EFEK MODIFIKASI PLASMA UNTUK MENINGKATKAN SIFAT TAHAN API DARI KAIN KATUN

THE EFFECT OF PLASMA MODIFICATION FOR IMPROVING FIRE RETARDANT PROPERTIES OF COTTON FABRIC

Valentinus Galih Vidia Putra^{1*}, Andrian Wijayono¹, Juliany Ningsih Mohamad²

¹Program Studi Rekayasa Tekstil dan Apparel, Politeknik STTT Bandung

¹Jalan Jakarta No. 31, Bandung, 40272.

²Program Studi Fisika, Universitas Nusa Cendana Kupang

²Jalan Adi Sucipto Penfui, Kupang, 85001

* Main contributor and corresponding author

¹e-mail: valentinus@kemenperin.go.id

Diterima: 10 Januari 2020; Direvisi: 31 Mei – 17 Juni 2020; Disetujui: 18 Juni 2020

Abstrak

Pada penelitian ini telah dikembangkan sifat tahan api pada bahan tekstil kain katun dengan menggunakan resin tahan api dan ekstrak daun bayam. Zat tahan api diaplikasikan pada kain katun dengan menggunakan metode plasma bertekanan atmosfer dan *pad-dry-cure*. Kain katun yang digunakan merupakan kain kapas yang telah mengalami proses pengelantangan dan merserisasi. Pada penelitian ini telah dilakukan tiga jenis metode, yaitu metode *pad-dry-cure* pada zat resin tahan api dengan pra-perlakuan plasma bertekanan atmosfer, metode perendaman pada zat resin tahan api dengan pra-perlakuan plasma bertekanan atmosfer, dan metode perendaman pada ekstrak daun bayam dengan pra-perlakuan plasma bertekanan atmosfer. Penelitian menunjukkan bahwa ada peningkatan sifat tahan api pada kain katun yang telah diberikan perlakuan. Penilaian sifat tahan api diuji dengan menggunakan metode uji standar tahan api cara vertikal ASTM D6413-08. Pada penelitian ini telah dilakukan perlakuan plasma bertekanan atmosfer dengan variasi waktu 4 menit dan 8 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kain katun dengan perlakuan metode perendaman pada ekstrak daun bayam dan pra-perlakuan plasma bertekanan atmosfer memiliki sifat tahan api yang paling baik diantara metode lainnya. Telah ditemukan pula pada studi ini bahwa waktu perlakuan plasma 4 menit berpengaruh terhadap sifat tahan api kain katun.

Kata kunci: Ekstrak daun bayam, Kain katun, Pad-dry-cure, Plasma bertekanan atmosfer, Tahan api.

Abstract

In this research, fire retardant properties have been developed in cotton fabric textile materials using fire retardant resin and spinach leaf extracts. The fire retardant agent was applied to cotton fabric using the atmospheric plasma pretreatment and pad-dry-cure method. The cotton fabric sample was already treated by the mercerization and bleaching process. In this research, there is consist of three types of methods that have been carried out, using the pad-dry-cure method with fire retardant resin, plasma-immersion method with fire retardant resin, and plasma-immersion method with spinach leaf extract. The study shows that the fire retardant properties of the treated-samples are improved significantly. The fire-retardant properties were tested using the standard test method for flame resistance of textiles (vertical test) from ASTM D6413-08. In this research, atmospheric-pressure plasma treatment has been done in variations of 4 minutes and 8 minutes. The result shows that the treated-cotton fabric with the immersion method in spinach leaf extract using atmospheric plasma pre-treatment had the best fire retardant properties among other methods. It has also been found that the exposure time by plasma treatment in 4 minutes affected the fire retardant properties of the cotton fabrics.

Keywords: Atmospheric Pressure Plasma, Cotton Fabric, Flame Retardant, Pad-dry-cure, Spinach Leaves Extract.

