

PENYEMPURNAAN TAHAN API DAN ANTIBAKTERI PADA KAIN KAPAS DENGAN N-METILOL DIMETILFOSFONOPROPIONAMIDA (PYROVATEX CP NEW) DAN KITOSAN MENGGUNAKAN PLASMA LUCUTAN KORONA

FLAME RETARDANT AND ANTIBACTERIAL FINISHING OF COTTON FABRIC BY N-METHYLOL DIMETHYLPHOSPHONOPROPIONAMIDE (PYROVATEX CP NEW) AND CHITOSAN USING CORONA DISCHARGE PLASMA

Mohamad Widodo¹, Siti Nuhayah¹, Khairul Umam¹, Zaenul Muhlisin², Muhammad Nur²

¹Jurusan Kimia Tekstil, Politeknik STTT Bandung
Jl. Jakarta No. 31, Bandung
E-mail: mwidodo@stttekstil.ac.id

Tanggal diterima: 6 Nopember 2019, direvisi: 28 Desember 2019, disetujui terbit: 28 Desember 2019

ABSTRAK

Plasma lucutan korona dengan konfigurasi elektroda multi titik-bidang telah digunakan pada studi ini untuk proses penyempurnaan tahan api dan antibakteri pada kain kapas menggunakan N-metilol dimetilfosfonopropionamida (MDFPA, Pyrovatex CP New) dan kitosan. Kain kapas diberi perlakuan dengan campuran Pyrovatex CP New 400 g/L, asam fosfor 80% 20 g/L, dan kitosan 10 g/L menggunakan metode benam peras-plasma, plasma-benam peras dan plasma-perendaman dengan variasi waktu pajanan plasma 5 – 30 menit. Ketiga metode tersebut menghasilkan kain kapas yang tidak meneruskan pembakaran dengan panjang arang bervariasi antara 9,5 – 12,2 cm tergantung waktu pemajanan. Sebagai perbandingan, kain kapas yang tidak diberi perlakuan memiliki waktu nyala dan bara masing-masing 7 dan 20 detik serta panjang arang 30 cm, sedangkan cara benam peras-pemanaswetan menghasilkan kain yang juga tidak meneruskan pembakaran tapi dengan panjang arang 16 cm. Hingga batas tertentu, arang yang tersisa semakin pendek dengan semakin lamanya waktu pajanan plasma karena waktu pemajanan yang terlalu lama justru menambah panjang arang. Cara plasma-perendaman menghasilkan aktifitas antibakteri yang relatif lebih tinggi dengan diameter daya hambat sebesar 14 mm daripada plasma-benam peras dan benam peras-plasma yang hanya menghasilkan daya hambat sebesar 13 mm. Meskipun belum maksimum, perlakuan kain kapas dengan Pyrovatex CP New dan kitosan menggunakan plasma lucutan korona telah memberikan sifat tahan api dan antibakteri yang cukup signifikan dan menjanjikan.

Kata kunci: plasma lucutan korona, tahan api, antibakteri, N-metilol dimetilfosfonopropionamida, kitosan

ABSTRACT

Corona discharge plasma with multipoint-to-plane geometry had been used in this study to confer flame retardancy and antibacterial activity on cotton fabric by using commercially available flame retardant, N-methylol dimethylphosphonopropionamide (Pyrovatex CP New), and chitosan. The cotton fabric was treated with a mixture of Pyrovatex CP New 400 g/L, phosphorous acid 80% 20 g/L, and chitosan 10 g/L by three different methods, i.e. pad-dry-plasma, plasma-pad-dry, plasma-exhaust with plasma exposure time of 5 – 30 minutes. All the three methods of treatment produced cotton fabric with no after-flame and after-glow time (0 s) and char-length of 9.5 – 12.2 cm depending on the plasma exposure time. For comparison, the untreated cotton fabric had an after-flame and after-glow time of 7 and 20 s respectively, and char length of 30 cm, whereas pas-dry-cure gave the same zero after-flame and after-glow time but with a char length of 16 cm. On the other hand, plasma-exhaust gave higher antibacterial activity with inhibition zone of 3.5 mm, while the other two methods gave only 1.25 and 1.75 for plasma-pad-dry and pad-dry-plasma respectively. In summary, corona plasma treatment with Pyrovatex CP New and chitosan had given the cotton fabric a promising results and significant level of flame retardancy and modest antibacterial activity.

Keywords: corona disharge plasma, flame retardant, antibacteria, N-methylol dimethylphosphonopropionamide, chitosan.

PENDAHULUAN

Plasma adalah gas yang terionisasi sebagian dan mengandung campuran berbagai macam spesi sangat aktif yang terdiri dari radikal, elektron, ion-ion positif dan negatif, atom dan molekul yang tereksitasi dan foton¹. Spesi sangat aktif tersebut dapat dimanfaatkan secara efektif untuk memodifikasi sifat-sifat kimia dan fisik permukaan serat tekstil melalui proses etsa, aktivasi, pencangkakan, dan deposisi yang dapat berlangsung secara bersamaan namun dengan tingkat yang berbeda tergantung desain reaktor dan parameter proses².

