

MODIFIKASI PERMUKAAN SERAT POLIESTER MENGGUNAKAN SISTEM PLASMA NON TERMAL TEKANAN ATMOSFER DENGAN METODE LUCUTAN KORONA OLEH IONISASI UDARA

SURFACE MODIFICATION OF POLYESTER FIBERS USING NON THERMAL ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA SYSTEM WITH CORONA DISCHARGE METHOD BY MEANS OF AIR IONIZATION

Untung Prayudie, Eva Novarini

Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung
E-mail: texirdti@bdg.centrin.net.id

Tanggal diterima: 24 April 2015, direvisi: 20 Mei 2015, disetujui terbit: 29 Mei 2015

ABSTRAK

Sifat fisik dan fungsi kain poliester dapat ditingkatkan melalui modifikasi permukaan tekstil menggunakan teknologi plasma. Pada penelitian ini, modifikasi pada permukaan kain poliester diperoleh melalui perlakuan plasma lucutan korona pada tekanan atmosfer. Plasma lucutan korona dihasilkan melalui ionisasi udara normal menggunakan prototip mesin plasma non termal dengan konfigurasi elektroda titik dan bidang. Jarak antar elektroda adalah 25 mm. Fenomena plasma lucutan korona pada kain poliester menghasilkan efek etsa yang terbukti dapat memodifikasi permukaan kain poliester. Citra SEM menunjukkan kain poliester sesudah perlakuan plasma mengalami perubahan kekasaran permukaan yang terlihat dari banyaknya lepuhan, bukit, celah dan pori-pori di sepanjang permukaan serat. Efek etsa terbukti pula dari berkurangnya berat kain poliester setelah perlakuan plasma. Tingkat kekasaran permukaan dan persentase pengurangan berat kain poliester berbanding lurus dengan durasi perlakuan plasma. Fenomena plasma berpengaruh terhadap peningkatan sifat hidrofilik kain poliester. Hasil pengujian menunjukkan kecepatan pembasahan kain poliester meningkat signifikan (hingga 6 kali lipat) setelah perlakuan plasma. Peningkatan kecepatan pembasahan ini lebih disebabkan oleh efek etsa akibat perlakuan plasma yang menghasilkan perubahan porositas antar sumbu benang pada kain poliester.

Kata kunci: plasma, lucutan korona, poliester, modifikasi permukaan, sifat hidrofilik

ABSTRACT

Physical and functional properties of polyester fabric can be enhanced by modification of the fiber surface using plasma technology. In this study, surface modification of polyester fabric was obtained via corona discharges plasma treatment at atmospheric pressure. The corona discharges plasma was generated by normal air ionization utilizing non thermal plasma prototype device with a point-plane configuration of the electrodes. The distance between the electrodes was 25 mm. This corona discharges plasma phenomenon results an etching effects on polyester fabric which alter the fabric surfaces, evidently. SEM images show the surface roughness alteration on polyester fabric after plasma treatment that visibly seen from the blisters, hills, fissures and pores that formed along the fiber surfaces. The etching effects also generate the weight reduction of polyester fabric after plasma treatment. Surface roughness level and weight reduction percentage of polyester fabric directly proportional with the duration of the plasma treatment. The plasma phenomenon also affect on the improvement of hydrophilicity properties of polyester fabric. The wettability tests reveal that the wetting velocity of the plasma treated polyester fabric has been increased significantly (up to 6 times). This improvement might be caused by etching effects due to porosity changes between the axis of the yarn.

Keywords: corona discharges, polyester, surface modification, hydrophilic properties

PENDAHULUAN

Industri proses basah tekstil konvensional sangat boros dalam penggunaan air dan energi serta menyumbang beban cemaran tinggi terhadap lingkungan yang berasal dari penggunaan bahan-bahan kimia berbahaya. Fokus pengembangan

teknologi untuk industri ini kini dititikberatkan pada teknologi yang mampu melakukan efisiensi penggunaan air, energi dan bahan kimia. Teknologi plasma diharapkan dapat menjadi salah satu solusi permasalahan pada industri proses basah tekstil ini.

Teknologi plasma diakui sebagai suatu teknik perekayasaan permukaan material yang

efektif dengan tingkat presisi tinggi. Proses plasma merupakan proses kering (tidak memerlukan air) sehingga dianggap lebih bersifat ramah lingkungan. Bergantung pada sifat spesifik dari plasma yang digunakan, material tekstil dapat dietsa/dirusak (penghilangan material induk), dibersihkan (penghilangan kontaminan), diaktivasi (peningkatan energi permukaan) atau dilapisi (deposisi dari film tipis fungsional) oleh plasma.¹ Ilustrasi mengenai modifikasi permukaan yang terjadi oleh proses plasma dapat dilihat pada Gambar 1.² Pada proses tekstil, teknologi plasma dapat digunakan untuk meningkatkan sifat hidrofilik dan adhesi, meningkatkan pewarnaan, mengubah konduktivitas listrik, menanamkan sifat hidrofobik dan oleofilik, penyempurnaan anti kotor, antibakteri dan anti api, sterilisasi, penyempurnaan anti mengkeret pada wool dan penghilangan kanji serta pemasakan pada kapas, rayon viskosa, nilon dan poliester.^{3,4,5,6,7}

