

KARAKTERISASI REAKTOR PLASMA BERARUS POSITIF KONFIGURASI ELEKTRODA MULTITITIK-BIDANG DAN PENERAPANNYA PADA KAIN *POLYESTER GREY*

CHARACTERIZATION OF POSITIVE CURRENT PLASMA REACTORS WITH MULTIPOINT-PLANE ELECTRODE CONFIGURATION AND ITS APPLICATION ON GREY POLYESTER FABRIC

Zaenul Muhlisin^{1,2}, Wienda Intan Permatasari¹, Fajar Arianto^{1,2}, Achmad Sjaifudin Tayibnapis³,
Pandji Triadyaksa^{1,2}

¹Laboratorium Fisika Radiasi dan Medik, Departemen Fisika, Universitas Diponegoro, Semarang, 50275,
Indonesia

E-mail: muhlisin@gmail.com

²Center for Plasma Research, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

E-mail: ariantofajar@gmail.com

³Balai Besar Tekstil

E-mail: iputbbt@gmail.com

Tanggal diterima: 10 Desember 2018, direvisi: 14 Desember 2018, disetujui terbit: 17 Desember 2018

ABSTRAK

Penelitian tentang teknologi plasma pada kondisi atmosfer telah dilakukan untuk mengembangkan industri tekstil. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakteristik plasma dengan maupun tanpa penempatan kain *polyester grey* diantara dua elektroda serta mendapatkan karakteristik serapan tetes air pada kain *polyester grey* setelah diiradiasi menggunakan plasma. Plasma dibangkitkan dengan menggunakan reaktor berkonfigurasi elektroda multititik-bidang menggunakan elektroda titik sebanyak 100. Elektroda titik tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan tinggi DC dan berperilaku sebagai anoda dengan elektroda bidang sebagai katoda. Jarak antar elektroda titik ditetapkan sebesar 1,3 cm yang dikonfigurasi pada 10 baris dan 10 kolom. Kain *polyester grey* yang diiradiasi berukuran (10x10) cm² dan diletakkan pada elektroda bidang. Dalam proses iradiasi, jarak antar elektroda diatur pada jarak 0,9 cm hingga 3,6 cm dengan tiap kenaikan jarak sebesar 0,3 cm. Mobilitas ion dalam proses iradiasi ditentukan dengan menggunakan karakteristik arus – tegangan dari pembangkitan plasma. Proses iradiasi plasma pada kain *polyester grey* ditetapkan selama 5 menit hingga 35 menit dengan tiap kenaikan durasi selama 5 menit. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin besar jarak antara elektroda mengakibatkan besar arus pembangkitan plasma semakin kecil. Akar arus sebagai fungsi terhadap tegangan merupakan persamaan garis lurus sehingga nilai mobilitas ion dapat ditentukan dengan pendekatan persamaan Robinson. Perhitungan mobilitas ion tanpa kain diantara elektroda menunjukkan nilai 30,07 cm²/Vs pada jarak antar elektroda 0,9 cm dengan *trend* menurun hingga 4,32 cm²/Vs seiring pertambahan jarak antar elektroda. Sedangkan perhitungan mobilitas ion dengan menempatkan kain *polyester grey* pada elektroda menunjukkan nilai 10,25 cm²/Vs pada jarak antar elektroda 2,1 cm dengan *trend* yang juga menurun hingga 3,39 cm²/Vs seiring pertambahan jarak antar elektroda. Karakteristik kain poliester mengalami perubahan berupa penyerapan tetes air yang semakin cepat hingga 1,2 detik dimana sebelum diiradiasi terukur selama sebesar 15 detik.

Kata kunci: Plasma korona positif, elektroda titik-bidang, kain *polyester*, mobilitas pembawa muatan, persamaan Robinson.

