

# GENERATOR PEMBANGKIT PLASMA DENGAN KONFIGURASI ELEKTRODA BATANG TIPIS DAN JARUM

Asep Yoyo Wardaya\* dan Muhammad Nur

Jurusan Fisika, Universitas Diponegoro, Semarang

\*Korespondensi Penulis, Email: asepyoyowardaya@undip.ac.id

## Abstract

The application of plasma generator has been developed for everyday live because it can generate high electric field and induced current, even by only 12 volt of potential difference. The advantages of the plasma generator are mainly caused by configuration form of its electrodes which is usually very sharp and asymmetric form. In this paper, plasma generator has been discussed using electrodes configuration of the thin rod and needle in two dimensional planes. The result shows that the plasma generator can produce various high electric fields, which highest field at the tip of needle electrode. In case of configuration of needle electrode, it will be produced saturated current due to their asymmetric electrodes, while in case of thin rod electrode; it will be no saturated current due to symmetric electrode.

**Keywords:** plasma generator, thin rod and needle configuration electrodes, electric field, saturated current.

## Abstrak

Penggunaan generator pembangkit plasma telah dikembangkan untuk membantu kehidupan manusia karena generator tersebut dapat menghasilkan medan listrik dan arus induksi yang besar walaupun dihasilkan oleh sumber tegangan 12 Volt. Kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh generator pembangkit plasma tersebut disebabkan oleh bentuk konfigurasi dari elektroda-elektrodanya yang sangat tajam dan tidak simetris bentuknya. Pada makalah ini akan dibahas generator pembangkit plasma dari konfigurasi elektroda batang tipis dan jarum dalam ruang dua dimensi. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa generator plasma tersebut dapat menghasilkan medan listrik dengan besar bervariasi dan nilai terbesar medan listrik berada tepat diujung elektroda jarum. Untuk kasus konfigurasi elektroda jarum akan menghasilkan arus saturasi disebabkan oleh bentuk elektrodanya yang tidak simetris sedangkan pada kasus elektroda batang tipis tidak menghasilkan arus saturasi karena bentuk elektroda yang simetris.

**Kata Kunci:** Generator plasma, konfigurasi elektroda batang tipis dan jarum, medan listrik, arus saturasi.

## Pendahuluan.

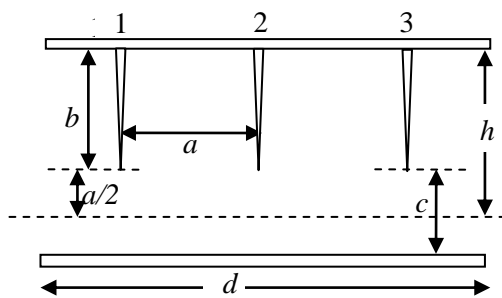
Beberapa generator pembangkit plasma dalam ukuran skala kecil dengan berbagai bentuk dan fungsi telah banyak digunakan untuk membantu berbagai masalah kehidupan manusia diantaranya adalah generator plasma untuk menyerap asap kendaraan bermotor [1], pengolahan limbah cair [2], pemercepat persemajian mangrove [3], industri makanan [4], dsb. Konfigurasi yang sangat tajam dari salah satu bagian elektrodanya serta bentuk elektroda

plasma yang tidak simetris menjadi penyebab dari kemunculan medan listrik dan arus saturasi yang besar yang disebut sebagai lucutan korona dan plasma yang terbentuk disebut plasma korona [5].

Berbagai bentuk konfigurasi elektroda pembangkit plasma, baik yang telah dibuat dan dimanfaatkan ataupun masih dalam bentuk model diantaranya adalah konfigurasi elektroda pisau bidang dan jarum [6], model konfigurasi elektroda cincin bidang [7] dan model

konfigurasi elektroda pisau bidang [8]. Penelitian Nur dkk [9] juga telah menghasilkan reaktor dielektrik *Barrier Discharge Plasma* dengan elektroda kawat spiral silinder yang dapat membangkitkan ozon untuk memperpanjang jangka waktu penyimpanan beras. Dalam penelitian lain, Nur dkk. [10] telah membahas hasil eksperimen mobilitas pembawa muatan dalam plasma korona argon mulai dari tekanan atmosfer gas sampai fase cair dengan menggunakan elektroda titik bidang sehingga dapat mengamati kemunculan fenomena angin ion.

