti dengan  $\Delta l$  dan jari-jari dalam diganti dengan  $c$ . Diperoleh nilai kapasitansi pada gambar 3b adalah

$$C_2 = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{2\pi \Delta l \epsilon_0}{\ln(a/c)} \quad (5a)$$

$$= \frac{2\pi \epsilon_0}{\delta(l) \ln(a/c)} \quad (5b)$$

dimana  $\delta(l)$  adalah delta Dirac yang didefinisikan sebagai :

$$\delta(x-x') = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{\pi} \frac{\sin T(x-x')}{(x-x')} \quad (6)$$

Kapasitansi total dari silinder seperti pada gambar 2, dapat diungkapkan sebagai:

$$C = nC_1 + (n-1)C_2$$

$$= \frac{2\pi l \epsilon_0}{\ln(a/b)} + \frac{2\pi(n-1)\epsilon_0}{\delta(l) \ln(a/c)} \quad (7)$$

Sehingga potensialnya diperoleh

$$V = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{\left\{ \frac{l}{\ln(a/b)} + \frac{(n-1)}{\delta(l) \ln(a/c)} \right\}} \quad (8)$$

Medan listrik yang timbul diantara kedua elektroda silinder pada gambar 2 adalah :

$$E_\rho = \frac{\partial V(\rho)}{\partial \rho}$$

$$= \frac{Q}{2\pi\rho\epsilon_0} \frac{\delta(l)}{\left\{ l \delta(l) + (n-1) \right\}} \quad (9)$$

Bila harga  $Q$  diubah sebagai fungsi potensial dari persamaan (8), maka diperoleh nilai  $E = E(\rho)$  adalah:

$$E = \frac{V}{\rho} \frac{\delta(l)}{\left\{ l \delta(l) + (n-1) \right\}} \left\{ \frac{l}{\ln(a/b)} + \frac{n-1}{\delta(l) \ln(a/c)} \right\} \quad (10)$$

dengan  $b \leq \rho \leq a$ .

Persamaan (10) merupakan harga medan listrik berarah radial yang timbul dari susunan *Model Pembangkit Plasma Pijar Korona dengan konfigurasi Cincin Bidang*.

Dari persamaan (10) terlihat, untuk menghasilkan medan listrik yang kuat (terutama disumbangkan oleh model elektroda piringan tipis/cincin bidang), maka panjang silinder  $l$  perlu dibuat panjang minimal atau jarak di antara piringan tipis dibuat sekecil mungkin. Faktor lain yang berpengaruh untuk menghasilkan medan listrik yang kuat yaitu jari-jari cincin  $c$  dibuat mendekati jari-jari silinder luar  $a$ .

Untuk beda potensial  $V$  di antara cincin luar dan cincin dalam idealnya dipasang pada tegangan yang tinggi, namun karena alat ini dibuat untuk efisiensi dan kepraktisan yang tinggi seperti penggunaan pembangkit plasma untuk mereduksi gas buangan dari kendaraan bermotor maka  $V$  tidak bisa diharapkan sebagai faktor yang bisa memperkuat medan listrik.

Untuk perhitungan rapat arus dari model pembangkit plasma pijar korona dengan konfigurasi cincin bidang menggunakan perumusan

$$\mathbf{j} = \mu\epsilon(\nabla \cdot \mathbf{E})\mathbf{E} \quad (11)$$

dengan divergensi  $\mathbf{E}$  bila dituliskan dalam koordinat silinder adalah :

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho E_\rho) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial E_\phi}{\partial \phi} + \frac{\partial E_z}{\partial z} \quad (12)$$

Bila medan listrik dari persamaan (10) dimasukkan ke persamaan (11) dengan menggunakan perumusan (12), maka diperoleh rapat arusnya nol. Jadi arus saturasi yang keluar dari pembangkit plasma dengan konfigurasi cincin bidang ( atau model elektroda piringan tipis) adalah nol.

## DISKUSI

Menurut Chen dan Davidson<sup>3)</sup>, lucutan korona dimulai ketika medan listrik berada disekitar elektroda dengan

bentuk geometri sangat lengkung (elektroda aktif).

Pada kasus model pembangkit plasma pijar korona dengan konfigurasi cincin bidang, bentuk geometri model elektroda piringan tipis telah memenuhi syarat geometri sangat lengkung. Namun bentuk piringan tipis yang simetris secara radial menyebabkan arah medan listrik yang keluar juga simetris secara radial sehingga tidak menghasilkan rapat arus.