ABSTRACT

Research on plasma technology at atmospheric pressure has been conducted to develop the textile industry. This research aims to compare the plasma characteristics with and without polyester fabric placed between two electrodes and to obtain water drops characteristic of polyester fabric after the plasma irradiation. The plasma is generated using a reactor of multipoint-to-plane electrode configuration using 100 points. The point electrode was connected to a DC high voltage source and set as an anode with the plane electrode as cathode. The distance between the point electrode was set for 1.3 cm and was configured in ten rows and ten columns. The irradiated polyester fabric has 10x10 cm² dimension and it was placed on the plane electrode. In the irradiation process, the distance between electrodes was set at 0.9 cm to 3.6 cm with 0.3 cm increment. The ions mobility during the

irradiation process is determined by using the voltage-current characteristic of the plasma's generation. The plasma irradiation process on the polyester fabric was set for 5 minutes to 35 minutes with 5 minutes increment. The results showed that the increase of the distance between the electrodes will reduce the current from the plasma's generation. The roots of the current as a function of voltage is a linear equation, therefore, the ions mobility value can be determined from the approach of the Robinson equation. The ions mobility calculation without any fabric between the electrodes showed a value of $30.07 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ at 0.9 cm electrode's distance and is decreased to $4.32 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ when the distance between the electrodes is increased. Whereas the ion mobility calculation using the fabric between the electrodes showed a value of $10.25 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ at 2.1 cm electrode's distance with the same reduction trend to $3.39 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ along with the increase of the distance between the electrodes. The polyester fabric characteristic showed an increase of water drop absorbency of the fabric up to 1.2 seconds whereas before irradiation is measured for 15 seconds.

Keywords: Positive corona plasma, plasma electrode multi point field, polyester fabric, the mobility of the charge carriers, Robinson equation.

PENDAHULUAN

Dalam bidang tekstil, penggunaan radiasi untuk material berserat menunjukkan potensi yang menjanjikan karena mampu meningkatkan berbagai sifat fungsional pada bahan tekstil yang mendapat perlakuan radiasi plasma. Proses basah kain membutuhkan jumlah yang banyak, menghasilkan limbah yang banyak, dan menggunakan energi yang besar.¹ Namun, meskipun menjanjikan keuntungan yang besar, pemrosesan plasma pada skala industri masih lambat untuk membuat dampak yang besar dalam industri tekstil. Kendala lainnya yaitu lambatnya pengembangan sistem plasma yang cocok untuk industri, fokus yang lambat pada pengembangan sistem plasma bertekanan rendah dan kurangnya transparansi publik mengenai kesuksesan dan kegagalan dari percobaan-percobaan industri.²

Penelitian aplikasi radiasi plasma terhadap kain pernah dilakukan oleh Kailani yakni dengan menggunakan pembangkit plasma tipe DBD (*Dielectric Barrier Discharge*). Pada penelitian ini didapatkan penurunan berat pada rayon viskosa, kapas, nilon dan poliester. Dengan menggunakan metode ini dapat mengurangi pencemaran dan diperoleh efisiensi bahan bakar yang digunakan, namun kelemahan dari penggunaan plasma DBD ini yaitu bahan yang dapat di-*treatment* adalah bahan yang telah mengalami proses pemasakan dan pencucian sehingga masih memerlukan cukup banyak air.³ Dari penelitian tersebut masih diperlukan kajian untuk menentukan jenis dan tipe pembangkit plasma yang cocok untuk digunakan dalam *treatment* kain. Salah satu jenis plasma adalah plasma atmosfer, penelitian mengenai plasma pada tekanan atmosfer telah dilakukan oleh Jitsomboonmit dkk. pada tahun 2012.⁴