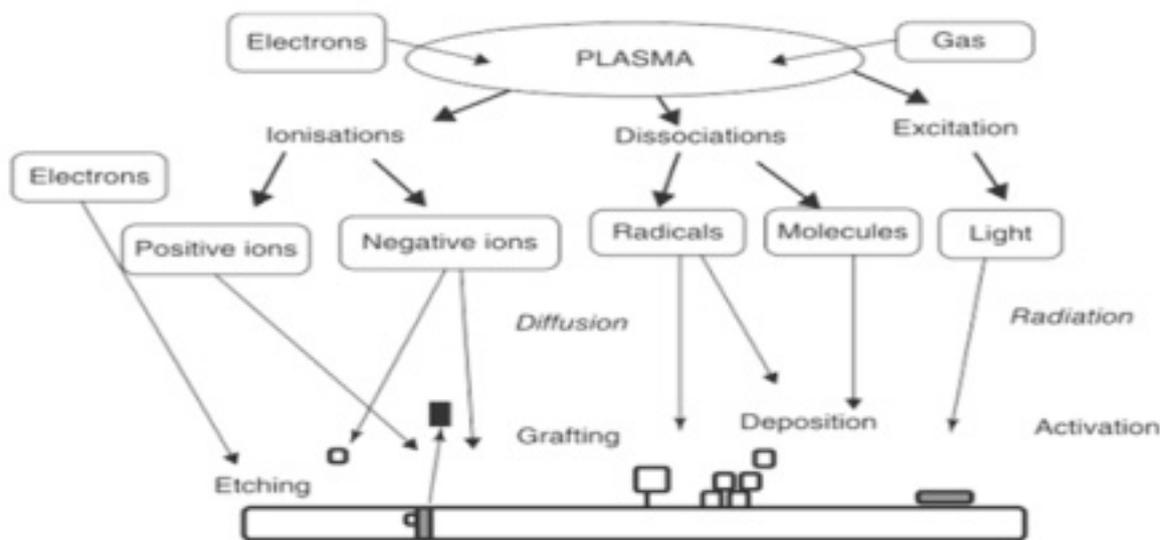
Plasma dihasilkan ketika terjadi ionisasi gas dengan muatan ion positif dan negatif yang setara oleh bantuan daya elektromagnet pada tekanan atmosfer atau tanpa tekanan (vakum) dalam suatu reaktor pada suhu ruangan. Pada kondisi tersebut atmosfer dipenuhi oleh ion, atom, molekul dan radikal bebas yang dapat mengakibatkan terjadinya fenomena plasma/interaksi permukaan pada suatu material polimer yang dimasukkan ke dalamnya.³ Ilustrasi proses plasma pada material tekstil dapat dilihat pada Gambar 2.⁹

Teknologi plasma yang diterapkan pada industri tekstil sebaiknya menggunakan teknologi plasma bertemperatur rendah supaya tidak merusak material tekstil yang diproses. Media penghasil plasma untuk industri tekstil sebaiknya berupa peralatan yang dapat memproduksi plasma non termal dengan konfigurasi geometris yang sesuai

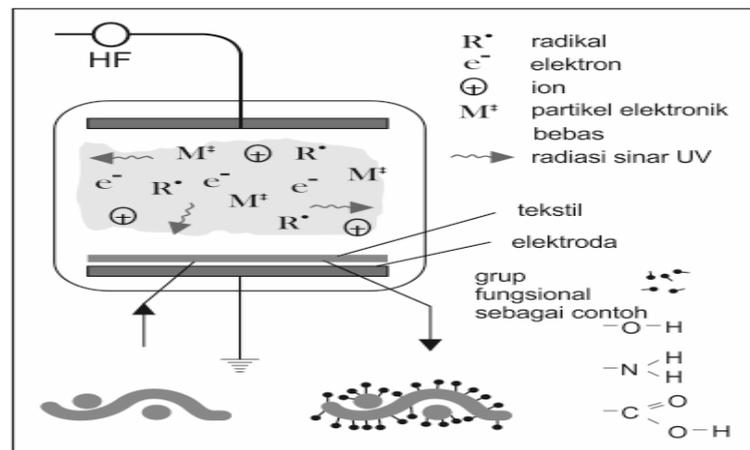
untuk daerah kerja (dimensi panjang dan lebar) kain yang besar dengan hasil perlakuan seragam.¹ Selain itu, penggunaan plasma untuk proses tekstil harus dapat memenuhi sifat-sifat akhir material yang diinginkan, tidak mengubah sifat dasar serat pada umumnya (pegangan, tekstur dan lain sebagainya), tidak mengganggu proses-proses penyempurnaan selanjutnya, serta memiliki ketahanan terhadap proses pemeliharaan tekstil (penghilangan noda, pencucian, pengeringan, penyetricaan, dsb).⁴

Teknologi plasma lucutan korona adalah teknologi plasma tertua dan paling sederhana yang banyak digunakan untuk memodifikasi permukaan polimer.¹⁰ Ionisasi gas pada plasma metode lucutan korona terjadi pada tekanan atmosfer. Plasma lucutan korona dihasilkan dari sepasang elektroda dengan konfigurasi bentuk asimetri yang dialiri arus listrik frekuensi rendah dengan kejutan tegangan tinggi (*pulsed high voltage*) hingga 20 kV.¹¹ Lucutan korona kemudian terbentuk pada medan listrik tak seragam (*non-uniform*) yang kuat antar elektroda. Medan listrik yang tidak seragam ini disebabkan oleh adanya perbedaan geometri antar elektroda (konfigurasi titik-bidang).

Poliester merupakan serat sintesis yang paling banyak digunakan untuk tekstil dan produk tekstil. Poliester termasuk salah satu serat yang dijadikan objek modifikasi menggunakan teknologi plasma. Poliester unggul dalam hal kekuatannya yang tinggi, anti kusut dan tahan abrasi, tahan terhadap berbagai bahan kimia serta memiliki kilau yang tinggi. Namun demikian poliester memiliki sifat hidrofob, daya serap dan adhesi rendah, kurang nyaman digunakan serta menghasilkan listrik statik.¹² Kekurangan-kekurangan tersebut dapat diatasi salah satu diantaranya dengan menggunakan teknologi plasma.