PENDAHULUAN

Kegunaan material kain tekstil telah banyak diketahui pada kehidupan sehari-hari saat ini. Permasalahan utama dari

material tekstil dan polimer yang berbasis bahan organik adalah sifat tidak tahan api dari material tersebut (Basak, Samanta & Chattopadhyay, 2014). Berdasarkan data literatur, pada periode tahun 2018 – 2019

terdapat sekitar 251 korban meninggal dan 7.162 luka-luka yang diakibatkan oleh kasus kebakaran (The Home Office, 2020). Beberapa peneliti sepakat bahwa adanya keperluan untuk mengembangkan material kain yang dapat mengurangi resiko bahaya kebakaran pada manusia (Barker, Deaton & Ross, 2011).

Serat selulosa alami seperti kapas dan serat nanas merupakan salah satu contoh jenis bahan yang tidak bersifat tahan api (Shahidi, 2013; Shahidi & Ghoranneviss, 2013; Galaska, Horrocks & Morgan, 2017; Sahabudin & Razali, 2019; Liu dkk, 2016). Kemungkinan bahaya yang timbul akibat dari sifat tersebut hampir ditemui pada banyak bahan tekstil, baik sebagai bahan tekstil sandang, maupun pada bahan tekstil rumah tangga (Liu dkk, 2016; Horrocks & Price, 2001). Peristiwa kebakaran tragis yang terjadi di Arab Saudi pada tahun 1997 telah menewaskan setidaknya 300 jemaah haji saat api menjalar dan membakar tenda jemaah di Mina (Imam & Roca Cladera, 2016; Alsulaiman & Rentner, 2019; The Associated Press, 1997). Selain itu, banyak peziarah lainnya mengalami luka bakar saat api menyebar dengan cepat dan membakar sekitar 70.000 tenda di lokasi tersebut. Sangat mungkin bahwa tenda yang terbakar saat itu terbuat dari bahan yang mudah terbakar, yang diperburuk oleh lingkungan yang panas dan kering, angin kencang dan rapatnya susunan antar tenda pada lokasi tersebut (Horrocks & Price, 2001). Berdasarkan data laporan kebakaran yang terjadi pada tahun 2018 di Inggris, terdapat 3,961 kasus kebakaran di rumah disebabkan oleh material tekstil (tekstil sebagai barang yang pertama kali terbakar) dari 26.610 keseluruhan kasus kebakaran di rumah, serta sekitar 27% korban mengalami kematian akibat kebakaran ini (The Home Office, 2020).

Usaha untuk meningkatkan sifat tahan api pada bahan tekstil menggunakan teknologi plasma telah diungkapkan oleh beberapa peneliti (Zille, 2020; Horrocks, 2019; Zhang dkk, 2018; Palaskar, Desai & Shukla, 2015; Shahidi, 2013; Shahidi & Ghoranneviss, 2013). Beberapa peneliti telah menggunakan plasma sebagai salah satu metode untuk mengaplikasikan lapisan tahan api pada permukaan bahan

(Zille, 2020; Shahidi & Ghoranneviss, 2013; Palaskar, Desai & Shukla, 2015; Shahidi, 2013; Zhang dkk, 2018). Terdapat beberapa contoh cara untuk meningkatkan sifat tahan api dari bahan tekstil, yaitu dapat menggunakan teknik pencampuran serat (Zhang dkk, 2018; Sahabudin & Razali, 2019); menggunakan teknik coating (Horrocks, 2019); menggunakan teknik plasma (Palaskar, Desai & Shukla, 2015; Shahidi, 2013); maupun dengan menggunakan teknik pencangkakan polimer (Zille, 2020).