Pada makalah ini akan dibahas perhitungan model alat pembangkit plasma dalam ruang dua dimensi dengan konfigurasi elektroda batang tipis dan jarum yang dilukiskan pada gambar 1,



Gambar 1. Alat pembangkit plasma dengan konfigurasi elektroda batang sangat tipis satu dimensi dengan panjang batang sebesar  $d$  dan luas penampang diabaikan serta 3 buah jarum dengan panjang  $b$  yang menempel pada salah satu batang. Perhitungan medan listrik dan arus saturasi diambil pada titik-titik tertentu dalam suatu lintasan garis sejauh  $u = (h - b) = a/2$  dari masing-masing ujung jarum.

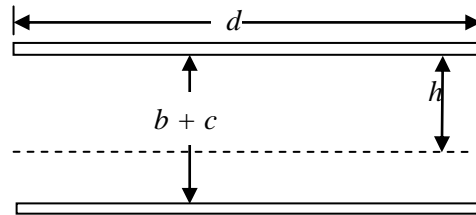
Alat pembangkit plasma yang dibahas pada makalah ini merupakan tinjauan teoritik dari sistem elektroda yang berada dalam ruang dua dimensi (bidang  $xy$ ) yang terdiri dari dua batang tipis yang sama dengan panjang  $d$ , dimana pada salah satu batang ditempel 3 buah jarum dengan panjang  $b$  dan jarak diantara dua buah jarum yang paling dekat adalah  $a$ . Jarak dari susunan ujung-ujung jarum tersebut dengan

batang tak berjarum adalah  $c$ , sehingga jarak diantara kedua batang tipis adalah  $b + c$ .

Pada makalah ini akan disajikan perhitungan medan listrik dan arus saturasi dari alat pembangkit plasma pada gambar 1 di atas dalam ruang dua dimensi sejauh  $(h - b) = a/2$  dari ujung jarum. Perhitungan medan listrik dan arus saturasi dari generator pembangkit plasma ini dibagi dalam dua kategori yaitu pasangan elektroda dari dua batang tipis serta pasangan elektroda batang tipis dan jarum.

### Perhitungan medan listrik dari elektroda dua batang tipis.

Perhitungan medan listrik yang dihasilkan oleh lucutan korona dengan elektroda dua batang tipis (luas penampang batang diabaikan) disajikan pada gambar 2 dibawah,



Gambar 2. Model elektroda dua batang sangat tipis dengan panjang  $d$  dan jarak diantara kedua batang adalah  $b + c$ . Pada bagian ini akan dihitung besarnya medan listrik pada jarak tertentu  $h = b + a/2$  yang berada pada daerah diantara kedua batang tipis tersebut.

Misalkan terdapat dua buah batang tipis identik yang saling berhadapan dengan panjang masing-masing batang adalah  $d$  dan luas penampang batang diabaikan. Jarak diantara kedua batang adalah  $b + c$ . Jika kedua batang tersebut dimuati dengan masing-masing muatan sebesar  $Q$  dan  $-Q$ , maka besarnya beda potensial dan medan listrik pada jarak  $h$  tertentu yang berada pada daerah diantara kedua batang tipis tersebut adalah

$$V_1(h) = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{Qh}{\epsilon_0 \cdot d \cdot \Delta l} = \frac{Q\delta(l)h}{\epsilon_0 \cdot d} = k \left( \frac{h}{d} \right), \quad (1)$$

$$E_1(h) = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{Q}{\epsilon_0 d \cdot \Delta l} = \frac{Q \delta(l)}{\epsilon_0 d} = \frac{k}{d}, \quad (2)$$