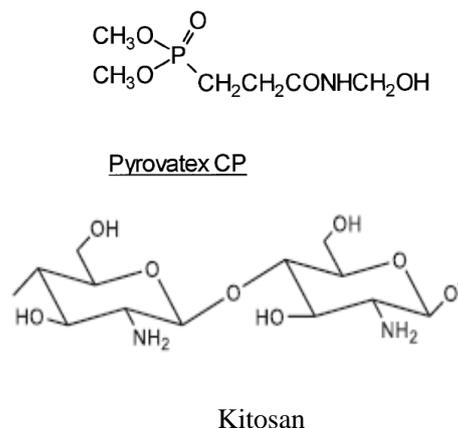
Studi mengenai pemakaian plasma bertekanan atmosfer untuk modifikasi dan penyempurnaan tekstil telah banyak dilakukan selama kurang lebih dua dasawarsa terakhir^{3,4,13,14,5-12}, termasuk untuk proses penyempurnaan secara khusus seperti tahan api^{15,16} dan antibakteri¹⁷⁻²⁵. Edwards dkk¹⁵ menggunakan plasma berpenghalang dielektrik bertekanan atmosfer untuk mencangkakkan senyawa tahan api hasil sintesa jenis baru berbasis fosfor pada kain kapas. Sementara itu, Huh dkk.²⁴ meneliti tentang pencangkakan kitosan pada kain poliester melalui pengikatan silang dengan asam sitrat dan serangkaian proses modifikasi kimia permukaan menggunakan plasma lucutan pijar. Widodo dkk.²⁵ menggunakan dialildimetilamonium klorida dan (3-(trimetoksisilil)propil) oktadesildimetil amonium klorida untuk memberikan sifat antibakteri pada kain Kevlar[®] menggunakan plasma lucutan pijar bertekanan atmosfer (*atmospheric pressure glow discharge plasma*). Plasma lucutan korona telah diteliti penggunaannya pada peningkatan daya celup^{26,27} dan daya basah serta sifat pembasahan bahan tekstil²⁸⁻³⁰, dan penyempurnaan antibakteri^{27,31,32}.

Hingga saat ini belum banyak studi tentang penggunaan plasma lucutan korona untuk proses penyempurnaan tahan api dan antibakteri secara simultan. Artikel ini melaporkan hasil studi penggunaan plasma lucutan korona untuk pencangkakan senyawa tahan api komersial N-metilol dimetilfosfonopropionamida (Pyrovatex CP New) dan kitosan sebagai senyawa antibakteri (Gambar 1) secara simultan. Pyrovatex CP New merupakan salah satu produk senyawa tahan api yang populer dan banyak digunakan di industri tekstil untuk penyempurnaan kain kapas, sehingga hasil studi ini diharapkan dapat memperkaya referensi mengenai potensi proses penyempurnaan tahan api dengan plasma di industri.

Plasma adalah teknik modifikasi permukaan yang bekerja hanya pada lapis paling atas permukaan suatu bahan dengan kedalaman sekitar 10 nm¹ dan tidak mengubah sifat bongkahnya (*bulk properties*). Mekanisme tahan api pada penyempurnaan dengan senyawa berbasis fosfor

seperti Pyrovatex CP New berasal dari reaksi esterifikasi selulosa oleh senyawa fosfor (fosforilasi) yang berfungsi mencegah pembentukan levoglukosan, yaitu prekursor senyawa-senyawa yang mudah menguap dan terbakar³³. Selama ini, proses penyempurnaan tahan api dilakukan dengan cara benam peras dimana zat-zat kimia diimpregnasi masuk ke dalam serat dan dipanasawetkan sehingga modifikasi kimia pun berlangsung hingga ke dalam struktur internal serat. Pada perlakuan dengan plasma, reaksi kimia hanya berlangsung pada daerah permukaan saja, sehingga timbul pertanyaan mengenai keefektifan hasilnya pada proses penyempurnaan tahan api dengan senyawa fosfor.

Untuk itu, pada studi ini telah dipelajari proses penyempurnaan tahan api dengan plasma dengan tiga cara yang berbeda, yaitu (1) plasma-benamperas, (2) benam peras-plasma, dan (3) plasma-perendaman untuk dibandingkan sifat ketahanan apinya dengan hasil proses konvensional benamperas-pemanasawetan. Di samping itu, sifat-sifat fisika dan kimia permukaan serat juga dikarakterisasi menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dan ATR-FTIR serta diuji sifat dan aktifitas antibakterinya.



Gambar 1. Struktur N-metilol dimetilfosfonopropionamida (Pyrovatex CP New) dan kitosan.

METODE

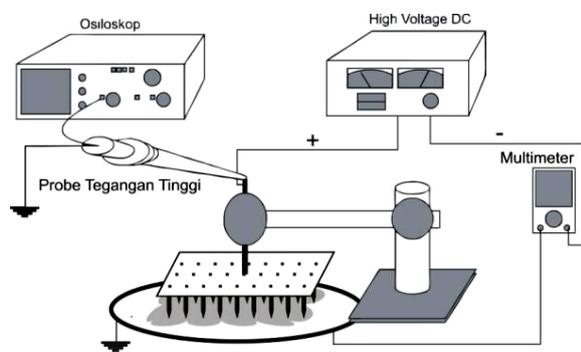
Bahan

Bahan yang digunakan pada percobaan adalah kain kapas beranyaman polos dengan berat 92,3 g/m² yang sudah dimasak dan dihilangkan kanji serta kotoran-kotoran alamnya dan berasal dari Laboratorium Pencapan dan Penyempurnaan Politeknik STTT Bandung. Pyrovatex CP New (Huntsman), selanjutnya disebut MDFPA (N-metilol dimetilfosfonopropionamida), merupakan donasi dari PT. Swisstex Naratama Indonesia (Bandung, Indonesia) sedangkan kitosan berstandar industri dibeli dari PT. Biotech Surindo (Cirebon, Indonesia).

Knittex CHN (pengikat silang dari jenis melamin), Ultratex FSA New (pelembut), Invadine PBN (pembasah), dan asam fosfor (katalis) tersedia di Laboratorium Pencapan dan Penyempurnaan Politeknik STTT Bandung.