Gambar 1. Ilustrasi modifikasi permukaan polimer oleh perlakuan plasma²



Gambar 2. Ilustrasi proses perlakuan plasma pada material tekstil⁸

Tabel 1. Penilaian performa plasma

Jarak Elektroda (Sumbu Z)	Meja Plasma (Sumbu X)	Waktu (Menit)	Pengukuran		Daya Input (Watt)	Pengamatan
			V (KV)	A (mA)		
8 mm	Diam/Statis	0,25	5	1		Muncul plasma, tetapi pengaturan tidak dapat lebih dari 5 kV/1 mA, plasma yang terbentuk amat lemah
15 mm	Diam/Statis	15	14-16	64-69	430-450	Muncul plasma terutama di bagian pinggiran kiri dan kanan elektroda namun sering terjadi <i>spark</i>
20 mm	Diam/Statis	15	16	50	415-420	Muncul plasma yang merata sepanjang elektroda namun kadang terjadi <i>spark</i>
25 mm	Diam/Statis	15	17,5	37,5	360-370	Muncul plasma yang merata sepanjang elektroda tanpa terjadi <i>spark</i>
30 mm	Diam/Statis	15	18	25	340-350	Muncul plasma yang merata sepanjang elektroda namun plasma yang terbentuk memiliki kekuatan lemah

Berbagai penelitian mengenai perbaikan sifat fisik maupun peningkatan fungsi kain poliester melalui modifikasi permukaan oleh plasma telah dilakukan.^{3,13} A. Cavimontes, dkk (2011) melakukan modifikasi pada kain poliester menggunakan gas O₂ dan NH₃ dengan sistem plasma tekanan rendah untuk meningkatkan sifat hidrofilitasnya.¹⁴ Hasil pengamatan morfologi dan topometri menunjukkan bahwa pengerjaan plasma dapat meningkatkan sifat hidrofilik kain poliester meski belum memberikan hasil yang signifikan. Perbaikan sifat listrik statik kain poliester juga dijadikan objek penelitian oleh Ma Chongqi (2011).¹⁵ Dalam penelitian tersebut, perlakuan plasma dengan media udara pada sistem plasma tekanan atmosfer memberikan peningkatan sifat anti statik paling optimum pada daya lucutan 50 V, jarak elektroda 4 mm, durasi perlakuan 20 detik dan frekuensi udara 13,56 MHz. Perlakuan plasma juga telah berhasil memodifikasi permukaan serat dan meningkatkan reaktivitas substrat tekstil terhadap pelembut jenis silikon nanoemulsi. Hal tersebut dibuktikan dalam penelitian Mazeyar Parvinzadeh (2011) menggunakan kain poliester dengan sistem plasma non termal tekanan atmosfer.¹⁶ Efektivitas pelembutan kain poliester dengan silikon nanoemulsi meningkat signifikan setelah perlakuan

plasma dengan media udara. Kain poliester yang diberi perlakuan plasma mengalami perubahan kimia yang menjadikan kemampuan pembasahannya meningkat. Meski berbagai penelitian telah menyatakan bahwa perlakuan plasma terbukti dapat memodifikasi permukaan kain poliester hingga menghasilkan peningkatan fungsi dan perbaikan sifat fisik, namun efektivitas dan efisiensi proses plasma tersebut masih perlu dipelajari lebih lanjut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana modifikasi permukaan serat akibat perlakuan plasma akan berpengaruh terhadap peningkatan fungsi dan perbaikan sifat fisik pada kain poliester. Proses perlakuan plasma pada kain poliester ini dilakukan menggunakan prototip mesin plasma hasil penelitian A. Sjaifudin, dkk (2014). Gas non polimerisasi yang terdapat di dalam udara normal akan diionisasikan dengan parameter tertentu hingga menghasilkan plasma lucutan korona. Parameter proses perlakuan plasma diambil dari hasil percobaan awal yang telah dilakukan oleh A. Sjaifudin, 2014. Pada percobaan awal tersebut diperoleh hasil penilaian performa plasma (Tabel 1) yang memberikan informasi kondisi ideal proses yang meliputi kuat arus, tegangan serta jarak elektroda yang aman hingga fenomena plasma

lucutan korona muncul secara merata tanpa timbul *spark* (kilatan cahaya). Lucutan *spark* yang kerap terjadi pada plasma lucutan korona perlu dihindari selama proses berlangsung karena dapat menimbulkan kerusakan pada material yang diproses. Dalam tulisan ini dipaparkan pula mengenai hasil evaluasi terhadap perubahan yang terjadi pada kain poliester setelah perlakuan plasma.

METODE

Bahan yang digunakan

- Kain poliester 100% siap celup (telah diproses *pretreatment*) dengan spesifikasi *high twist*, anyaman polos 1/1 dan gramasi 246,8 gram/m². Kain poliester untuk percobaan ini kemudian dipotong-potong dengan ukuran 5 cm x 30 cm untuk menyesuaikan dengan ukuran panjang dan lebar elektroda.
- Udara normal yang akan diionisasikan untuk menghasilkan plasma lucutan korona.

Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah prototip mesin plasma non termal hasil penelitian A. Sjaifudin, dkk (2014) dengan sistem plasma non termal pada tekanan atmosfer menggunakan metode lucutan korona (*atmospheric pressure corona discharge non thermal plasma system*). Reaktor DC/arus searah, tegangan 20 KV, kuat arus 100 mA yang dilengkapi saluran dan filter gas. Konfigurasi elektroda berupa titik (rangkaiannya jarum) dan bidang (pelat baja tahan karat).