dimana  $\delta(l)$  adalah delta Dirac yang didefinisikan sebagai [11] :

$$\delta(x-x') = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{\pi} \frac{\sin T(x-x')}{(x-x')}, \quad (3)$$

dan  $k = Q\delta(l)/\epsilon_0$  adalah konstanta yang bergantung pada tegangan listrik  $V$  yang diberikan. Jika  $V$  adalah besarnya tegangan sepanjang batang tipis dengan  $\epsilon \ll 1$ , maka dari persamaan (1) diperoleh,

$$V_1(h = \epsilon) = V = k \left( \frac{\epsilon}{d} \right). \quad (4)$$

Dengan menggunakan (4), maka persamaan (2) dapat dituliskan kembali sebagai,

$$E_1(h) = \frac{V}{\epsilon}. \quad (5)$$

**Perhitungan Medan listrik dari konfigurasi elektroda Jarum.**

Perhitungan medan listrik yang dihasilkan oleh lucutan korona dengan konfigurasi elektroda jarum dengan pendekatan hiperbola bidang dirumuskan menurut persamaan [12],

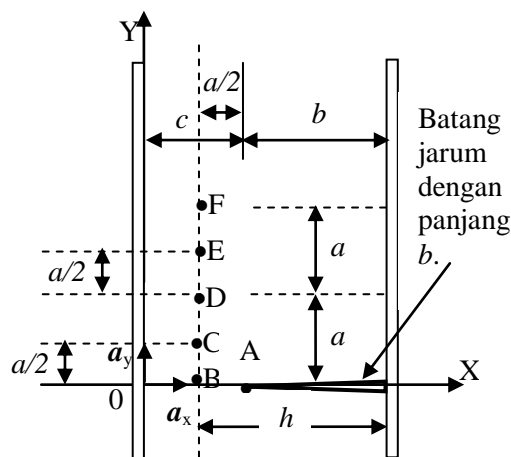
$$E(\xi, \eta) = \frac{[V / \ln(\frac{2}{\epsilon})]}{c \cos \xi (\cosh^2 \eta - \sin^2 \xi)^{1/2}}, \quad (6)$$

dimana  $V$  adalah tegangan listrik yang diberikan dan  $c$  adalah jarak dari ujung konduktor jarum dengan konduktor batang dalam kasus dua dimensi yang dihubungkan melalui persamaan koordinat

$$x = c \sin \xi \cosh \eta ; y = c \cos \xi \sinh \eta, \quad (7)$$

dengan  $\eta$  adalah parameter yang mendefinisikan titik tertentu pada hiperbola yang didefinisikan oleh  $\xi$ .

Sebelum perhitungan medan listrik dari tiga buah jarum seperti pada gambar 1 diatas, maka ditinjau dahulu besarnya medan listrik yang dihasilkan oleh sebuah jarum pada titik-titik tertentu dalam alat plasma yaitu pada titik-titik A, B, C, D, E dan F seperti diperlihatkan pada gambar 3 dibawah,



Gambar 3. Penggambaran posisi titik-titik A, B, C, D, E dan F yang terinduksi medan listrik dari sumber elektroda jarum yang terletak pada sumbu X.

Pada gambar 3 di atas, terlihat sebuah jarum dengan panjang  $b$  (berujung di titik A), yang menempel pada sebuah batang. Terdapat titik-titik lain B, C, D, E dan F yang berjarak sebesar  $h$  dari bagian awal batang dengan  $(h - b) = a/2$  atau titik-titik B, C, D, E dan F mempunyai jarak mendatar  $x = c - \frac{1}{2}a$ , dengan  $c$  adalah jarak dari ujung jarum terhadap batang yang tak berjarum.