Dari beberapa tipe reaktor plasma yang sudah diteliti, masing-masing memiliki tingkat kesulitan yang berbeda-beda dalam menghasilkan *Glow Discharge Plasma*. Plasma pijar korona dalam kondisi atmosfer menjadi suatu metode paling sederhana untuk melakukan modifikasi permukaan kain tekstil karena mudah dalam perancangan dan perawatannya dan untuk

meningkatkan sifat hidrofilik dari kain poliester.² Weilin Xu dan Xin Liu pada 2003 melakukan penelitian penggunaan lucutan korona untuk modifikasi permukaan poliester. Permasalahan yang muncul adalah belum diketahuinya karakteristik faktor-faktor peradiasian yang optimum dengan menggunakan plasma korona untuk mendapatkan perubahan sifat fisika pada kain sehingga dimungkinkan untuk diterapkan dalam tekstil secara nyata.⁵ Pada penelitian yang dilakukan Moon dan Jung, bila sebuah mika diletakkan di tengah diantara kedua elektroda didapatkan hasil bahwa elektroda ketiga dari sebuah tipe plasma *Wire-Plate* dengan celah dielektrik akan menghasilkan lucutan korona.⁶

Pada tulisan ini, akan dibahas pembangkitan plasma korona positif dan karakteristik lucutan baik tanpa kain *polyester grey* maupun dengan adanya kain *polyester grey* di ruang plasmanya. Selain itu, juga akan dibahas perubahan karakteristik serapan air sebagai akibat iradiasi yang dilakukan terhadapnya. sampel kain tersebut.

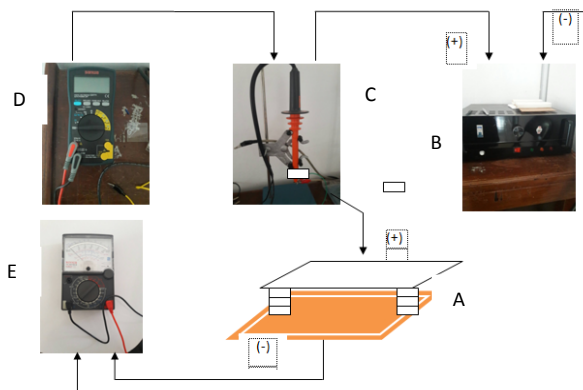
METODE

Rangkaian elektroda yang dipakai dalam penelitian ini adalah elektroda multitik-bidang. Elektroda titik menggunakan jarum dengan panjang jarum 1,6 cm yang terdiri dari 100 titik dengan jarak tiap titik adalah 1,3 cm yang dipasang pada PCB. Skema rangkaian reaktor plasma yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.

Sumber tegangan yang digunakan pada elektroda multitik-bidang ini adalah sumber tegangan tinggi DC. Sumber tegangan DC dihubungkan pada multimeter analog pencatat arus (WINNER, model YX-360TREB, tegangan 220 V, frekuensi 50/60Hz, buatan China) dan HV probe (DC max Voltage 40 kV, AC 28 kV model no: PD-28, serial no: 01605733). HV probe digunakan untuk mengkonversi nilai beda potensial dari orde kilo volt menjadi orde volt sehingga dapat dibaca oleh multimeter. HV probe dihubungkan ke multimeter digital pengukur tegangan (Multimeter SANWA, tipe CD771). Keluaran yang lain dari

multimeter akan disambungkan ke elektroda negatif, dimana fungsi dari sumber tegangan DC adalah sebagai sumber tegangan agar arus dapat terbaca.

Parameter yang divariasi dalam penelitian ini adalah arus, beda potensial dan jarak antar elektroda. Jarak antara elektroda untuk karakterisasi adalah 0,9 cm; 1,2 cm; 1,5 cm; 1,8 cm; 2,1 cm; 2,4 cm; 2,7 cm; 3 cm; 3,3 cm dan 3,6 cm, sedangkan jarak untuk iradiasi kain adalah 1,2 cm; 1,5 cm; 1,8 cm; 2,1 cm; dan 2,4 cm, serta variasi waktu yaitu 0 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, 30 menit, dan 35 menit. Penilaian perubahan sifat fisik-kimia pada kain menggunakan uji tetes cairan dengan uji tunda 24 jam.