Modifikasi permukaan kain poliester dengan sistem plasma non termal lucutan korona pada tekanan atmosfer

Kain poliester 100% dengan ukuran 5 cm x 30 cm diletakkan di atas pelat baja tahan karat (elektroda negatif) menghadap rangkaian jarum (elektroda positif). Kain poliester diberi perlakuan plasma (radiasi) pada setiap permukaannya. Durasi radiasi plasma divariasikan pada kurun waktu 15 menit dan 30 menit. Gas nonpolimerisasi yang berasal dari udara normal akan diionisasi hingga menghasilkan plasma lucutan korona. Berdasarkan percobaan awal yang telah dilakukan, diambil parameter tetap berdasarkan jarak elektroda yang menghasilkan fenomena plasma yang paling merata yaitu pada jarak 25 mm. Jarak antar elektroda 25 mm ini kemudian dijadikan sebagai acuan penentuan jarak antar elektroda untuk percobaan perlakuan plasma selanjutnya pada kain poliester. Fenomena plasma lucutan korona pada jarak antar elektroda 25 mm dapat dilihat pada Gambar 3. Pengaturan parameter tetap lainnya untuk perlakuan plasma pada kain poliester 100% yaitu, daya *input* 350 W, tegangan *output* 17,5 kV dan kuat arus rata-rata 37,5 mA.

Pengukuran dan pengujian

- Analisis morfologi kain poliester sebelum dan sesudah perlakuan plasma dengan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) merek JEOL, JSM-6510/LV/A/LA
- Analisis gugus fungsi kain poliester sebelum dan sesudah perlakuan plasma dengan alat *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) merek Shimadzu Prestige
- Pengujian kecepatan pembasahan kain poliester sebelum dan sesudah perlakuan plasma



Gambar 3. Fenomena plasma metode lucutan korona dengan ionisasi udara normal pada jarak antar elektroda 25 mm

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis morfologi

Gambar 4 menyajikan hasil pencitraan morfologi menggunakan SEM pada kain poliester sebelum perlakuan plasma (Gambar 4a) serta kain poliester dengan durasi perlakuan plasma pada 2 permukaan selama @ 15 menit (Gambar 4b) dan 2 permukaan selama @ 30 menit (Gambar 4c). Hasil pencitraan SEM menunjukkan bahwa perlakuan plasma telah mengakibatkan terjadinya perubahan morfologi pada permukaan kain poliester. Kain poliester tanpa proses perlakuan plasma memiliki permukaan yang relatif rata. Meski terlihat ada bagian-bagian serat yang terkena kontaminan (pengotor) namun Gambar 4a tidak menunjukkan indikasi terjadinya kerusakan atau kekasaran pada permukaan serat. Hal tersebut kontradiktif dengan Gambar 4b dan 4c yang menyatakan dengan jelas bahwa kain poliester yang diberi perlakuan plasma mengalami perubahan morfologi pada permukaan seratnya. Permukaan serat poliester pada Gambar 4b dan 4c terlihat memiliki banyak lepuhan (*blister*), bukit (*hills*), celah-celah (*fissures*) serta tampak berpori-pori di sepanjang permukaan serat. Durasi perlakuan plasma yang lebih panjang menghasilkan kumpulan lepuhan, bukit-bukit yang terlihat lebih menonjol dan celah-celah yang tampak lebih dalam di sepanjang permukaan serat (Gambar 4c).

Perubahan morfologi poliester disebabkan oleh reaksi degradasi dan terbentuknya molekul-molekul dengan berat molekul rendah di permukaan

polimer. Spesies molekul tersebut cenderung meninggalkan matriks poliester atau terperangkap dalam gelembung gas internal sehingga membentuk lepuhan yang dapat diamati di permukaan. Efek perubahan morfologi kemungkinan dapat juga disebabkan oleh terbentuknya bagian-bagian amorf pada daerah kristalin poliester yang dipicu oleh interaksinya dengan plasma. Polimer dengan kristalinitas parsial seperti poliester dibangun atas dua fase struktur yang terdiri dari lapisan-lapisan kristalin yang dipisahkan oleh daerah-daerah tidak beraturan (amorf). Tumbukan spesies-spesies pada plasma dapat mentransfer energi dengan jumlah tertentu yang mampu menghancurkan daerah-daerah kristalin dan kemudian mengalami relaksasi dalam bentuk amorf yang tidak beraturan sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan volume pada permukaan dan antar muka.¹⁶ Oleh karena itu terjadi peningkatan derajat kekasaran permukaan (*surface roughness*) pada kain poliester karena pengikisan akibat perlakuan dengan plasma lucutan korona.

Untuk hasil analisis morfologi permukaan yang lebih akurat, penggunaan instrumen *Atomic force microscopy* (AFM) lebih disarankan. Citra AFM dapat lebih memberikan gambaran mengenai morfologi dan kekasaran permukaan contoh dengan resolusi yang cukup tinggi.¹⁷

Analisis gugus fungsi

Analisis gugus fungsi menggunakan *Fourier Transform Infra Red Spectroscopy* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia yang terdapat pada kain poliester sebelum dan sesudah perlakuan plasma. Prinsip kerja dari metode analisis ini adalah penyerapan radiasi infra merah dan pelepasannya oleh ikatan-ikatan molekul. Keberadaan ikatan-ikatan tersebut dapat diketahui melalui absorbansi dan transmitansi dari radiasi infra merah setelah suatu molekul terekspos oleh radiasi infra merah.

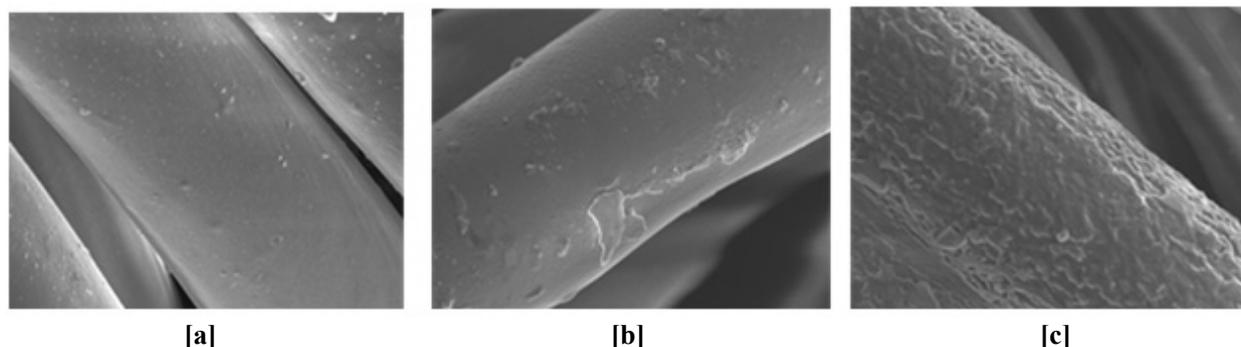
Gambar 5 menampilkan spektra FTIR kain poliester tanpa perlakuan plasma dan kain poliester yang diberi perlakuan plasma selama 30 menit.