Peralatan

Benamperas, pengeringan dan pemanasawetan dilakukan di Laboratorium Pencapan & Penyempurnaan Politeknik STTT Bandung menggunakan alat benamperas, pengering dan pemanasawetan skala laboratorium buatan Dipo Machinery (Bandung, Indonesia). Unit plasma lucutan korona buatan sendiri dengan konfigurasi elektroda multi titik – bidang skala laboratorium digunakan untuk melaksanakan percobaan dengan perlakuan plasma di Laboratorium Radiasi Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang, menggunakan (Gambar 3).



Gambar 3. Skema alat plasma lucutan korona Laboratorium Radiasi FSM Undip.

Tabel 1. Percobaan pendahuluan untuk penentuan resep penyempurnaan tahan api dengan cara benamperas-pemanasawetan.

Zat kimia	Resep (g/L)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Pyrovatex® CP New	0	400	400	400	400	400	400	-
Knittex® CHN	0	50	-	50	-	-	-	-
Ultratex® FSA New	0	30	-	-	30	-	-	-
Invadine® PBN	0	5	5	5	5	5	-	-
Asam fosfor 80%	0	20	20	20	20	-	20	20
Hasil uji tahan api sesudah pencucian*								
Waktu nyala (s)	7	0	0	0	0	0	0	5
Waktu bara (s)	20	0	0	0	0	0	0	13
Panjang arang (cm)	30	15,5	17	16,7	17	16	15	30

* Larutan sabun 70 °C, 15 menit, dengan pembilasan.

Untuk karakterisasi dan evaluasi morfologi permukaan serat digunakan JSM-IT InTouchScope™ Scanning Electron Microscope

(JEOL) milik Balai Besar Tekstil, sedangkan analisa kimia permukaan dengan ATR-FTIR dilakukan menggunakan spektrometer IRAffinity-1S (Shimadzu) yang dilengkapi dengan pemisah berkas cahaya (*beam splitter*) KBr berlapis germanium dan detektor yang terbuat dari triglisin sulfat yang di-*dope* dengan lantanum alfa alanin terdeuterasi (DLATGS = *Deuterated Lanthanum α Alanine-doped TriGlycine Sulphate*) milik Laboratorium Evaluasi Politeknik STTT Bandung.

Percobaan

Tabel 1 di atas memperlihatkan tujuh variasi resep percobaan pendahuluan untuk penyempurnaan tahan api dengan metode benamperas-pemanasawetan berdasarkan saran pemakaian yang terdapat pada brosur teknis dari Huntsman (Resep 1). Resep 1-7 dilakukan dengan WPU 70%, pengeringan pada suhu 110 °C selama 2 menit dan pemanasawetan pada suhu 170 °C selama 1 menit. Pencucian dilakukan dengan larutan sabun pada suhu 70 °C selama 15 menit dan diikuti dengan pembilasan untuk menghilangkan zat-zat yang tidak berikatan dengan serat pada permukaan. Hasil dari percobaan pendahuluan diuji dan dievaluasi menurut waktu nyala, waktu bara dan panjang arang sesuai dengan SNI 0989-2011 untuk selanjutnya dipilih satu resep yang menghasilkan sifat tahan api yang paling baik dan dijadikan sebagai pembanding. Menurut data hasil uji tahan api pada Tabel 1, hasil terbaik diperoleh dari Resep 6 dengan sisa arang terpendek (15 cm), sehingga resep tersebut digunakan sebagai resep untuk penyempurnaan dengan plasma pada percobaan-percobaan berikutnya (Tabel 2).

Tabel 2. Resep penyempurnaan tahan api simultan dengan penyempurnaan antibakteri.

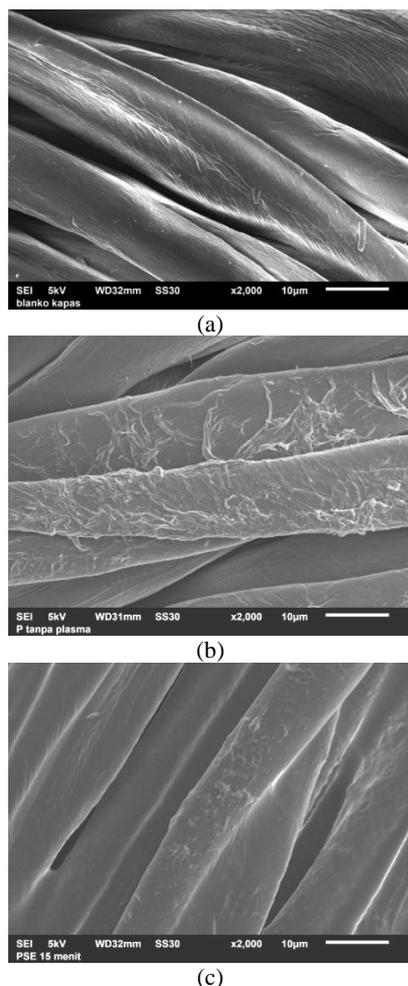
Nama Zat	Metode*		
	BP	PB	PP
MDFPA (g/L)	400	400	400
Asam fosfor 80% (g/L)	20	20	20
Kitosan (g/L)	10	10	10

* BP = benamperas-plasma, PB = plasma-benamperas, PP = plasma-perendaman. Perendaman dilakukan selama 30 menit pada suhu kamar.