Medan listrik yang dihasilkan oleh sumber tegangan elektroda jarum di titik A dengan  $\xi = \frac{1}{2}\pi - \epsilon$  dengan  $\epsilon \ll 1$  dan  $\eta = 0$  (karena nilai  $y = 0$ ), diperoleh dari persamaan (6) sebagai [12],

$$E_A = E(\frac{1}{2}\pi - \epsilon, 0) = \frac{[V / \ln(\frac{2}{\epsilon})]}{c \cos^2(\frac{1}{2}\pi - \epsilon)}, \quad (8)$$

dimana hubungan nilai  $\eta$  terhadap variable-variabel  $x$  dan  $y$  didefinisikan sebagai

$$\eta = \tanh^{-1} \left\{ \frac{y}{x} \tan(\frac{1}{2}\pi - \epsilon) \right\}. \quad (9)$$

Persamaan (8) mengindikasikan nilai medan listrik yang sangat besar pada

ujung jarum (titik *A*) karena nilai dari  $\cos^2(\frac{1}{2}\pi - \varepsilon) \square 1$ .

Untuk kasus di titik *B* yang berjarak  $x = a/2$  dari ujung konfigurasi elektroda jarum, medan listrik yang dihasilkan dari posisi sumbu  $y = 0$  atau  $\eta = 0$ , adalah

$$E_B(x = c - \frac{1}{2}a, y = 0) = \frac{[cV / \ln(\frac{2}{\varepsilon})]}{[c^2 - (c - \frac{1}{2}a)^2]} \quad (10)$$

Untuk perhitungan medan listrik yang dihasilkan di posisi titik-titik *C*, *D* dan *E*, dapat digunakan persamaan (6) yang telah diubah menjadi,

$$E(\xi, \eta) = \frac{[V / \ln(\frac{2}{\varepsilon})]}{\sqrt{c^2 \cos^4 \xi + y^2}}, \quad (11)$$

dimana terdapat hubungan

$$\cos^2 \xi = \frac{u \pm \sqrt{u^2 + 4c^2 y^2}}{2c^2}, \quad (12)$$

dengan  $u$  didefinisikan sebagai

$$u = c^2 - y^2 - x^2 = c^2 \cos^2 \xi - \frac{y^2}{\cos^2 \xi}. \quad (13)$$

Perumusan nilai-nilai  $x$  dan  $y$  dihubungkan dengan koordinat-koordinat hiperbola  $\xi$  dan  $\eta$  telah didefinisikan pada (7). Nilai-nilai  $x$ ,  $y$ ,  $u$  dan  $u + [u^2 + 4c^2 y^2]^{1/2}$  di titik-titik *A*, *B*, *C*, *D*, *E* dan *F* pada gambar 3 didefinisikan pada tabel dibawah ini,

**Tabel 1.** Nilai-nilai  $x$ ,  $y$ ,  $u$  dan  $u + [u^2 + 4c^2 y^2]^{1/2}$  di titik-titik *A*, *B*, *C*, *D*, *E* dan *F* pada gambar 3

| Titik    | $x$                | $y$            | $u$                    | $2c^2 \cos^2 \xi = u + \sqrt{u^2 + 4c^2 y^2}$                          |
|----------|--------------------|----------------|------------------------|--|
| <i>A</i> | $c$                | $0$            | $0$                    | $2c^2 \cos^2(\frac{1}{2}\pi - \varepsilon)$                            |
| <i>B</i> | $c - \frac{1}{2}a$ | $0$            | $ca - \frac{1}{4}a^2$  | $2(ca - \frac{1}{4}a^2)$   |
| <i>C</i> | $c - \frac{1}{2}a$ | $\frac{1}{2}a$ | $ca - \frac{1}{2}a^2$  | $[ca - \frac{1}{2}a^2] + \sqrt{[ca - \frac{1}{2}a^2]^2 + c^2 a^2}$     |
| <i>D</i> | $c - \frac{1}{2}a$ | $a$            | $ca - \frac{5}{4}a^2$  | $[ca - \frac{5}{4}a^2] + \sqrt{[ca - \frac{5}{4}a^2]^2 + 4c^2 a^2}$    |
| <i>E</i> | $c - \frac{1}{2}a$ | $\frac{3}{2}a$ | $ca - \frac{10}{4}a^2$ | $[ca - \frac{10}{4}a^2] + \sqrt{[ca - \frac{10}{4}a^2]^2 + 9c^2 a^2}$  |
| <i>F</i> | $c - \frac{1}{2}a$ | $2a$           | $ca - \frac{17}{4}a^2$ | $[ca - \frac{17}{4}a^2] + \sqrt{[ca - \frac{17}{4}a^2]^2 + 16c^2 a^2}$ |