Poliester mengandung cincin benzena dari gugus $-CH_2$ dan $-COO$. Puncak serapan cincin aromatik vibrasi C-H tersebut ditunjukkan pada bilangan gelombang 2500 cm^{-1} hingga 3000 cm^{-1} . Hasil spektroskopi infra merah memperlihatkan kesamaan puncak-puncak serapan terutama pada bilangan gelombang 1718 cm^{-1} untuk *stretching* vibrasi ester C=O pada kain poliester tanpa perlakuan plasma dan kain poliester yang diberi perlakuan plasma selama 30 menit. Kesamaan puncak juga teramati pada gugus OH pada bilangan gelombang $3429,43\text{ cm}^{-1}$; $-CH_3$ pada bilangan gelombang $2966,52\text{ cm}^{-1}$; serta $-CH_2$ pada bilangan gelombang $2906,73\text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan hasil analisis spektra FTIR pada Gambar 5 dapat diasumsikan bahwa tidak terjadi pembentukan gugus kimia fungsional baru pada kain poliester setelah perlakuan plasma selama 30 menit.

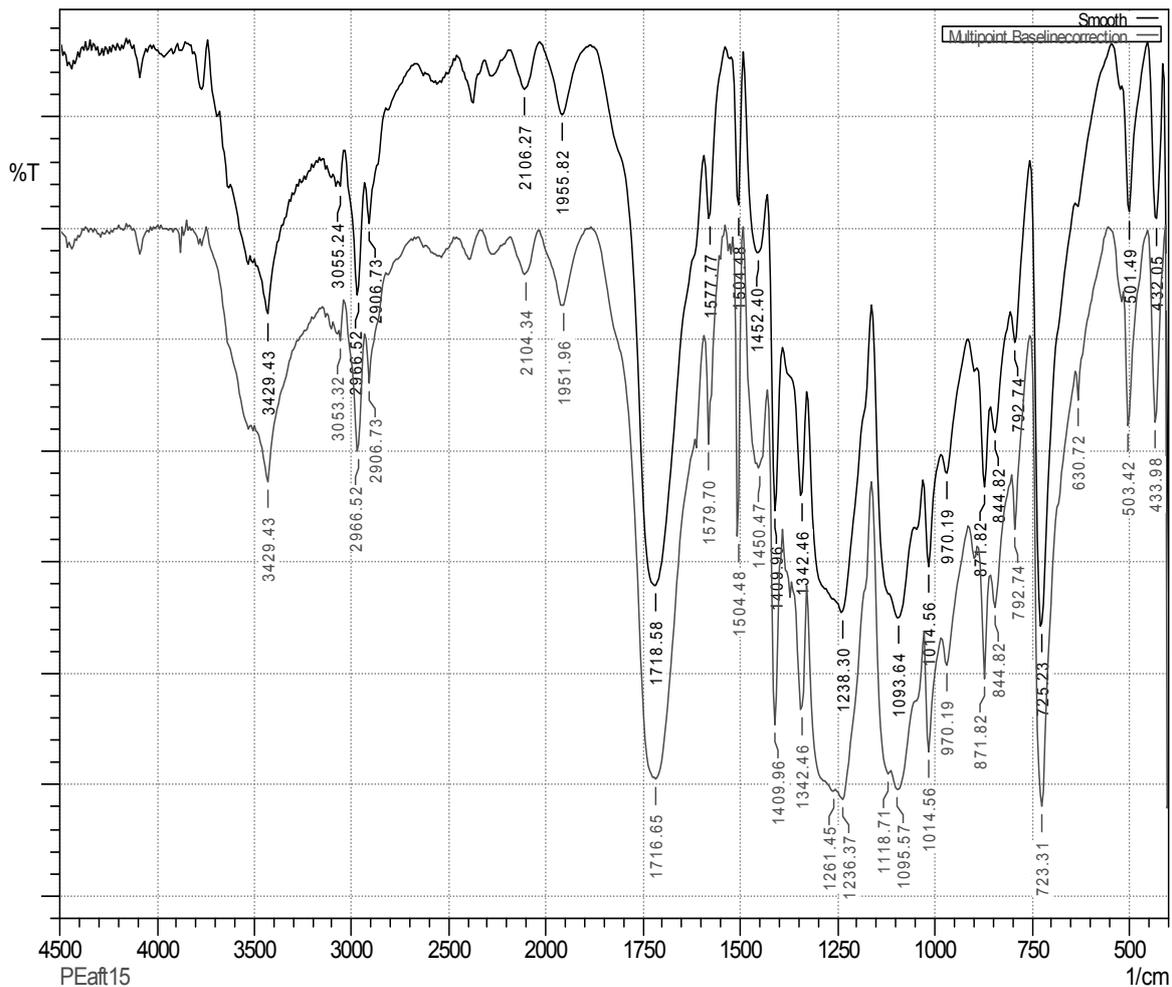
Untuk mempertajam analisis mengenai pengaruh perlakuan plasma terhadap perubahan gugus fungsi kain poliester perlu dilakukan analisis permukaan lain menggunakan metode yang lebih sensitif seperti *X-ray photo electron spectroscopy* (XPS). XPS yang dikenal juga dengan nama *Electron spectroscopy for chemical analysis* (ESCA) dapat memberikan gambaran mengenai komposisi atom dan unsur permukaan, analisis ikatan kimia, profil kedalaman dan pemetaan unsur permukaan secara kualitatif dan kuantitatif.¹⁷ XPS dapat melakukan penginderaan pada kedalaman lokasi 1-2 nm dari atas permukaan contoh sehingga akan lebih sesuai untuk menilai perubahan gugus fungsi kimia dengan seakurat mungkin pada permukaan kain setelah perlakuan plasma.