Gambar 1. Skema alat reaktor plasma konfigurasi elektroda multititik-bidang dengan susunan peralatan. (A) elektroda multititik – bidang, (B) pembangkit tegangan tinggi, (C) HV Probe, (D) pengukur tegangan, dan (E) pengukur arus listrik

Mobilitas ion

Karakteristik arus-tegangan (I-V) dan mobilitas pembawa muatan setiap reaktor plasma dilakukan karakterisasi hubungan arus dengan tegangan. Karakterisasi arus-tegangan harus dilakukan dengan pendekatan Robinson (persamaan 1).⁷

$$I_s = \frac{2N\mu\epsilon_0}{d} (V - V_i)^2 \tag{1}$$

Diperoleh suatu perumusan menentukan mobilitas suatu ion sesuai persamaan (2).

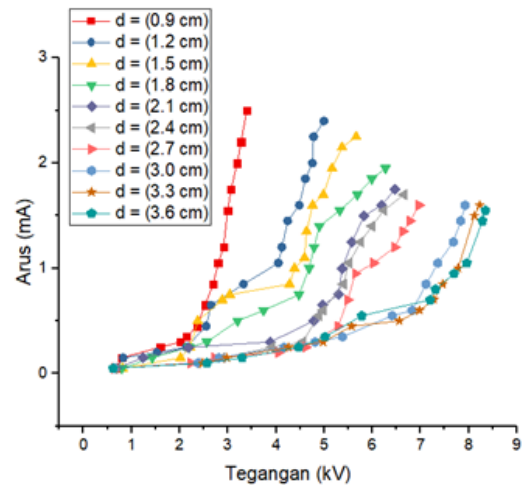
$$\mu = \frac{dI_s^2}{2N\epsilon_0} \tag{2}$$

dimana μ adalah mobilitas pembawa muatan (cm^2/Vs), d adalah jarak antar elektroda, ϵ_0 adalah permitivitas total bahan (F/m), C adalah perpotongan garis dengan I_s dalam satuan (mA), V adalah tegangan yang dipakai (kVolt), V_i adalah

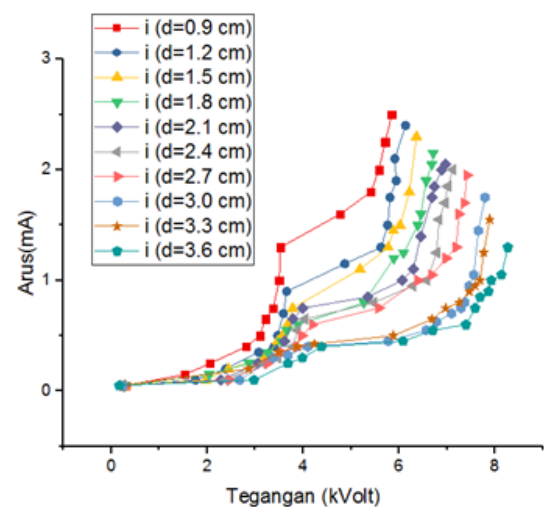
tegangan ambang korona (Volt), N adalah jumlah titik pada elektroda titik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Plasma pijar korona dibangkitkan dengan menggunakan pembangkit sumber tegangan tinggi DC (*Direct Current*). Dengan menghubungkan polaritas positif pada elektroda dan saklar HV dinyalakan dan mengatur tegangannya agar dapat terjadi lucutan. Selanjutnya tegangan dinaikkan sampai arus naik. Jarak antara elektroda multititik-bidang dengan elektroda bidang yaitu 0,9 cm, 1,2 cm, 1,5 cm, 1,8 cm, 2,1 cm, 2,4 cm, 2,7 cm, 3,0 cm, 3,3 cm, dan 3,6 cm. Nilai arus plasma muncul karena adanya beda potensial yang diberikan pada kedua elektron mengalir dari katoda menuju anoda. Hasil pengukuran karakterisasi antara arus (I) dan tegangan (V) tanpa menggunakan kain *polyester grey* dengan berbagai nilai ketinggian dapat dilihat pada Gambar 2 (a).



(a)



(b)

Gambar 2. (a). Karakterisasi arus (I) dan tegangan pada sampel, (b) Karakterisasi arus (I) dan tegangan (V) dengan sampel kain poliester.