Plasma merupakan materi ke-4 yang tersusun dari substansi gas yang terionisasi (Gorjanc, Gorenšek, Jovančić & Mozetic, 2013), (Putra, Mohamad dan Yusuf, 2020), (Putra, Fitri, Purnama & Mohamad, 2020), (Putra & Wijayono, 2019). Plasma memiliki sifat-sifat yang serupa dengan gas, yaitu tidak memiliki volume dan bentuk (Putra & Wijayono, 2019). Pada proses produksi tekstil, plasma dapat digunakan untuk beberapa penerapan, diantaranya untuk memodifikasi sifat hidrofilik bahan; meningkatkan daya adhesi; meningkatkan *dyeability*; penambahan sifat anti kotor, anti bakteri dan tahan api (Xu, L., Wang, & Yu, 2017), (Wang dkk, 2016); penggunaan aplikasi sterilisasi; penyempurnaan anti mengkeret pada serat wool (Amril, 2015). Menurut beberapa peneliti, plasma dapat dikategorikan sebagai solusi dari permasalahan industri pada aspek energi dan limbah (Sjaifudin & Sitohang, 2015; Sjaifudin dkk, 2014). Selain itu, proses plasma termasuk ke dalam proses kering (tidak memerlukan air) sehingga dianggap lebih bersifat ramah lingkungan (Prayudie & Novarini, 2015). Proses plasma telah dikenal dengan karakteristik tanpa air (proses kering), sehingga dapat dianggap sebagai solusi dari permasalahan limbah yang dihadapi (Rauscher, Perucca & Buyle, 2010; Sjaifudin & Sitohang, 2015; Sjaifudin dkk, 2014). Beberapa contoh sektor industri yang menerapkan teknologi plasma antara lain: industri tekstil (Zille, Oliveira & Souto, 2015), industri makanan (Pankaj dkk, 2014), industri perminyakan (Zavareh dkk, 2014), manufaktur material nanopartikel (Burakov dkk, 2017), medis (Laroussi & Keidar, 2017), bidang biomaterial (Kim dkk, 2014) serta industri kimia (Van Rooij dkk, 2017). Meskipun

penggunaan teknologi plasma pada bidang tekstil telah terbukti menunjukkan hasil yang baik, namun lambatnya perkembangan teknologi plasma di Indonesia serta ketidaktahuan industri mengenai pemanfaatan teknologi plasma, sehingga pemanfaatan plasma pada bidang sektor industri tekstil sangat jarang ditemui.

Penerapan teknologi plasma sebagai usaha untuk meningkatkan sifat tahan api kain katun telah berhasil dilakukan oleh beberapa peneliti (Shahidi, 2013; Shahidi & Ghoranneviss, 2013). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat tahan api dapat dikaitkan dengan terbentuknya gugus kationik pada kain katun karena adanya perubahan perubahan muatan pada permukaan serat selulosa (Shahidi, 2013). Pada penelitian lainnya, telah dilakukan proses plasma yang diikuti dengan proses pengaplikasian nanoclay untuk meningkatkan sifat tahan api dari material kain tenun kapas (Shahidi & Ghoranneviss, 2013). Telah diketahui sebelumnya bahwa nanoclay merupakan salah satu material yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat tahan api berbagai material (Yen, Wang & Guo, 2013; Yen, Wang & Guo, 2012; Huang dkk, 2012). Berdasarkan hasil penelitian, proses plasma yang diikuti dengan proses pengaplikasian nanoclay telah berhasil meningkatkan sifat tahan api material kain katun, dengan peningkatan parameter *char yield* sebesar 10,10% dan LOI sebesar 5 (Shahidi & Ghoranneviss, 2013). Peningkatan sifat tahan api dari hasil pengaplikasian nanoclay pada bahan katun telah berhasil ditunjukkan oleh kurva TGA (dengan suhu dekomposisi awal 330°C), yaitu terjadinya penurunan laju dekomposisi material selulosa serta penurunan pada jumlah residu arang akhir hasil pembakaran (~3% TG) (Shahidi & Ghoranneviss, 2013). Proses gabungan plasma dan pengaplikasian nanoclay menunjukkan adanya peningkatan sifat tahan api sebesar 5 kali dari sebelumnya (Shahidi & Ghoranneviss, 2013). Proses plasma nitrogen pada material kain katun tanpa nanoclay telah terbukti menunjukkan adanya peningkatan sifat tahan api, dengan peningkatan pada parameter *char*

yield sebesar 6,8% dan LOI 3,3 (Shahidi & Ghoranneviss, 2013). Kain katun tanpa nanoclay dengan perlakuan plasma nitrogen memiliki nilai penurunan jumlah residu (~1% TG) dibandingkan dengan kain katun tanpa perlakuan). Hal tersebut menunjukkan adanya potensi peningkatan sifat tahan api sebesar 4 kali untuk perlakuan plasma nitrogen tanpa nanoclay pada kain katun (Shahidi & Ghoranneviss, 2013).