Kecepatan pembasahan (Hidrofilisitas)

Poliester merupakan bahan tekstil yang bersifat hidrofobik.¹⁸ *Moisture regain* kain poliester hanya sekitar 0,4%. Hal ini menjadikan daya serap air kain poliester terbilang rendah dan cenderung sulit terbasahi. Beberapa penelitian membuktikan bahwa perlakuan dengan plasma telah berhasil meningkatkan sifat hidrofilik kain poliester sehingga menjadi mudah terbasah



Gambar 4. Citra SEM kain poliester dengan pembesaran 5000 x. [a] Tanpa perlakuan plasma; [b] Perlakuan plasma masing-masing permukaan @ 15 menit; [c] Perlakuan plasma masing-masing permukaan @ 30 menit



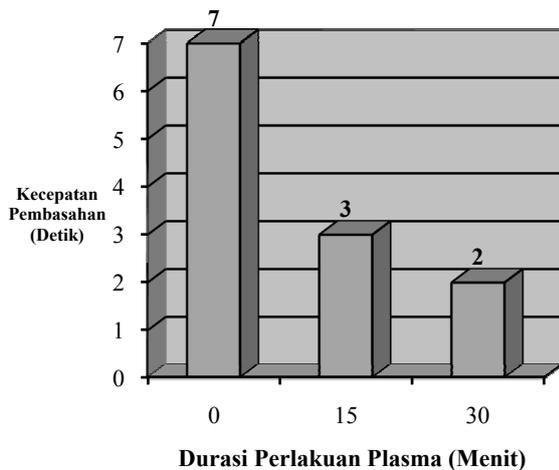
Gambar 5. Spektra FTIR kain poliester sebelum dan sesudah perlakuan plasma [a] Sebelum perlakuan plasma; [b] Sesudah perlakuan plasma masing-masing permukaan @ 30 menit

Kecepatan pembasahan dapat diketahui dengan menghitung waktu ketika air diteteskan secara vertikal ke atas permukaan kain hingga air berpenetrasi ke dalam kain. Hasil pengukuran kecepatan pembasahan dapat dilihat pada Gambar 4. Durasi perlakuan plasma divariasikan pada 15 menit dan 30 menit. Setiap datum pada Gambar 4 menunjukkan nilai rata-rata dari hasil lima kali pengukuran kecepatan pembasahan kain poliester. Hasil percobaan menunjukkan bahwa perlakuan plasma dengan ionisasi udara normal pada kedua permukaan kain poliester memiliki pengaruh positif terhadap peningkatan kecepatan pembasahannya. Kain poliester tanpa perlakuan plasma rata-rata baru dapat terbasahi pada detik ke-7. Durasi perlakuan plasma lucutan korona selama 15 menit dapat meningkatkan kecepatan pembasahan kain poliester hingga mampu menyerap air dengan sempurna rata-rata pada detik ke-3. Durasi perlakuan plasma selama 30 menit menghasilkan kain poliester yang dapat menyerap air dengan sempurna rata-rata pada detik ke-2. Meski demikian

peningkatan durasi perlakuan plasma hingga 2 kali lipat menjadi 30 menit tidak berpengaruh signifikan terhadap kecepatan pembasahan kain yang hanya meningkat sebanyak 30%.

Gas nonpolimerisasi pada udara normal yang diberi energi sebesar tertentu akan tereksitasi hingga membentuk plasma yang terdiri atas gabungan ion, elektron, spesies tereksitasi dan radikal bebas dengan reaktivitas tinggi yang dapat berinteraksi baik secara fisika maupun kimia dengan permukaan substrat.¹⁵ Pada dasarnya perlakuan dengan plasma lucutan korona dapat menyebabkan permukaan kain mengalami oksidasi (membentuk gugus fungsional kimia baru) sehingga dapat memunculkan gugus-gugus polar seperti -OH, -COOH, -CO dan -NH₂ pada lapisan permukaan kain. Gugus-gugus polar ini dapat meningkatkan sifat hidrofilik dan meningkatkan kecepatan pembasahan pada kain poliester.^{19,20} Namun jika merujuk pada hasil spektra FTIR (Gambar 5) yang menyatakan tidak ditemukannya pembentukan gugus fungsional baru pada kain

poliester setelah perlakuan plasma, maka peningkatan kecepatan pembasahan lebih mungkin diakibatkan oleh efek etsa (pengikisan) yang terjadi karena degradasi/kerusakan pada permukaan kain poliester. Plasma yang terbentuk selama proses perlakuan berlangsung dapat mengubah sebagian serat pada permukaan kain poliester menjadi gas sehingga permukaan serat seperti terkikis dan menimbulkan efek etsa. Efek etsa akan membentuk kekasaran pada permukaan kain poliester yang dapat memberikan ruang untuk ditempati oleh molekul-molekul air sehingga daya basah kain poliester meningkat.¹⁶



Gambar 6. Pengaruh durasi perlakuan plasma terhadap peningkatan kecepatan pembasahan kain poliester

Untuk lebih mengetahui secara akurat efek perlakuan plasma terhadap peningkatan kecepatan pembasahan kain poliester, maka sebaiknya dilakukan terlebih dahulu analisis konstruksi kain yang meliputi nomor benang, densiti, porositas serta anyamannya. Hal ini menjadi penting untuk menentukan apakah proses etsa (pengikisan) oleh perlakuan plasma dapat mengubah dimensi (perubahan jarak antar sumbu benang), nanotopografi serta efek makromorfologi pada kain poliester.^{9,21} Dengan demikian faktor yang berpengaruh pada peningkatan kecepatan pembasahan kain poliester dapat diketahui dan dipastikan. Faktor penyebabnya dapat berasal dari munculnya gugus-gugus polar di permukaan serat atau berasal dari peningkatan porositas antar benang akibat pengikisan/etsa yang menyebabkan perubahan nanotopografi dan makromorfologi dari filamen serat poliester.