Pada perlakuan plasma, kain berukuran kertas A4 diletakkan pada meja sampel yang juga berfungsi sebagai elektroda tanah (*ground electrode*) dan diposisikan di bawah elektroda jarum yang diposisikan di atas kain pada jarak 2,8 cm. Selanjutnya, dilakukan pembangkitan plasma dengan tegangan sebesar 18 kV dan arus 10 mA. Ketiga parameter tersebut telah ditetapkan terlebih dahulu melalui serangkaian percobaan pendahuluan untuk menghasilkan plasma yang stabil dan *self-sustained* serta tidak menimbulkan kilatan listrik (*arcing*) yang dapat merusak sampel. Waktu pajanan plasma divariasikan pada 5, 10, 15, 20, dan

30 menit. Hasil proses dicuci dengan prosedur yang sama seperti telah dijelaskan sebelumnya.

Hasil proses penyempurnaan dengan metode BP, PB dan PP (Tabel 2) selanjutnya dikarakterisasi sifat-sifat fisik dan kimia permukaannya masing-masing dengan SEM dan ATR-FTIR. Ketahanan api, aktifitas antibakteri, dan kekuatan tarik diuji dan dievaluasi dengan mengikuti SNI 0989-2011 untuk tahan api, SNI ISO 20743-2011 untuk antibakteri (*S. aureus*), dan kekuatan tarik kain dengan SNI 0276-2009 di Laboratorium Evaluasi Kimia Politeknik STTT Bandung.



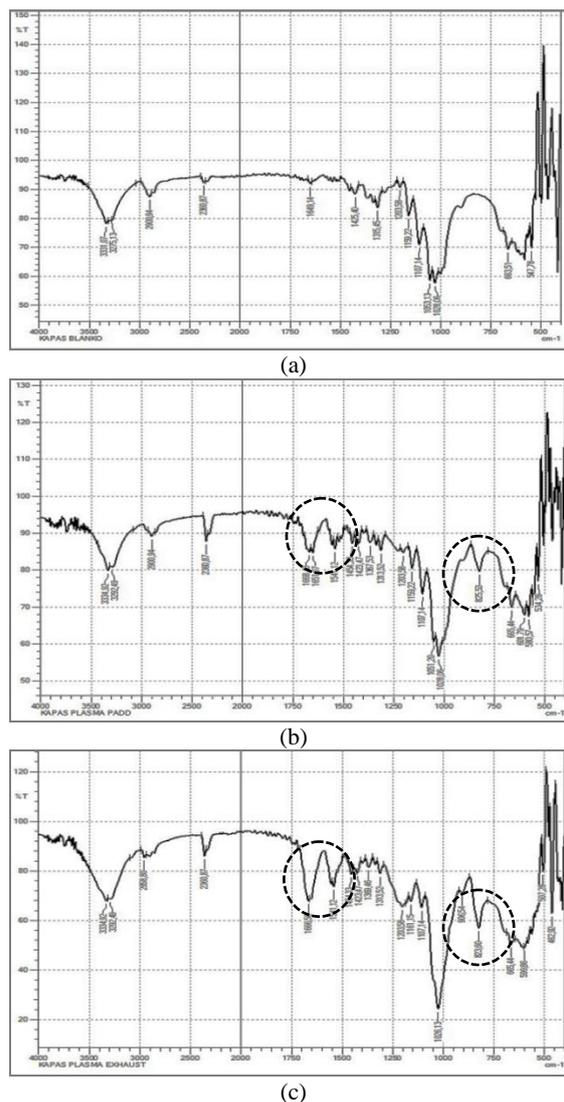
Gambar 4. Hasil pencitraan dengan SEM: (a) serat kapas kontrol, (b) serat kapas hasil penyempurnaan tahan api dan antibakteri dengan cara benamperas-pengeringan-pemanasawetan, (c) serat kapas hasil penyempurnaan tahan api dan antibakteri dengan cara plasma (15 menit) dan perendaman (PP).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi dan Sifat Kimia Permukaan

Gambar 4 memperlihatkan citra permukaan serat kapas hasil penyempurnaan tahan api dan antibakteri dengan cara konvensional benamperas-pemansawetan dan dengan plasma. Jika

dibandingkan dengan citra SEM dari permukaan kain kapas yang tidak diberi perlakuan (kapas kontrol), maka nampak jelas adanya suatu lapisan yang menutupi permukaan serat pada kain kapas hasil proses penyempurnaan, baik cara benamperas-pemanasawetan maupun benamperas-plasma. Lapisan tersebut diduga merupakan polimer kitosan dan tentunya juga N-metilol dimetilfosfonopropionamida yang tertanam dan berikatan pada permukaan serat kapas. Analisa kimia permukaan dengan FTIR memberikan petunjuk lebih jelas tentang keberadaan kedua bahan tersebut.

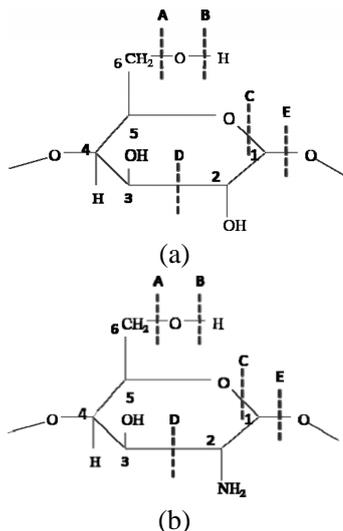


Gambar 5. Spektra ATR-FTIR kain kapas (a) kontrol, (b) hasil penyempurnaan tahan api dan antibakteri dengan cara benamperas-pemanasawetan, (c) penyempurnaan tahan api dan antibakteri dengan plasma (15 menit) dan perendaman (PP).