Selain material nanoclay, ekstrak daun bayam telah diketahui dapat menambahkan sifat tahan api pada bahan kain katun (Basak, Samanta & Chattopadhyay, 2014). Pengaplikasian ekstrak bayam pada ekstrak daun bayam pada bahan kain katun telah terbukti meningkatkan parameter LOI sebesar 12 dari sebelumnya (Basak, Samanta & Chattopadhyay, 2014). Peningkatan nilai LOI berpengaruh pada total waktu pembakaran kain katun dengan ekstrak daun bayam, yaitu terdapat peningkatan waktu pembakaran dari semula 60 detik menjadi 404 detik (Basak, Samanta & Chattopadhyay, 2014). Telah didapatkan pula bahwa penambahan ekstrak daun bayam pada kain katun juga menurunkan total panas yang dihasilkan sebesar 22% pada proses pembakaran (Basak, Samanta & Chattopadhyay, 2014). Kandungan garam logam, silikat dan molekul air merupakan zat yang berkontribusi pada sifat tahan api yang dihasilkan oleh bahan ekstrak daun bayam (Basak, Samanta & Chattopadhyay, 2014). Hasil analisis EDX menunjukkan bahwa ekstrak daun bayam yang telah diaplikasikan pada kain kapas mengandung 33,54% elemen C, 57,28% elemen O, 7,78% elemen Na, 0,46% elemen Mg, 0,21% elemen Si, 0,14% elemen Cl, 0,13% elemen K dan 0,16% elemen Ca. Kandungan zat nutrisi pada tanaman bayam yaitu Zn merupakan bahan yang bersifat higroskopis apabila terkena panas (api). Ketika unsur Zn pada ekstrak bayam terkena panas (api), maka akan terurai: $ZnCl_2 \cdot H_2O \rightarrow ZnCl(OH) + HCl + H_2O$. Kandungan Magnesium dengan pemanasan akan membentuk radikal bebas klorida yang dapat menghentikan nyala api. Peneliti telah menemukan bahwa adanya molekul air pada serat

berbasis selulosa terikat oleh senyawa natrium (bersifat higroskopis), yang kemungkinan Pada natrium kemungkinan terjadi pengendapan berupa garam yang larut dengan titik leleh rendah, sehingga apabila terdapat api akan dihasilkan zat yang tidak mudah terbakar (pengujian tahan api ASTM D6413) (Eriningsih, Mutia & Judawisastra, 2011). Kandungan kalium akan membentuk lapisan karbon yang dapat bertindak sebagai komposit pelindung panas dan penghalang oksigen yang dapat menghentikan nyala api (pengujian tahan api ASTM D6413) (Eriningsih, Mutia & Judawisastra, 2011). Selain bahan aditif tahan api yang berasal dari alam, penggunaan resin tahan api sebagai zat aditif pada penyempurnaan material tekstil telah dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti pengaplikasian natrium metaborat hidrat (Tawiah dkk, 2019) serta diklorotriazinil fosfonat dan trietanolamin (Lee & Jang, 2020). Pencarian bahan aditif berupa resin tahan api yang ramah lingkungan telah mendorong pada pengembangan serta penilaian bahan aditif tahan api yang berasal dari alam (Malucelli, 2018). Beberapa peneliti telah mengungkapkan mengenai kemungkinan penggunaan bahan aditif tahan api dengan kandungan bebas senyawa formaldehida dan bebas senyawa halogen halogen (Omerogullari Basyigit & Kut, 2018).

Pada penelitian ini telah digunakan dua jenis bahan tahan api, yaitu dengan menggunakan resin tahan api dan ekstrak daun bayam. Terdapat tiga metode yang telah dilakukan pada penelitian ini, yaitu metode plasma-*pad-dry-cure* dengan resin tahan api, metode perendaman pada zat resin tahan api dengan pra-perlakuan plasma bertekanan atmosfer, dan metode perendaman pada ekstrak daun bayam dengan pra-perlakuan plasma bertekanan atmosfer.