Perbedaan antara karakterisasi arus dan tegangan tanpa sampel dan dengan sampel yaitu nilai tegangan ambang pada tanpa sampel lebih besar dibandingkan dengan sampel dan pola grafik lebih kuadratis dibandingkan dengan sampel kain. Selain itu untuk mencapai lucutan *arc*, pada elektroda dengan sampel hanya membutuhkan tegangan sampai 8.269 kV sedangkan elektroda tanpa sampel membutuhkan tegangan hampir mencapai 8.347 kV, beberapa perbedaan tersebut disebabkan oleh ada tidaknya isolator di dalam reaktor, dimana pada elektroda dengan sampel disisipi oleh dielektrik berupa kain poliester, sedangkan pada pengukuran arus tegangan tanpa sampel tidak disisipi bahan apapun.

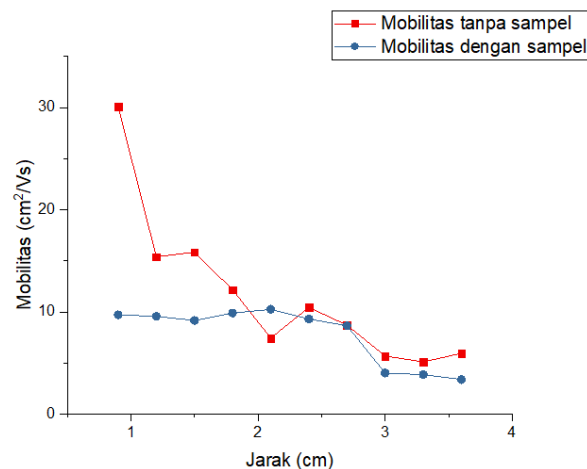
Dari gambar (a) dan (b) dapat diambil dua hal yang sama, pertama adalah adanya kesamaan karakteristik arus (I) dan tegangan (V) pada elektroda tanpa sampel maupun dengan sampel sesuai dengan persamaan Robinson. Hal ini membuktikan bahwa persamaan Robinson dapat digunakan untuk kondisi elektroda tanpa sampel maupun dengan sampel. Hal kedua yang sama adalah bahwa pada tegangan yang bernilai sama terjadi perbedaan nilai arus, dimana terjadi penambahan arus seiring dengan meningkatnya tegangan.

Mobilitas rerata pembawa muatan pada elektroda multtititik-bidang

Mobilitas ion diambil dari nilai $I^{1/2}$. Pada penelitian ini diperhitungkan mobilitas ion pada plasma baik untuk elektroda yang dengan sampel maupun tanpa sampel dalam reaktor. Pada Gambar 3 ditunjukkan bahwa mobilitas tanpa sampel diperoleh dengan nilai mobilitas maksimum sebesar 30,07 cm²/Vs pada jarak antar elektroda 0,9 cm, sedangkan mobilitas minimum sebesar 5,96 cm²/Vs pada jarak antar elektroda 3,6 cm. Dan mobilitas dengan sampel kain *polyester grey* diperoleh nilai mobilitas maksimum sebesar 10,25 cm²/Vs pada jarak antar elektroda 2,1 cm sedangkan mobilitas minimumnya sebesar 3,39 cm²/Vs pada jarak antar elektroda 3,6 cm.

Dielektrik dapat memperlemah medan listrik diantara kedua elektroda, karena medan listrik balik dari molekul-molekul di dalam dielektrik yang arahnya berlawanan dengan medan listrik dari potensial. Jika molekul-molekul di dalam dielektrik bersifat polar, maka dielektrik mempunyai momen dipol untuk menyerahkan diri dengan medan listrik bergantung pada kuat medan dan temperatur. Momen-momen dipol akan terpolarisasi oleh medan jika searah dengan pengaruh total dari potensial pada dielektrik homogen adalah hadirnya muatan permukaan pada bidang batas antara elektroda dan dielektrik. Muatan permukaan yang terikat pada dielektrik menghasilkan medan listrik yang berlawanan dengan arah medan, yang disebabkan