Gambar 5 menampilkan spektra FTIR dari kain kapas yang terdapat pada Gambar 4. Pada Gambar 5a, yaitu kapas yang tidak diberi perlakuan dan digunakan sebagai sampel kontrol, dapat dilihat

dengan jelas puncak lebar pada bilangan gelombang 3331 cm^{-1} yang berasal dari peregangan ikatan hidrogen pada gugus O-H, peregangan C-O pada alkohol primer yang berpusat di 1030 cm^{-1} , dan peregangan C-H pada 2900 cm^{-1} . Selanjutnya, pada kapas hasil penyempurnaan (Gambar 5b dan 5c), dapat diamati munculnya puncak-puncak baru terutama pada bilangan gelombang 825 cm^{-1} yang menandai keberadaan CH_2 pada P- CH_2 dari senyawa tahan api dimetilfosfonopropionamida (Gambar 1). Pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 825 cm^{-1} telah diketahui merupakan penciri struktur fosfonat dengan gugus CH_2 -P-R.³⁴ Disamping itu, dapat diamati pula pita serapan kuat pada 1666 cm^{-1} yang berasal dari vibrasi regangan karbonil (C=O) pada amida sekunder yang terdapat pada gugus propionamida, sedangkan pita serapan 1541 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus amina (N-H) yang terdapat pada senyawa tahan api dan juga kitosan. Analisa dengan FTIR telah mengkonfirmasi dan melengkapi hasil pengamatan morfologi dengan SEM.

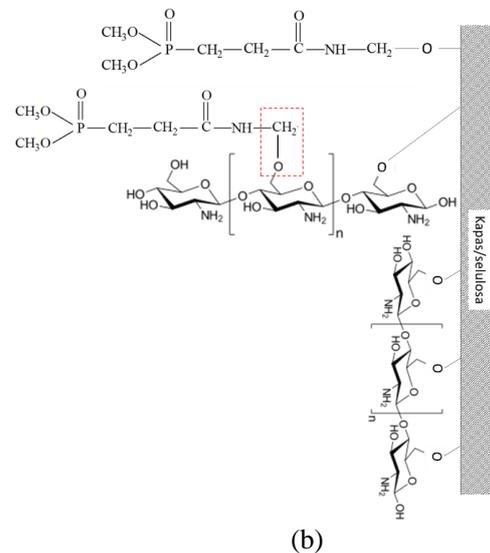
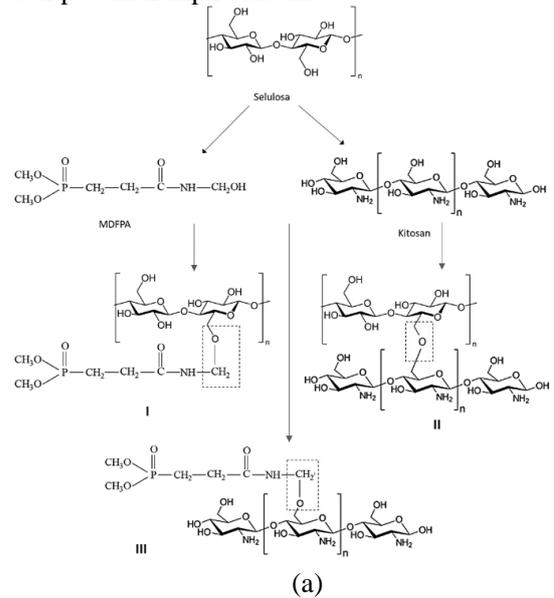
Perlakuan plasma pada bahan dapat membangkitkan radikal permukaan sebagai akibat interaksinya dengan plasma dan pemutusan ikatan pada struktur kimia polimer di daerah permukaan. Beberapa kemungkinan pemutusan ikatan dapat terjadi di berbagai titik pada struktur molekul kapas dan kitosan sebagaimana tampak pada Gambar 6 dan 7 dari hasil analisa dengan *X-ray Photoelectron Spectroscopy* (XPS)³⁵. Berdasarkan hasil analisa tersebut dapat diperkirakan pembentukan ikatan antara kapas dengan kitosan, MDFPA dengan kapas, dan juga kitosan dengan MDFPA (Gambar 6 dan 7).



Gambar 6. Kemungkinan pemutusan ikatan pada struktur kimia (a) kapas dan (b) kitosan akibat perlakuan plasma berdasarkan hasil analisa permukaan dengan XPS.³⁵ (A=dehidroksilasi, B=dehidrogenasi, C, D=pemutusan cincin, E=pemutusan rantai).

Tahan Api

Tabel 3 dan 4 berikut di bawah ini memperlihatkan hasil pengujian tahan api dari proses benamperas-plasma (BP), plasma-benamperas (PB), dan plasma-perendaman (PP) dengan waktu pajanan plasma yang berbeda. Pada umumnya, ketiga metode proses menghasilkan ketahanan api yang baik dengan waktu nyala dan waktu bara 0 detik dimana kain tidak meneruskan pembakaran jika dijauhkan dari sumber nyalanya dan padam hampir seketika.



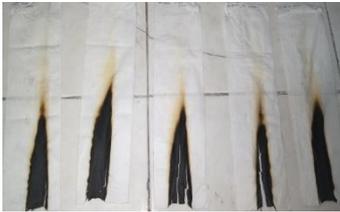
Gambar 7. Kemungkinan reaksi pembentukan ikatan antara kapas, kitosan dan MDFPA (a) dan gambar skematik pengikatan pada permukaan serat kapas (b)

Meskipun demikian, sebagaimana tampak pada Tabel 4, hasil uji tahan api masih menyisakan sisa arang pada kain dengan panjang yang bervariasi sesuai dengan tingkat perlakuan.