BAHAN DAN METODA

Bahan

Pada penelitian ini telah digunakan sampel tekstil berupa kain tenun anyaman plain yang terbuat dari bahan katun 100% dengan gramasi 200 g/m². Kain tenun berbahan dasar katun merupakan kain yang telah mengalami proses merserisasi

dan pengelantangan sebelumnya. Kain katun memiliki spesifikasi kerapatan pakan sebesar 30 helai/inci dan kerapatan lusi 40 helai/inci, dengan nomor benang lusi Ne₁ 25 dan nomor benang pakan Ne₁ 30. Bahan ekstrak daun bayam diperoleh dari jus daun bayam segar. Ekstrak daun bayam selanjutnya disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman No. 1 dan disiapkan untuk diaplikasikan pada kain tenun kapas. Resin tahan api yang digunakan merupakan resin komersial Leguard 700 yang diperoleh dari pasaran.

Peralatan

Perangkat plasma berkonfigurasi tip-silinder dibangkitkan dengan menggunakan sumber tegangan tinggi DC 5kV. Gambar 1 menunjukkan skema perangkat plasma tip-silinder yang digunakan pada penelitian ini. Elektroda titik digunakan sebagai elektroda positif, sedangkan elektroda silinder pejal berperan sebagai elektroda negative. Jarak antar elektroda yang digunakan adalah sebesar 3 cm. Elektroda titik terdiri atas 3 logam lancip yang terhubung secara seri dengan jarak 2,5 cm setiap bautnya. Gambar 2 memperlihatkan gambar alat plasma yang digunakan pada penelitian ini. Adanya plasma dapat diamati ketika adanya cahaya violet berpendar pada ruang diantara elektroda aktif dan elektroda pasif. Gambar 3 menunjukkan terbentuknya plasma didaerah antara elektroda aktif dan elektroda pasif.

Proses *pad-dry-cure* dilakukan menggunakan mesin padder dengan pengaturan WPU sebesar 80%. Proses pengeringan dan curing dilakukan dengan menggunakan mesin stenter yang diatur pada suhu masing-masing sebesar 130°C - 150°C. Mesin pemanas digunakan pada proses perendaman kain pada larutan resin dan larutan ekstrak daun bayam, serta diatur pada suhu 100°C. Setelah proses plasma selesai dilakukan, analisis FTIR telah dilakukan pada kain katun hasil proses plasma dengan menggunakan perangkat FTIR Spectra Shidamadzu.

Gambar 1. Skema perangkat plasma berkonfigurasi tip-silinder dengan tegangan maksimum 5 kV

Metode

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan Rancangan Acak Lengkap, yaitu variasi perlakuan waktu perlakuan plasma, pengaruh penggunaan metoda *pad-dry-cure* dan perendaman, serta pengaruh jenis zat tahan api. Pada penelitian ini telah dilakukan tiga jenis metode, yaitu metode plasma-*pad-dry-cure* dengan resin tahan api (metode A), metode perendaman pada zat resin tahan api dengan pra-perlakuan plasma bertekanan atmosfer (metode B) dan metode perendaman pada ekstrak daun bayam dengan pra-perlakuan plasma bertekanan atmosfer (metode C). Tabel 1 menunjukkan variasi perlakuan untuk masing-masing sampel yang dilakukan pada penelitian ini. Pra-perlakuan plasma dilakukan pada tegangan sebesar 3 kV dengan menggunakan media gas atmosfer dan memiliki suhu kisaran 27-28°C. Analisis FTIR telah dilakukan pada kain katun yang telah diberikan pra-perlakuan plasma Analisis FTIR dilakukan dengan tujuan untuk mengamati perubahan gugus fungsi pada kain katun serta kaitannya dengan pembentukan gugus hidroksil pada permukaan kain kapas.

menggunakan metode uji tahan api cara vertikal. Parameter yang diamati pada uji tahan api diantaranya waktu nyala, waktu bara dan panjang arang. Uji tahan api dilakukan untuk mengevaluasi sifat tahan api dari setiap sampel yang dihasilkan dari metode yang diusulkan.