Pada pengujian kecepatan pembasahan (*wettability*) yang dilakukan dalam penelitian ini, tetesan air terserap dengan cepat ke dalam kain poliester, terutama pada kain poliester yang diberi

perlakuan plasma. Hal ini mengakibatkan kesulitan dalam melakukan pengukuran sudut kontak yang terbentuk antara tetesan air dengan permukaan kain poliester. Oleh karena itu pengujian kecepatan pembasahan dengan metode tetesan air ini tidak dapat digunakan untuk penilaian secara kuantitatif. Pengujian kecepatan pembasahan dengan metode tetesan air ini hanya digunakan untuk menganalisis efek perlakuan plasma terhadap peningkatan daya serap kain poliester secara kualitatif.

Pengurangan berat

Salah satu manifestasi dari proses etsa yang terjadi melalui perlakuan plasma pada kain poliester adalah pengurangan berat. Tabel 2 menyajikan data persentase pengurangan berat kain poliester setelah perlakuan plasma. Terlihat bahwa persentase pengurangan berat akan meningkat sejalan dengan meningkatnya durasi perlakuan plasma. Hal ini menjadi relevan dengan apa yang ditunjukkan pada Gambar 4. Efek etsa (yang terlihat dari kekasaran permukaan serat poliester) dan pengurangan berat berbanding lurus dengan lamanya durasi perlakuan plasma pada kain poliester. Tumbukan yang terjadi dengan partikel-partikel bermuatan seperti ion positif/negatif dan elektron pada proses perlakuan plasma menyebabkan adanya degradasi permukaan bahan polimer yang mengakibatkan pengurangan berat.²²

Pada umumnya, film polimer konvensional seperti halnya poliester yang digunakan pada percobaan ini terdiri dari daerah amorf dan kristalin. Efek etsa oleh plasma akan berlangsung secara selektif dan lebih banyak terjadi pada daerah amorf yang relatif lebih mudah diputuskan/dihilangkan daripada daerah kristalin.²³ Komposisi kimia plasma yang dihasilkan oleh lucutan korona tekanan atmosferik menggunakan udara normal masih cukup kompleks dan belum dapat dipahami sepenuhnya.²⁴ Perlakuan plasma metode lucutan korona ini dapat menghasilkan spesies kimia aktif seperti ion-ion oksigen dan spesies bermuatan lainnya seperti N^+ , NO^+ , NO^- , radikal hidroksil dan hidroperoksil (OH and HO_2), hidrogen peroksida (H_2O_2), nitro oksida (N_2O) dan spesies nitrogen oksida lainnya (NO , NO_2 , N_2O_4 , dan N_2O_5), serta spesies-spesies netral lainnya.²⁴ Pada perlakuan dengan plasma lucutan korona, spesies kimia aktif yang dihasilkan tersebut dapat menyerang daerah amorf dan kristalin secara bersamaan namun keduanya memiliki laju etsa/pengikisan yang berbeda-beda.²³ Dengan demikian dapat diartikan bahwa pengurangan berat akibat pemutusan rantai molekul oleh proses etsa pada perlakuan plasma sebagian besar terjadi pada daerah amorf kain poliester.

Tabel 2. Efek perlakuan plasma terhadap pengurangan berat kain poliester

Jarak Elektroda (Sumbu Z)	Waktu	Daya Input (watt)	Berat (gram)		% Pengurangan Berat
			Sebelum	Sesudah	
25 mm	2 permukaan@ 5 menit	356	1,205	1,1916	1,11
25 mm	2 permukaan@ 10 menit	341	1,0848	1,0625	2,06
25 mm	2 permukaan@ 15 menit	354	1,1676	1,1282	3,37
25 mm	2 permukaan@ 30 menit	350	1,1286	1,0746	4,82

KESIMPULAN

Fenomena plasma lucutan korona dapat dihasilkan melalui ionisasi udara normal pada tekanan atmosfer menggunakan prototip mesin plasma non termal dengan konfigurasi elektroda titik dan bidang. Fenomena plasma lucutan korona dapat memodifikasi permukaan kain poliester dengan memberikan efek etsa yang memunculkan kekasaran permukaan sebagaimana yang terlihat pada hasil citra SEM. Hasil spektra FTIR menunjukkan tidak terjadinya pembentukan gugus fungsional kimia baru setelah perlakuan plasma. Modifikasi sifat fisik pada kain poliester lebih disebabkan efek etsa (pengikisan) oleh radikal bebas dari plasma. Manifestasi lain dari efek etsa pada perlakuan plasma adalah terjadinya pemutusan rantai molekul sehingga kain poliester mengalami pengurangan berat. Efek pengurangan berat terbesar (4,82%) diperoleh dari perlakuan plasma pada kain poliester dengan durasi terlama (masing-masing permukaan kain selama @ 30 menit). Kecepatan pembasahan kain poliester setelah perlakuan plasma juga meningkat dengan cukup signifikan apabila dibandingkan dengan kain poliester tanpa perlakuan plasma. Efek etsa akan membentuk kekasaran permukaan pada kain yang kemudian memberikan ruang untuk ditempati oleh molekul-molekul air sehingga daya basah kain poliester meningkat.