Tabel 3. Hasil uji tahan api kain kapas dengan tiga metode proses yang berbeda. (BP = benamperas-plasma, PB = plasma-benamperas, PP = plasma-perendaman)

Waktu pajan plasma (menit)	BP			PB			PP		
	Waktu nyala (s)	Waktu bara (s)	Panjang arang (cm)	Waktu nyala (s)	Waktu bara (s)	Panjang arang (cm)	Waktu nyala (s)	Waktu bara (s)	Panjang arang (cm)
0	7	20	30	7	20	30	7	20	30
5	0	0	11	0	0	12,2	0	0	11
10	0	0	12	0	0	9,5	0	0	10,2
15	0	0	10,3	0	0	10,5	0	0	9,5
20	0	0	10,5	0	0	10,9	0	0	10,5
30	0	0	11,2	0	0	11,9	0	0	11,5

Tabel 4. Panjang arang hasil uji tahan api kain kapas dengan tiga metode proses yang berbeda. (BP = benamperas-plasma, PB = plasma-benamperas, PP = plasma-perendaman)

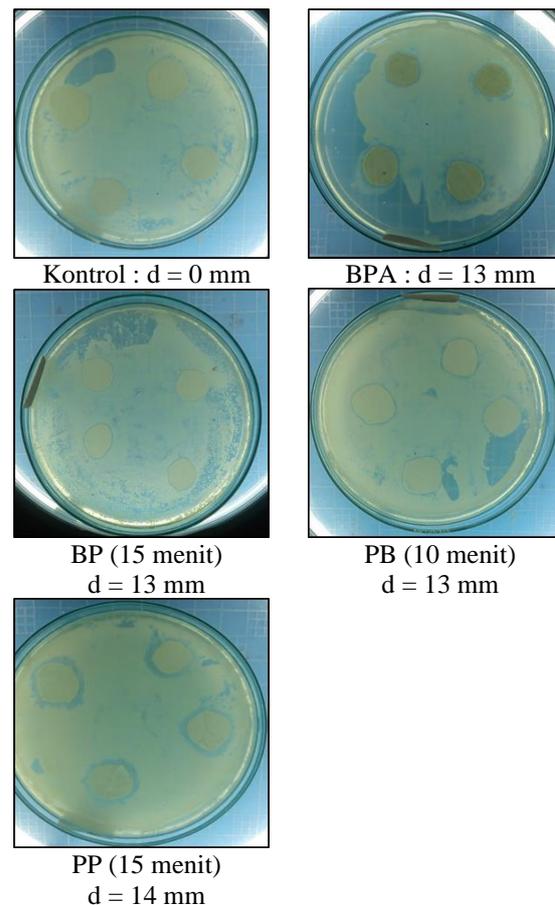
Proses	Sampel
Tanpa perlakuan	 <p>R0 R1 R2 R3 R4 R5 R6 R7</p>
Benamperas-Plasma (BP)	 <p>5 10 15 20 30 menit</p>
Plasma-Benamperas (PB)	 <p>5 10 15 20 30 menit</p>
Plasma-Perendaman (PP)	 <p>5 10 15 20 30 menit</p>

Tabel 3 dan 4 memperlihatkan bahwa hingga batas tertentu, yaitu sekitar 10-15 menit, panjang arang yang tersisa dari hasil uji ketiga proses tersebut tampak menjadi semakin pendek dengan bertambah lamanya waktu pemajanan. Hal tersebut dapat diartikan sebagai peningkatan ketahanan api. Namun, pada waktu pemajanan yang lebih lama, panjang arang yang tersisa justru bertambah dan memperlihatkan berkurangnya efektifitas ketahanan api. Pada proses benamperas-plasma (BP), ada kemungkinan hal tersebut disebabkan oleh degradasi senyawa tahan api akibat interaksinya dengan spesi aktif di dalam plasma dalam waktu relatif lama. Akan tetapi, penjelasan tersebut tidak dapat menerangkan pengamatan yang sama pada proses plasma-benamperas (PB) dan plasma-perendaman (PP) karena senyawa zat tahan api dan kitosan baru ada pada kain justru setelah pemajanan dengan plasma. Kemungkinan penjelasan yang lain adalah adanya perubahan sifat-sifat kimia dan fisik permukaan serat yang timbul sebagai akibat interaksinya dengan plasma dan mempengaruhi sifat pembakarannya (*combustion properties*). Tumbukan berbagai spesi berenergi tinggi dapat mengakibatkan degradasi rantai-rantai polimer dan terbentuknya lubang-lubang mikro pada permukaan serat dan meningkatkan kereaktifan serat maupun luas permukaannya. Sehingga, meskipun pelapisan dengan senyawa tahan api telah dapat memberikan sifat tahan api yang efektif dan memadamkan nyala api hampir seketika, perubahan sifat kimia dan fisik pada permukaan serat masih berkontribusi pada pembentukan arang pada proses pembakaran.

Selanjutnya, dapat pula diamati bahwa pita serapan CH_2 , $\text{C}=\text{O}$, dan $\text{N}-\text{H}$ pada hasil penyempurnaan dengan cara plasma-perendaman (Gambar 5c) memiliki intensitas yang relatif lebih tinggi daripada hasil penyempurnaan dengan metode benamperas-pemanasawetan (Gambar 5b). Hal tersebut dapat dianggap mengindikasikan bahwa metode plasma-perendaman memberikan hasil tahan api yang lebih baik daripada benamperas-pemanasawetan. Kolom Resep 6 pada Tabel 1 memperlihatkan hasil uji tahan api kain kapas yang diberi penyempurnaan tahan api dengan cara benamperas-pemanasawetan dan memiliki sisa arang sepanjang 15 cm. Sementara itu, panjang arang dari proses plasma-perendaman (PP) dengan waktu pemajanan 15 menit adalah 9,5 cm. Dengan demikian, dapat disimpulkan ada korelasi positif antara intensitas pita serapan gugus penciri senyawa tahan api dan ketahanan api yang dihasilkan.