Dari data-data pada tabel 1 diatas dan perumusan (11) diperoleh nilai-nilai dari medan listrik pada titik-titik *C*, *D*, *E* dan *F* sebagai,

$$E_C(\xi, \eta) = \frac{[cV / \ln(\frac{2}{\varepsilon})]}{\sqrt{(ca - \frac{1}{4}a^2)^2 + \frac{1}{16}a^4 + \frac{1}{2}[ca - \frac{1}{2}a^2] \sqrt{[ca - \frac{1}{2}a^2]^2 + c^2 a^2}}}, \quad (14)$$

$$E_D(\xi, \eta) = \frac{[\sqrt{2}cV / \ln(\frac{2}{\varepsilon})]}{\sqrt{[ca - \frac{5}{4}a^2]^2 + 4c^2 a^2 + [ca - \frac{5}{4}a^2] \sqrt{[ca - \frac{5}{4}a^2]^2 + 4c^2 a^2}}}, \quad (15)$$

$$E_E(\xi, \eta) = \frac{[2cV / \ln(\frac{2}{\varepsilon})]}{\sqrt{[20c^2 a^2 - 10ca^3 + \frac{100}{8}a^4] + [2ca - 5a^2] \sqrt{[10c^2 a^2 - 5ca^3 + \frac{100}{16}a^4]}}}, \quad (16)$$

$$E_F(\xi, \eta) = \frac{[2cV / \ln(\frac{2}{\varepsilon})]}{\sqrt{[34c^2 a^2 - 17ca^3 + \frac{289}{8}a^4] + 2[ca - \frac{17}{4}a^2] \sqrt{[17c^2 a^2 - \frac{17}{2}ca^3 + \frac{289}{16}a^4]}}}. \quad (17)$$

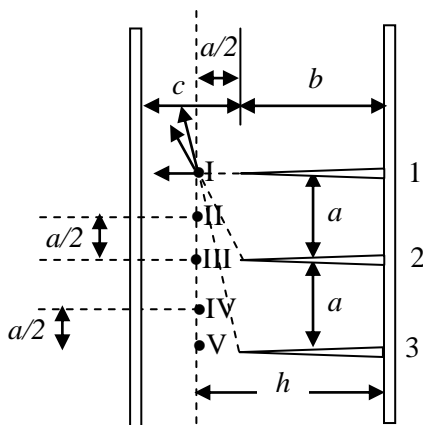
Selanjutnya nilai-nilai medan listrik  $E_A, E_B, E_C, E_D, E_E$  dan  $E_F$  diatas akan digunakan dalam perhitungan medan listrik yang dihasilkan oleh 3 elektroda jarum dengan menggunakan konsep superposisi dari medan vektor.

### Perhitungan Medan listrik dari 3 konfigurasi elektroda Jarum.

Perhitungan medan listrik yang dihasilkan oleh 3 buah elektroda jarum harus menggunakan konsep superposisi vektor-vektor medan listrik yang dihasilkan dari masing-masing jarum tersebut. Secara umum untuk titik-titik yang berada diluar jarum (seperti titik-titik  $B, C, D, E$  dan  $F$ ), perhitungan medan listrik secara vektor dirumuskan oleh persamaan

$$\mathbf{E}(\xi, \eta) = \frac{[V/\ln(\frac{2}{\epsilon})]}{\sqrt{c^2 \cos^4 \xi + y^2}} \frac{\{x_N \mathbf{a}_x + y_N \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{x_N^2 + y_N^2}}, \quad (18)$$

dimana pada gambar 4 dibawah diperlihatkan posisi titik-titik  $I, II, III, IV$  dan  $V$ , yang menggambarkan titik-titik yang terinduksi medan listrik dari sumber 3 buah elektroda jarum,



Gambar 4. Penggambaran Posisi titik-titik  $I, II, III, IV$  dan  $V$  pada generator pembangkit plasma dengan 3 buah konfigurasi elektroda jarum terhadap batang tipis. Pada gambar diatas disajikan contoh arah vektor medan listrik dari jarum 1, 2 dan 3 yang menginduksi di titik  $I$ .