PUSTAKA

¹ Herbert, T. (2007). Atmospheric-pressure cold plasma processing technology. In R. Shisoo (Ed), *Plasma Technologies for Textiles: Part I Plasma Science and Technology*. (79-128). The Textile Institute: Woodhead Publishing Ltd.

² Marcandalli, B. dan Riccardi, C. (2007). Plasma treatments of fibres and textiles. In R. Shisoo (Ed), *Plasma Technologies for Textiles: Part II Textile Applications*, (282-298). The Textile Institute: Woodhead Publishing Ltd.

³ Costa, T.H.C., Feitor, M.C., Alves Jr, C., Freire, P.B., dan de Bezerra, C.M., (2006). Effects of gas composition during plasma modification of polyester fabrics. *Journal of Materials Processing Technology*, 173: 40-43.

⁴ Buyle, G., Heyse, P. dan Ferreira, I. (2010). Tuning the surface properties of textile materials. In H. Rauscher, M. Perruca, G. Buyle (Eds), *Plasma Technology for Hyperfunctional Surfaces: Part II Hyperfunctional Surfaces for Textiles, Food and Biomedical Applications*, (135-178). Wiley-VCH.

⁵ Shisoo, R. (2007). Introduction-The potential of plasma technology in the textile industry. In R. Shisoo (Ed), *Plasma Technologies for Textiles: Part I Plasma Science and Technology*, (79-128). The Textile Institute: Woodhead Publishing Ltd.

⁶ Chinta, S.K., Landage, S.M., dan Kumar, S.M., (2012). Plasma technology and its application in textile wet processing. *International Journal of Engineering Research and Technology*.

⁷ Shah, J.N. dan Shah, S.R., (2013). Innovative plasma technology in textile processing: A Step towards green environment. *Research Journal of Engineering Science*, 2, 4: 34-39.

⁸ Shahidi, S. dan Ghoranneviss, M. (2011). Effects of plasma on dyeability of fabrics. *Textile Dyeing*, 327-350.

⁹ Widodo, M. (2011). Plasma surface modification of polyaramid fibers for protective clothing. *PhD Dissertation*. North Carolina State University.

¹⁰ Zille, A., Oliveira, F. R., dan Souto, A. P., Plasma treatment in textile industry. *Plasma Processes and Polymers*. 1-97.

¹¹ Bologa, A., Paur, H. R., Seifert, H, dan Woletz, K., (2011). Influence of gas composition, temperature and pressure on corona discharge characteristics. *International Journal of Plasma Environmental Science and Technology*. 5, 2: 110-116.

¹² Kan, C.W. (2014). A Novel green treatment for textiles: Plasma treatment as a sustainable

- technology. In M. C. Cann (Ed), *Sustainability: Contributions Through Science and Technology*. (101-132). CRC Press Taylor and Francis Group.
- ¹³Simor, M., Krump, H., Hudec, I., Rahel, J., Brablec, A., dan Cernak, M., (2004). Atmospheric pressure H₂O plasma treatment of polyester cord threads, *Acta Physica Slovaca*, 54, 1: 43-48.
- ¹⁴Calvimontes, A., Saha, R., dan Dutschk, V., (2011). Topographical effects of O₂- and NH₃- plasma treatment on woven plain polyester fabric in adjusting hydrophilicity, *Autex Research Journal*, 11, 1: 24-30.
- ¹⁵Chonqi, M., Shulin, Z., dan Gu, H. (2011). Anti-static charge character of the plasma treated polyester filter fabric, *Journal of Electrostatics*, 68: 111-115.
- ¹⁶Parvinzadeh, M., dan Ebrahimi, I. (2011). Atmospheric air-plasma treatment of polyester fiber to improve the performance of nanoemulsion silicone, *Applied Surface Science*, 257: 4062-4068.
- ¹⁷David, A., de Puydt, Y., Dupuy, L., Descours, S., Sommer, F., Tran, M. D., dan Viard, J., (2010), Surface analysis for plasma treatment characterization, In H. Rauscher, M. Perruca, G. Buyle (Eds), *Plasma Technology for Hyperfunctional Surfaces: Part I Introduction to Plasma Technology for Surface Functionalization*, (91-105). Wiley-VCH.
- ¹⁸Krishnan. P. S. G., and Kulkarni. S. T., (2008), Polyester resins, In B. L. Deopura, R. Alagirusamy, M. Joshi, B. Gupta. *Polyester and Polyamide: Part I Polyester and Polyamide Fundamentals*, (3-35). The Textile Institute: CRC Press & Woodhead Publishing Ltd.
- ¹⁹Sjaifudin, A., Widodo, M., Muhlisin, Z., dan Nur, M., (2014). Modifikasi permukaan bahan tekstil dengan plasma lucutan korona, *Proceeding Indonesian Textile Conference-Semnasteks 2014*, pp. 1-22.
- ²⁰Fang, K. dan Zhang. C., (2009). Surface physical-morphological and chemical changes leading to performance enhancement of atmospheric pressure plasma treated polyester fabrics for inkjet printing, *Applied Surface Science*, 255: 7561-7567.
- ²¹Leroux, F., Perwuelz, A., Campagne, C., dan Behary, N., (2006). Atmospheric air-plasma treatments of polyester textile structures, *Journal Adhesion Science Technology*, 20, 9: 939-957.
- ²²Hwang, Y.J., (2003). Characterization of Atmospheric Pressure Plasma Interactions With Textile/Polymer Substrates. *PhD Dissertation*, North Carolina State University.
- ²³Riekerink, M., Terlingen, J., Engbers, H., dan Feijen, J., (1999). Selective etching of semicrystalline polymers: CF₄ gas plasma treatment of poly(ethylene), *Langmuir*, 15: 4847-4856.
- ²⁴Timoshkin, I. V., (2012). Bactericidal effect of corona discharges in atmospheric air, *IEEE Transactions on Plasma Science*, pp. 1-12.
-