Hal ini berbeda dengan konfigurasi titik-bidang pada gambar 1 dimana terlihat arus saturasi unipolar korona yang keluar dari geometri lengkung titik bidang dihasilkan dari konfigurasi medan listrik yang tidak simetris.

Selain perlu diadakan percobaan untuk mengetes model pembangkit plasma pijar korona model cincin bidang, maka dapat pula difikirkan bentuk-bentuk geometris lain yang dapat menghasilkan medan listrik yang sangat besar tapi mempunyai bentuk geometris elektroda yang tidak simetris sehingga diharapkan terbentuk arus saturasi dari model plasma tersebut.

Untuk model pembangkit plasma pijar korona dengan konfigurasi cincin bidang bisa dimodifikasi menjadi cincin bergerigi yang panjang dan tajam supaya diperoleh elektroda dengan geometri sangat lengkung dan tidak simetris.

## KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan terhadap besarnya medan listrik dan rapat arus yang dihasilkan dari pembangkit plasma korona dengan elektroda cincin bidang diperoleh kesimpulan bahwa sumbangan medan listrik terbesar dihasilkan dari bentuk konfigurasi cincin tipis yang sangat tajam. Sumbangan medan listrik yang dihasilkan dari konfigurasi silinder biasa tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan konfigurasi cincin tipis dan tajam tersebut. Sumbangan lain

yang cukup signifikan terhadap kekuatan medan listrik adalah jarak yang dibuat seminimal mungkin di antara cincin-cincin tersebut yang sudah tentu secara keseluruhan akan menghasilkan panjang silinder yang minimal untuk jumlah cincin yang tidak berubah serta jari-jari cincin tipis dibuat mendekati atau berimpit dengan jari-jari silinder luar.

Untuk rapat arus yang dihasilkan dari plasma korona dengan konfigurasi cincin bidang adalah nol karena bentuk piringan tipis yang simetris secara radial terhadap bentuk silindernya. Arah medan listrik seperti itu menghalangi terbentuknya rapat arus yang keluar dari ujung-ujung permukaan tajam konfigurasi cincin bidang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Liu, F., Wang, W., Wang, S., Zheng, W. dan Wang, Y., "Diagnosis of OH radical by optical emission spectroscopy in a wire-plate bi-directional pulsed corona discharge", J. of Electrostatics, Vol. 65, pp 445-451 (2007).
- [2] Moon, J.D. dan Jung, J.S., "Effective corona discharge and ozone generation from a wire-plate discharge system with a slit dielectric barrier", J. of Electrostatics, Vol. 65, pp 660-666 (2007).
- [3] Chen, J. dan Davidson, J.H., "Model of the Negative DC Corona Plasma : Comparison to the Positive DC Corona Plasma", Department of Mechanical Engineering University of Minnesota, Minneapolis, [http://www.menet.umn.edu/~jhchen/neg\\_corona\\_plasma\\_final.pdf](http://www.menet.umn.edu/~jhchen/neg_corona_plasma_final.pdf) (2003).
- [4] Coelho, R. Dan Debeau, J., "Properties of the tip-plane configuration", J. Phys. D : Appl. Phys., Vol. 4, pp. 1266-1280 (1971).
- [5] Li, Z., Bonifaci, N., Denat, A., Atrazhev, V.M. dan Atrazhev, V.V., "Ionization and charge transport phenomena in liquid helium induced by corona discharge", J. of Electrostatics, Vol. 66, pp 263 - 274 (2008).
- [6] Wang, Z.W., Zeng, H.C., Guo, J., Zhou, J. dan Liu, N. "Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) gas transfer process enhanced by corona discharge", J. of Electrostatics, Vol. 65, pp 485 - 489 (2007).
- [7] Sigmond, R.S., "Simple Approximation Treatment of Unipolar Space-charge-dominated Coronas : The Warburg Law and The Saturation Current", J. Appl. Phys., Vol 53(2), pp 891-898 (1982).
- [8] Tsoulfanidis, Nicholas, "Measurement and Detecion of Radiastion"Mc Graw Hill : New York. (1983)
- [9] Leta, A.C., Kucerovsky, Z. dan Greason, W.D. "Current density modeling of a linear pin-plane array corona discharge", J. of Electrostatics, Vol. 66, pp 589 - 593 (2008).