Pada gambar di atas masing-masing titik  $I, II, III, IV$  dan  $V$  memperoleh tiga buah medan listrik yang berasal dari jarum 1, 2 dan 3. Misalnya titik  $I$  memperoleh medan  $E_B$  dari jarum 1, medan  $E_D$  dari jarum 2 dan medan  $E_F$  dari jarum 3 yang dapat dituliskan dengan menggunakan persamaan (18) sebagai

$$\mathbf{E}_I(\xi, \eta) = -[E_B]_1 \mathbf{a}_x + [E_D]_2 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x + a \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + a^2}} + [E_F]_3 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x + 2a \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + 4a^2}}. \quad (19)$$

dimana notasi  $[E_B]_1$  adalah besarnya medan  $E_B$  (persamaan 10) dari sumber jarum 1,  $[E_D]_2$  adalah besarnya medan  $E_D$  (persamaan 15) dari sumber jarum 2, dsb. Untuk besarnya medan-medan listrik lainnya dapat diungkapkan sebagai berikut,

$$\mathbf{E}_{II}(\xi, \eta) = [E_C]_1 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x - \frac{a}{2} \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + \frac{1}{4} a^2}} + [E_C]_2 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x + \frac{a}{2} \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + \frac{1}{4} a^2}} + [E_E]_3 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x + \frac{3a}{2} \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + \frac{9}{4} a^2}}. \quad (20)$$

$$\mathbf{E}_{III}(\xi, \eta) = [E_D]_1 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x - a \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + a^2}} - [E_B]_2 \mathbf{a}_x + [E_D]_3 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x + a \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + a^2}}. \quad (21)$$

$$\mathbf{E}_{IV}(\xi, \eta) = [E_E]_1 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x - \frac{3a}{2} \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + \frac{9}{4} a^2}} + [E_C]_2 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x - \frac{a}{2} \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + \frac{1}{4} a^2}} + [E_C]_3 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x + \frac{a}{2} \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + \frac{1}{4} a^2}}. \quad (22)$$

$$\mathbf{E}_V(\xi, \eta) = [E_F]_1 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x - 2a \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + 4a^2}} + [E_D]_2 \frac{\{-\frac{a}{2} \mathbf{a}_x - a \mathbf{a}_y\}}{\sqrt{\frac{1}{4} a^2 + a^2}} - [E_B]_3 \mathbf{a}_x. \quad (23)$$

Medan listrik total pada titik-titik *I, II, III, IV* dan *V* adalah nilai masing-masing medan (19) – (23) dan ditambahkan dengan medan listrik yang dihasilkan oleh konfigurasi elektroda dua batang tipis pada persamaan (5). Kasus yang sama juga berlaku untuk posisi di ujung jarum (titik *A*), dimana medan totalnya merupakan penjumlahan vektor medan listrik dari 3 sumber elektroda jarum di titik *A* tersebut dan sumber elektroda dua batang tipis.