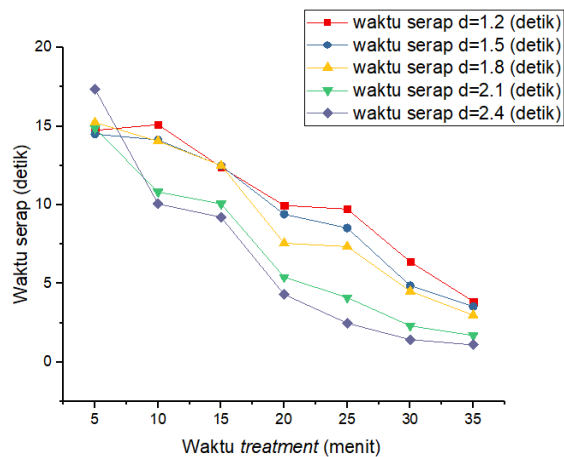
oleh muatan-muatan bebas diantara elektroda. Akhirnya, medan listrik diantara elektroda menjadi berkurang atau lemah, dengan keadaan seperti ini penurunan medan listrik membuat aliran ion semakin lambat karena ditarik lemah oleh katoda. Aliran ion yang semakin lemah akan menyebabkan produksi arus ion unipolar menurun sehingga nilai mobilitas mengalami penurunan medan listrik. an. Mobilitas ion tanpa sampel kain dengan sampel kain polyester. ditunjukkan pada Gambar (a) dan Gambar (b) mobilitas ion dengan sampel kain *polyester grey*. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai mobilitas mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak antar elektroda.



Gambar 3. Grafik mobilitas pembawa muatan tanpa sampel dan dengan sampel sebagai fungsi dari jarak antar elektroda

Uji serap kain poliester

Uji tetes dilakukan dengan buret 25 ml dengan jarak antara ujung buret dengan kain adalah 1,0 cm dan besar tetesan 1,0 ml.⁸ Parameter kontrol dari percobaan ini adalah arus, jarak antar elektroda dan waktu *treatment*. Jarak elektroda yang dipakai adalah 1,2 cm, 1,5 cm, 1,8 cm, 2,1 cm, dan 2,4 cm. Dengan waktu *treatment* adalah 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit, 30 menit, dan 35 menit. Waktu tunda yang dipakai adalah 1 x 24 jam. Waktu serap adalah estimasi waktu dari peradiasian hingga uji tetes. Setelah didiamkan selama 24 jam maka dibandingkan antara kain yang di-*treatment* dan kain yang tidak di-*treatment*. Hasil menunjukkan bahwa kain yang sudah di-*treatment* akan lebih air cepat menyerap air dibandingkan dengan kain yang tidak di-*treatment* dengan plasma. Hal ini dapat terjadi karena fenomena goresan akibat interaksi langsung antara plasma dan permukaan kain.¹



Gambar 4. Grafik hasil uji tetes air hubungan waktu serap dengan waktu *treatment* pada kain poliester.

Berdasarkan Gambar 4 diperoleh bahwa kemampuan menyerap air paling optimum terjadi pada ketinggian 1,5 cm dengan waktu serap 3,53 detik dengan lama peradiasian 35 menit, sedangkan pada ketinggian 2,4 cm kemampuan menyerap air paling optimum adalah 1,09 detik dengan lama peradiasian 35 menit. Pada penelitian yang dilakukan oleh Arunkumar (2014) bahwa kain yang di-*treatment* dengan plasma selama 20 menit dan 40 menit kemudian diuji kemampuan penyerapan airnya. Hasil menunjukkan bahwa dengan *treatment* plasma selama 40 menit diperoleh hasil penyerapan yang lebih cepat pada kain katun dibandingkan dengan *treatment* selama 20 menit. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan serta jarak antar elektroda maka arus akan semakin meningkat. Parameter yang mempengaruhi efek dalam proses *treatment* adalah waktu peradiasian dan daya yang digunakan karena tidak ada perbedaan yang signifikan antara elektroda multititik-bidang dengan garis bidang.⁹ Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa *treatment* plasma dapat meningkatkan tingkat kebasahan pada kain yang lebih baik.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Karakterisasi arus (I) – tegangan (V) pada elektroda multititik-bidang menghasilkan persamaan grafik kuadrat atau polinomial orde dua, dimana persamaan nilai arus sebanding dengan nilai kuadrat tegangan ($I \sim V^2$). Semakin besar jarak antar elektroda maka arus yang dihasilkan akan meningkat seiring bertambahnya tegangan.
2. Arus pada elektroda tanpa sampel sebagai fungsi tegangan mengalami kenaikan lebih cepat dibandingkan tanpa sampel. Selain itu