Antibakteri

Gambar 8 di bawah ini memperlihatkan hasil uji antibakteri yang dinyatakan dengan diameter daya hambat (d). Dapat diamati bahwa perlakuan dengan plasma menghasilkan peningkatan aktifitas antibakteri pada semua sampel, meskipun hasilnya



Gambar 8. Uji anti bakteri dan nilai daya hambat hasil proses penyempurnaan tahan api dan antibakteri dengan kitosan (BPA = benamperas-pemanasawetan, BP = benamperas-plasma, PB = plasma-benamperas, PP = plasma-perendaman).

tidak nampak terlalu signifikan, yaitu hanya berkisar sekitar 1,5 – 2,0 mm lebih besar dari kain contoh uji yang berdiameter 1,0 cm. Menurut standar, suatu aktifitas antibakteri dikatakan cukup jika selisih antara ukuran sampel dan daya hambatnya lebih besar dari 5,0 mm dan dapat digolongkan kuat jika lebih besar dari 10,0 mm. Dari ketiga proses plasma, hasil proses plasma-perendaman dengan waktu pemajanan 15 menit menampakkan daya hambat yang paling kentara dengan zona bening yang jelas di sekitar bulatan sampel kain. Hasil uji tahan api terbaik juga didapat dari sampel yang sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa cara tersebut memang memberikan hasil terbaik untuk proses penyempurnaan tahan api simultan dengan antibakteri, setidaknya dalam lingkup terbatas studi yang telah dilaporkan dan didiskusikan di sini. Pada proses dengan perendaman, baik senyawa tahan api maupun antibakteri memiliki waktu lebih lama (30 menit) untuk berinteraksi dan mengadakan reaksi dengan situs-situs reaktif pada permukaan serat jika

dibandingkan dengan cara benamperas-plasma maupun plasma-benamperas yang waktu kontaknya dengan larutan jauh lebih terbatas.

KESIMPULAN

Plasma merupakan proses alternatif berkelanjutan yang memiliki potensi untuk dikembangkan lebih jauh penerapannya pada pemrosesan bahan tekstil mulai dari proses persiapan hingga penyempurnaan untuk memperoleh efek-efek fungsional khusus. Secara umum, studi ini telah memperlihatkan bahwa plasma dapat memberikan sifat tahan api yang cukup memadai pada kain kapas meskipun modifikasi kimia hanya berlangsung pada bagian permukaan serat. Sementara di sisi lain, pada proses konvensional dengan benamperas-pemanaswetan, perubahan sifat kimia dan termal kapas berlangsung hingga ke bagian dalam serat. Meskipun belum optimal, kain hasil perlakuan plasma juga menunjukkan aktifitas anti bakteri yang cukup menjanjikan.

Metode benamperas-plasma, plasma-benamperas dan plasma-perendaman telah menghasilkan sifat tahan api yang efektif dan peningkatan aktifitas antibakteri pada kain kapas. Dari ketiga metode tersebut, metode plasma-perendaman memberikan hasil yang paling baik dari segi ketahanan api dan antibakterinya. Berdasarkan hasil percobaan, ada kemungkinan pajanan plasma mengubah sifat-sifat kimia dan fisik permukaan serat kapas dengan cara-cara tertentu yang mempengaruhi sifat-sifat pembakarannya. Hal ini belum pernah dipelajari dan dapat menjadi salah satu bahan studi untuk dipelajari lebih lanjut.

PUSTAKA

1. Widodo, M. Plasma Surface Modification of Polyaramid Fibers for Protective Clothing. (2011).
2. Shishoo, R. *Plasma Technologies for Textiles*. (CRC, 2007).
3. Airoudj, A., Bally-Le Gall, F. & Roucoules, V. Textile with Durable Janus Wetting Properties Produced by Plasma Polymerization. *J. Phys. Chem. C* **120**, 29162–29172 (2016).
4. Jelil, R. A., Zeng, X., Koehl, L. & Perwuelz, A. Most relevant parameters of woven fabric structure controlling atmospheric air-plasma treatments. *Text. Res. J.* **82**, 1859–1869 (2012).
5. Kan, C. & Lam, C. Atmospheric Pressure Plasma Treatment for Grey Cotton Knitted Fabric. *Polym. 2018, Vol. 10, Page 53* **10**, 53 (2018).
6. Cai, Z., Qiu, Y., Hwang, Y. J., Zhang, C. & McCord, M. The Use of Atmospheric Pressure Plasma Treatment in Desizing PVA on Viscose Fabrics. *J. Ind. Text.* **32**, 223–232 (2003).
7. Verschuren, J., Kiekens, P. & Leys, C. Textile-specific Properties that Influence Plasma Treatment, Effect Creation and Effect Characterization. *Text. Res. J.* **77**, 727–733 (2007).
8. Tsai, P. P., Wadsworth, L. C. & Reece Roth, J. Surface modification of fabrics using a one-atmosphere glow discharge plasma to improve fabric wettability. *Text. Res. J.* **67**, 359–369 (1997).
9. Morent, R. *et al.* Non-thermal plasma treatment of textiles. *Surf. Coatings Technol.* **202**, 3427–3449 (2008).
10. Chaivan, P., Pasaja, N., Boonyawan, D., Suanpoot, P. & Vilaithong, T. Low-temperature plasma treatment for hydrophobicity improvement of silk. *Surf. Coatings Technol.* **193**, 356–360 (2005).
11. Gawish, S. M. *et al.* New Functionalities of PA6,6 Fabric Modified by Atmospheric Pressure Plasma and Grafted Glycidyl Methacrylate Derivatives. *Text. Res. J.* **77**, 92–104 (2007).
12. Guo, L., Campagne, C., Perwuelz, A. & Leroux, F. Zeta Potential and Surface Physico-chemical Properties of Atmospheric Air-plasma-treated Polyester Fabrics. *Text. Res. J.* **79**, 1371–1377 (2009).
13. Okubo, M., Saeki, N. & Yamamoto, T. Development of functional sportswear for controlling moisture and odor prepared by atmospheric pressure nonthermal plasma graft polymerization induced by RF glow discharge. *J. Electrostat.* **66**, 381–387 (2008).
14. Verschuren, J., Van Herzele, P., De Clerck, K. & Kiekens, P. Influence of Fiber Surface Purity on Wicking Properties of Needle-Punched Nonwoven after Oxygen Plasma Treatment. *Text. Res. J.* **75**, 437–441 (2005).
15. Edwards, B., El-Shafei, A., Hauser, P. & Malshe, P. Towards flame retardant cotton fabrics by atmospheric pressure plasma-induced graft polymerization: Synthesis and application of novel phosphoramidate monomers. *Surf. Coatings Technol.* **209**, 73–79 (2012).
16. Tsafack, M. J. & Levalois-Grützmaier, J. Towards multifunctional surfaces using the plasma-induced graft-polymerization (PIGP) process: Flame and waterproof cotton textiles. *Surf. Coatings Technol.* **201**, 5789–5795