Metode Plasma-*Pad-Dry-Cure* Resin Tahan Api

Pada rangkaian tahapan metode ini, pra-perlakuan plasma atmosfer telah dilakukan pada tegangan 3 kV dan suhu kisaran 27-28°C. Metode *pad-dry-cure* zat tahan api pada material kain katun dilakukan dengan menggunakan proses padding pada WPU sebesar 80%. Proses pengeringan dan curing dikerjakan secara berurutan setelah proses padding selesai dilakukan pada kain katun. Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan suhu 110°C selama 2 menit. Proses curing dilakukan dengan suhu 150°C selama 5 menit. Pada akhir proses dilakukan proses pencucian pada sampel kain katun yang telah diberikan perlakuan.

Tabel 1. Variasi jenis perlakuan pada proses pengaplikasian zat tahan api pada bahan tekstil kain katun 100%

Parameter Perlakuan	Variasi Jenis Perlakuan								
	A			B			C		
Durasi pra-perlakuan plasma (menit)	0*	4	8	0*	4	8	0*	4	8
Zat tahan api	Resin tahan api Leguard 700			Resin tahan api Leguard 700			Ekstrak daun bayam		
Metode pengaplikasian	<i>Pad-dry-cure</i> dengan WPU 80%			Perendaman pada suhu mendidih (selama 1 jam)			Perendaman pada suhu mendidih (selama 1 jam)		
Perlakuan lanjutan	Pengeringan pada suhu 110°C (selama 2 menit) Proses <i>curing</i> pada suhu 150°C (selama 5 menit) Proses pencucian			Pengeringan pada suhu 110°C (selama 2 menit) Proses <i>curing</i> pada suhu 150°C (selama 5 menit) Proses pencucian			Pengeringan pada suhu 130°C (selama 5 menit)		

* Tanpa menggunakan pra-perlakuan plasma

Gambar 2. Perangkat plasma lucutan korona tip-silinder bertegangan maksimum 5 kV

Gambar 3. Plasma yang terbentuk pada daerah diantara elektroda aktif dan elektroda pasif

Metode Plasma-Perendaman Resin Tahan Api

Metode pra-perlakuan dilakukan dengan menggunakan proses plasma bertekanan atmosfer pada tegangan 3kV suhu lingkungan 27-28°C. Digunakan 2 variasi waktu perlakuan plasma, yaitu selama 4 menit dan 8 menit. Kain katun tanpa perlakuan plasma juga digunakan pada metode ini untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan plasma terhadap sifat tahan api yang dihasilkan. Proses perendaman dilakukan secara berurutan setelah proses perlakuan plasma selesai. Proses perendaman kain katun pada zat tahan api dilakukan selama 1 jam pada suhu mendidih. Proses pengeringan dilakukan pada suhu 130°C selama 5

menit. Proses pencucian dilakukan pada rangkaian tahapan metode ini.

Metode Plasma-Perendaman Ekstrak Daun Bayam

Metode pra-perlakuan menggunakan plasma dilakukan dengan cara yang sama dengan metode lainnya. Perlakuan plasma pada waktu yang berbeda dilakukan pada durasi 4 menit dan 8 menit. Proses perendaman dilakukan setelah proses pra-perlakuan menggunakan plasma selesai. Metode perendaman dilakukan diatas perangkat pemanas selama 1 jam. Setelah proses perendaman selesai, proses pengeringan dan curing dilakukan pada kain secara berurutan. Proses terakhir merupakan proses pencucian kain katun yang telah selesai diberikan perlakuan.

Parameter yang diamati

Pada penelitian ini telah diamati beberapa parameter yang berhubungan dengan sifat tahan api, seperti waktu nyala, waktu bara dan panjang arang. Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi karakteristik waktu nyala, waktu bara, serta panjang arang setiap sampel kain tenun kapas dengan menggunakan metode uji standar tahan api cara vertikal ASTM D6413-08. Pengaruh durasi plasma, jenis zat tahan api serta metode pengaplikasian terhadap sifat tahan api telah diamati. Analisis FTIR telah dilakukan untuk mengetahui perubahan gugus fungsi bahan tekstil kapas hasil perlakuan plasma.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Modifikasi Gugus Fungsi Kain Katun Dengan Plasma

Gambar 4, menunjukkan spektra FTIR dari kain tenun berbahan dasar katun 100% yang diperlakukan masing-masing dalam kondisi yang berbeda. Analisis FTIR-ATR dapat membantu mempelajari interaksi antara kain katun dan spesies plasma (Kan & Lam, 2018). Spektra FTIR-ATR menunjukan hasil bahwa perlakuan plasma telah memberikan perubahan pada struktur kimia permukaan serat selulosa kapas.