untuk mencapai lucutan *arc*, pada elektroda dengan sampel hanya membutuhkan tegangan 8,269 kV, sedangkan tanpa sampel membutuhkan tegangan 8,347 kV.

3. Menurut hasil perhitungan, nilai mobilitas ion tanpa sampel $4,32 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ pada jarak antar elektroda 3,6 cm maupun dengan sampel sebesar $3,39 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ pada jarak antar elektroda 3,6 cm, mobilitas ion berkurang seiring dengan kenaikan jarak antar elektroda dan besar nilai mobilitas ion tanpa sampel kain lebih besar dibandingkan dengan sampel kain
4. Semakin lama *treatment* yang diberikan pada kain maka akan semakin baik dalam menyerap air dari kain poliester (*Grey Polyester*).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dr. Muhammad Nur, DEA, Ade Ika Susan, M.Si, dan seluruh pihak di *Center for Plasma Research* (CPR) yang telah membuka jalan penelitian aplikasi plasma. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak di laboratorium Fisika Atom dan Inti atas dukungan sarana dan prasarana selama proses penelitian.

PUSTAKA

1. Bhat, N. V., Netravali, A. N., Gore, A. V., Sathianarayanan, M. P., Arolkar, G. A., and Deshmukh, R. R. Surface modification of cotton fabrics using plasma technology. *Text. Res. J.* **81** (10), 1014–1026 (2011).
2. Shishoo, R. (Ed).. *Plasma Technologies for Textiles*, 1sted. Cambridge UK: Woodhead Publishing Ltd. (2007).
3. Zubaidi, K. A. Pemanfaatan Energi Plasma dalam Proses Tekstil untuk memperbaiki Sifat-Sifat Kain. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir*. (2005).
4. Jitsomboonmit, P., Nisoa, M., and Dangtip, S. Experimental Study of Current-Voltage Characteristics and Optical Emission of Various Gases in Dielectric Barrier Discharge at Atmospheric Pressure. *Phys. Procedia.* **32**, 723–731 (2012).
5. Xu, W., and Liu, X. Surface modification of polyester fabric by corona discharge irradiation. *Eur. Polym. J.* **39** (1), 199–202 (2003).
6. Moon, J., and Jung, J. A Wire-Plate Type Nonthermal Plasma Reactor Utilizing a Slit Dielectric Barrier and a Third Electrode. *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology* **1** (1), 21-27 (2007).
7. Nur, M., Fadhilah, A., Suseno, A., and Sutanto,

- H. Mobilitas Ion-Ion Ar⁺, OH⁻, CO₂, O₂, dan Laju Aliran Angin Ion dalam Plasma Korona pada Tekanan Atmosfer. *J. Mat Stat* **12** (12), 165–175 (2012).
8. Moerdoko, Isminingsih, Wagimun, and Soeripto. *Evaluasi Tekstil: Bagian Fisika*. Bandung: Institut Teknologi Tekstil. (1973).
9. Karahan, H. A., Özdoğan, E., Demir, A., Ayhan, H., and Seventekin, N. Effects of atmospheric pressure plasma treatments on certain properties of cotton fabrics. *Fibres Text. East. Eur.* **73** (2), 19–22 (2009).
-