- (2007).
17. Malshe, P., Mazloupour, M., El-Shafei, A. & Hauser, P. Functional Military Textile: Plasma-Induced Graft Polymerization of DADMAC for Antimicrobial Treatment on Nylon-Cotton Blend Fabric. *Plasma Chem. Plasma Process.* **32**, 833–843 (2012).
 18. Wafa, D. M. *et al.* Atmospheric plasma-aided biocidal finishes for nonwoven polypropylene fabrics. II. Functionality of synthesized fabrics. *J. Appl. Polym. Sci.* **103**, 1911–1917 (2007).
 19. Tseng, H.-J., Hsu, S., Wu, M.-W., Hsueh, T.-H. & Tu, P.-C. Nylon textiles grafted with chitosan by open air plasma and their antimicrobial effect. *Fibers Polym.* **10**, 53–59 (2009).
 20. Zhang, W. *et al.* Antibacterial properties of plasma-modified and triclosan or bronopol coated polyethylene. *Polymer (Guildf).* **47**, 931–936 (2006).
 21. Shi, Q. *et al.* Durable antibacterial Ag/polyacrylonitrile (Ag/PAN) hybrid nanofibers prepared by atmospheric plasma treatment and electrospinning. *Eur. Polym. J.* **47**, 1402–1409 (2011).
 22. Chen, K.-S. *et al.* Surface grafting polymerization of N-vinyl-2-pyrrolidone onto a poly(ethylene terephthalate) nonwoven by plasma pretreatment and its antibacterial activities. *J. Appl. Polym. Sci.* **100**, 803–809 (2006).
 23. Chang, Y.-B., Tu, P.-C., Wu, M.-W., Hsueh, T.-H. & Hsu, S. A study on chitosan modification of polyester fabrics by atmospheric pressure plasma and its antibacterial effects. *Fibers Polym.* **9**, 307–311 (2008).
 24. Huh, M. W. *et al.* Surface characterization and antibacterial activity of chitosan-grafted poly(ethylene terephthalate) prepared by plasma glow discharge. *J. Appl. Polym. Sci.* **81**, 2769–2778 (2001).
 25. Widodo, M., El-Shafei, A. & Hauser, P. J. Surface nanostructuring of kevlar fibers by atmospheric pressure plasma-induced graft polymerization for multifunctional protective clothing. *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.* **50**, 1165–1172 (2012).
 26. Huh, M. W. *et al.* Surface characterization and antibacterial activity of chitosan-grafted poly(ethylene terephthalate) prepared by plasma glow discharge. *J. Appl. Polym. Sci.* **81**, 2769–2778 (2001).
 27. Carneiro, N. *et al.* Dyeability of corona-treated fabrics. *Color. Technol.* **117**, 298–302 (2001).
 28. Ilic, V. *et al.* The study of coloration and antibacterial efficiency of corona activated dyed polyamide and polyester fabrics loaded with Ag nanoparticles. *FIBERS Polym.* **10**, 650–656 (2009).
 29. Lee, J. H., Kim, H. G., Khang, G. S., Lee, H. B. & Jhon, M. S. Characterization of wettability gradient surfaces prepared by corona discharge treatment. *J. Colloid Interface Sci.* **151**, 563–570 (1992).
 30. Eifert, A., Petit, J., Baier, T., Bonaccorso, E. & Hardt, S. Inscribing wettability gradients onto polymer substrates with different stiffness using corona discharge in point-to-plane geometry. *Appl. Surf. Sci.* (2015). doi:10.1016/j.apsusc.2014.12.169
 31. Susan, A. I., Widodo, M. & Nur, M. Corona Glow Discharge Plasma Treatment for Hydrophobicity Improvement of Polyester and Cotton Fabrics. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **214**, (2017).
 32. Radetic, M. *et al.* Antibacterial effect of silver nanoparticles deposited on corona-treated polyester and polyamide fabrics. *Polym. Adv. Technol.* **19**, 1816–1821 (2008).
 33. Ilic, V. *et al.* Antifungal efficiency of corona pretreated polyester and polyamide fabrics loaded with Ag nanoparticles. *J. Mater. Sci.* **44**, 3983–3990 (2009).
-