Intensitas absorpsi pada 3400-3200 cm^{-1} (O-H) dari kain katun plasma

sedikit lebih tinggi daripada kain tanpa proses plasma, yang menunjukkan adanya peregangan O-H tambahan setelah perlakuan plasma atmosfer (Tian dkk, 2011). Intensitas puncak di wilayah $1657\text{--}1605\text{ cm}^{-1}$ (C=O) meningkat dan puncak kecil muncul setelah perlakuan plasma, yang menunjukkan adanya efek oksidasi pada permukaan kain setelah mengalami perlakuan plasma (Tian dkk, 2011; Samanta, Jassal, & Agrawal, 2009). Selain itu, di daerah pita $1330\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$, didapatkan puncak absorbansi yang lebih tinggi pada kain katun yang telah diberikan perlakuan plasma. Daerah pita $1330\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ terkait dengan kelompok yang mengandung oksigen dari peregangan C–O. Peningkatan pita C=O dan peregangan C–O mengkonfirmasi bahwa adanya kelompok polar tambahan pada permukaan serat setelah mengalami plasma (Tian dkk, 2011). Hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan plasma dapat meningkatkan hidrofilitas kain katun, yang dilihat dari peningkatan absorbansi pada kurva puncak C=O, C–O dan OH. Puncak pada nilai $2980\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$ berkaitan dengan adanya regangan pada gugus metilen ($-\text{CH}_2-$) pada rantai panjang alkil yang menunjukkan adanya kandungan lilin pada material selulosa kapas (Kramar dkk, 2018). Tingkat absorbansi pada nilai $2980\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$ menjadi berkurang setelah material kain katun diberikan perlakuan plasma. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat penurunan jumlah kandungan lilin pada permukaan bahan selulosa.

Gambar 4. Spektra FTIR dari kain tenun berbahan dasar katun 100% yang diperlakukan masing-masing dalam kondisi dengan plasma dan tanpa plasma

Meningkatnya hidrofilitas bahan kain katun dapat dikonfirmasi berdasarkan hasil FTIR yang telah dilakukan. Berdasarkan hal tersebut, sampel kain yang telah diberikan plasma akan memiliki penyerapan yang lebih tinggi terhadap zat tahan api yang diberikan, yang didasarkan pada peningkatan absorbansi pada gugus hidroksil (gugus yang bertanggung jawab menyerap air). Peningkatan penyerapan dapat dihasilkan karena adanya peningkatan pada jumlah gugus hidroksil (peningkatan intensitas puncak pada wilayah $3400\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$) serta penurunan jumlah kandungan lilin (penurunan intensitas puncak pada wilayah $2980\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$) pada bahan selulosa yang telah diberikan perlakuan plasma. Hal tersebut dapat dikonfirmasi berdasarkan hasil pengujian sifat tahan api pada Tabel 2. Sampel yang telah mengalami perlakuan plasma memiliki waktu nyala yang lebih singkat, serta memiliki panjang arang yang lebih besar dibandingkan dengan tanpa perlakuan plasma. Hal tersebut berkaitan dengan meningkatnya sifat adhesi serta penyerapan pada kain katun setelah mengalami plasma (Petrásek & Müller, 2017).

Sifat Tahan Api Kain Katun

Proses penyempurnaan sifat tahan api bertujuan untuk memperbaiki sifat tahan api pada bahan tekstil terhadap suatu pembakaran. Dalam metode standar pengujian sifat tahan api cara vertikal ASTM D6413-08, beberapa parameter yang berhubungan dengan sifat tahan api tekstil meliputi waktu nyala, waktu bara dan panjang arang. Waktu nyala memberikan gambaran mengenai durasi waktu api menyala dan membakar material tekstil hingga padam. Waktu bara memberikan gambaran mengenai sifat kain tekstil terhadap rambatan bara api. Dalam pengujian tahan api cara vertikal, panjang arang menggambarkan panjang kain yang masih tersisa setelah proses pengujian pembakaran berlangsung.