### Perhitungan Rapat Arus Listrik.

Kemunculan arus saturasi dari generator pembangkit plasma dapat dilihat dengan perhitungan rapat arus dari model pembangkit plasma pijar korona melalui hubungan [13],

$$\mathbf{j} = \mu\epsilon(\nabla \cdot \mathbf{E}) \mathbf{E} = \mu\epsilon \left( \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} \right) \mathbf{E}. \quad (24)$$

Untuk kasus elektroda-elektroda dari dua batang tipis akan mempunyai nilai medan listrik berdasarkan persamaan (5) sebesar

Untuk kasus medan-medan  $E_B, E_C, E_D, E_E$  dan  $E_F$  dengan menggunakan perumusan medan listrik (18) yang diubah ke dalam fungsi koordinat kartesian dua dimensi,

$$\mathbf{E}(x, y) = \frac{[2cV / \ln(\frac{2}{\epsilon})]}{\sqrt{\left[ (c^2 - y^2 - x^2) + \sqrt{[c^2 - y^2 - x^2]^2 + 4c^2 y^2} \right]^2 + 4c^2 y^2}} \begin{Bmatrix} x_N \mathbf{a}_x + y_N \mathbf{a}_y \\ \sqrt{x_N^2 + y_N^2} \end{Bmatrix}, \quad (29)$$

diperoleh besarnya divergensi dari medan listrik (29) sebagai

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{4[cV / \ln(\frac{2}{\epsilon})] \{xx_N(u + \beta)^2 + yy_N[(u + \beta)(u + \beta + 2c^2) + 4c^2\beta]\}}{\{(u + \beta)^2 + 4c^2 y^2\}^{3/2} \beta \sqrt{x_N^2 + y_N^2}}, \quad (30)$$

yang menghasilkan kerapatan arus sebesar

$$\mathbf{j}_3 = 8\mu\epsilon [cV / \ln(\frac{2}{\epsilon})]^2 \frac{\{xx_N(u + \beta)^2 + yy_N[(u + \beta)(u + \beta + 2c^2) + 4c^2\beta]\}}{\{(u + \beta)^2 + 4c^2 y^2\}^2 \beta} \begin{Bmatrix} x_N \mathbf{a}_x + y_N \mathbf{a}_y \\ (x_N^2 + y_N^2) \end{Bmatrix}, \quad (31)$$

$$\text{dimana } u = c^2 - y^2 - x^2 = c^2 - y^2 - (c - \frac{1}{2}a)^2 \text{ dan } \beta = \sqrt{u^2 + 4c^2 y^2}.$$

$$\mathbf{E}_1(x, y) = -E_1(h) \mathbf{a}_x = -\frac{V}{\epsilon} \mathbf{a}_x, \quad (25)$$

yang menghasilkan divergensi nol,  $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$ , sehingga tidak menghasilkan rapat arus,

$$\mathbf{j}_1 = \mu\epsilon(\nabla \cdot \mathbf{E}) \mathbf{E} = 0. \quad (26)$$

Ketiadaan arus saturasi pada kasus elektroda-elektroda dari dua batang tipis di atas disebabkan oleh bentuk elektroda yang simetris sehingga arah medan listrik yang keluar juga simetris dan tidak menghasilkan rapat arus.

Untuk kasus medan listrik pada ujung elektroda jarum di titik *A* (medan  $E_A$ ) akan diperoleh besarnya medan listrik sebagai

$$\mathbf{E}_2(x, y) = -E_A(x, y) \mathbf{a}_x = -\frac{[V / \ln(\frac{2}{\epsilon})]}{x \cos^2(\frac{1}{2}\pi - \epsilon)} \mathbf{a}_x, \quad (27)$$

yang menghasilkan nilai rapat arus,

$$\mathbf{j}_2 = -\mu\epsilon \frac{[V / \ln(\frac{2}{\epsilon})]^2}{c^3 \cos^4(\frac{1}{2}\pi - \epsilon)} \mathbf{a}_x. \quad (28)$$

Dari hasil perhitungan rapat arus diatas diperoleh bahwa nilai rapat arus terbesar dihasilkan tepat di ujung jarum (titik A) dengan rapat arusnya sebesar  $j_2$ , dikarenakan terdapat faktor  $\cos^4\left(\frac{1}{2}\pi - \varepsilon\right) \approx 1$  dengan  $\varepsilon \approx 1$ .

### Kesimpulan

Dari hasil perhitungan besarnya medan listrik dan rapat arus yang dihasilkan dari generator pembangkit plasma korona dengan konfigurasi elektroda batang tipis dan jarum dalam ruang dua dimensi diperoleh kesimpulan bahwa sumbangan medan listrik dan rapat arus terbesar dihasilkan tepat diujung konfigurasi elektroda jarum (titik A). Untuk kasus konfigurasi elektroda dua batang tipis akan menghasilkan medan listrik yang cukup besar namun tidak menghasilkan arus saturasi dikarenakan oleh bentuk elektroda yang simetris sehingga arah medan listrik yang keluar juga simetris dan tidak menghasilkan rapat arus. Untuk posisi diluar jarum pada suatu jarak mendatar tertentu sebesar  $x = c - \frac{1}{2}a$  di titik-titik I, II, III, IV dan V akan menghasilkan variasi-variasi medan listrik dan arus saturasi yang berbeda-beda nilainya dengan menggunakan konsep superposisi vektor-vektor medan listrik.

### Daftar Pustaka

- [1] Nur, M., 2011, *Fisika Plasma dan Aplikasinya*, Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2] Susilowati, G., Warsito, A., dan Syakur A., 2009, *Perbandingan Konfigurasi Geometri Elektroda pada reaktor Plasma Lucutan Korona Tegangan Tinggi dan Aplikasinya sebagai Pengolah Limbah Cair*, Skripsi, Semarang: Universitas Diponegoro.
- [3] Nur, M, Nasruddin, Wasiq, J., dan Sumariyah, 2013, *Penerapan Teknologi Plasma untuk Mempercepat Persemaian Mangrove sebagai Upaya Rehabilitasi Green Belt untuk Mengatasi Abrasi*, Riptek, Vol. 7 (1), pp. 15-26.
- [4] Timothy, Goodenough, I.J., Goodenough, P. W., dan Goodenough, S. M., 2007, *The Efficiency of Corona Wind Drying and Its Application to The Food Industry*, Journal of Food Engineering 80, pp. 1233-1238.
- [5] Sigmond, R.S., 1982, *Simple Approximate Treatment of Unipolar Spacecharge-Dominated Coronas: The Warburg Law and The Saturation Current*, J. Appl. Phys. 53, pp. 891-898.
- [6] Triadyaksa, P., Setiawan, A. E., Sugiarto, A., Hanafi, U., dan Nur, M., 2005, *Pembangkitan Plasma Lucutan Pijar Korona menggunakan Sumber Tegangan Tinggi DC*, Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan 2005.
- [7] Wardaya, A. Y., dan Nur, M., 2010, *Analisis Medan Listrik pada Plasma Korona dengan Konfigurasi Cincin Bidang*, Berkala Fisika, Vol. 13(4), pp. 139 – 144.

- [8] Wardaya, A. Y., dan Nur, M., 2011, *The Electric Field Formulations In The Plane-Knife Configurations*, Berkala Fisika UNDIP, Volume 14 Nomor 2.
- [9] Nur, M., Solichin, A., Kusdiyantini, E., Winarni, T. A., Rahman, D. A., Maryam, R., Teke, S., dan Muharam, H., 2013, *Ozone Production by Dielectric Barrier Discharge Plasma for Microbial Inactivation in Rice*, 3<sup>rd</sup> International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME), 2013, *IEEE Explore*, pp. 221-225.
- [10] Nur, M., Bonifaci, N., dan Dena, A., 2014, *Ionic Wind Phenomenon and Charge Carrier Mobility in Very High Density Argon Corona Discharge Plasma*, *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 12041.
- [11] Hassani, S., *Mathematical Physics : A Modern Introduction to Its Foundations*, Springer-Verlag, New York, 1999.
- [12] Coelho, R., dan Debeau, J., 1971, *Properties of the tip – plane configuration*, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol. 4, pp. 1266-1280.
- [13] Halliday, D., Resnick, R. dan Walker, J., *Fundamentals of Physics*, John Wiley & Sons, New York, Edisi ke tujuh, 2005.