Pada penelitian ini telah didapatkan hasil pengujian sifat tahan api kain kapas yang diperoleh dari beberapa metode perlakuan penyempurnaan yang berbeda. Variasi penyempurnaan sifat tahan api yang telah dilakukan meliputi

variasi zat tahan api yang digunakan, metode pengaplikasian tahan api, serta penambahan proses plasma dalam tahapan pra-perlakuan. Tabel 2 menunjukkan hasil data pengujian sifat tahan api dari beberapa variasi perlakuan yang telah dilakukan.

Pada penelitian ini, data hasil pengujian telah berhasil menunjukkan bahwa adanya pengaruh dari jenis metode pengaplikasian yang digunakan terhadap sifat tahan api yang diperoleh. Pengaplikasian zat tahan api dengan menggunakan metode perendaman menunjukkan hasil sifat tahan api yang lebih baik dibandingkan dengan metode *pad-dry-cure*. Hal tersebut dapat diamati pada parameter waktu nyala yang lebih singkat pada proses uji pembakaran untuk sampel kain katun metode perendaman dibandingkan dengan metode *pad-dry-cure*. Gambar 4 menunjukkan bahwa metode perendaman memberikan waktu nyala yang lebih singkat dibandingkan dengan metode *pad-dry-cure*. Perendaman yang diikuti dengan pemberian panas selama 5 menit memberikan kesempatan untuk zat tahan api dapat terserap lebih baik pada bahan kain kapas.

Tabel 2. Hasil pengujian sifat tahan api dengan parameter waktu nyala api, waktu bara api dan panjang arang pada sampel kain yang telah diberikan perlakuan

Variasi perlakuan	Durasi perlakuan plasma (menit)	Waktu nyala* (detik)	Waktu bara* (detik)	Panjang arang* (cm)
A	0	19.2	0	0
	4	22.11	0	0
	8	18.07	0	0
B	0	26.27	21.27	0
	4	27.57	22.1	0
	8	26.1	23.3	0
C	0	12	83	13
	4	10.02	81	13.5
	8	7	95	14.5

* Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode standar pengujian sifat tahan api cara vertikal ASTM D6413-08

Gambar 4. Hasil uji parameter waktu nyala api kain katun dengan perlakuan; a) metode plasma-pad-dry-cure resin tahan api, b) metode plasma-perendaman resin tahan api dan c) metode plasma-perendaman ekstrak daun bayam.

Selain itu, pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan bahan zat tahan api yang berbeda, yaitu antara resin tahan api Leguard 700 dan ekstrak daun bayam. Sifat tahan api yang dihasilkan dari bahan zat yang berbeda dapat diamati dari data yang diperoleh. Ekstrak bayam menunjukkan peningkatan sifat tahan api yang lebih baik dibandingkan dengan resin. Hal tersebut dapat diamati dari parameter waktu nyala yang lebih singkat dan panjang arang yang lebih besar untuk sampel kain dengan ekstrak daun bayam dibandingkan resin tahan api. Gambar 4 memperlihatkan bahwa ekstrak bayam berhasil memberikan waktu nyala paling kecil dibandingkan dengan metode perlakuan lainnya. Selain itu, Gambar 6 menunjukkan bahwa kain katun yang diberikan ekstrak bayam akan memiliki panjang arang yang paling besar dibandingkan dengan metode lainnya. Pada parameter waktu bara, kain katun dengan ekstrak bayam memiliki waktu bara yang paling lama dibandingkan dengan metode lainnya. Gambar 5 menunjukkan perbandingan waktu bara untuk setiap variasi perlakuan yang telah dilakukan pada penelitian ini.

Gambar 5. Hasil uji parameter waktu bara api kain katun dengan perlakuan; a) metode plasma-pad-dry-cure resin tahan api, b) metode plasma-perendaman resin tahan api dan c) metode plasma-perendaman ekstrak daun bayam

diproduksi saat pirolisis selulosa pada proses pembakaran.

Gambar 6. Hasil uji parameter panjang arang kain katun dengan perlakuan; a) metode plasma-pad-dry-cure resin tahan api, b) metode plasma-perendaman resin tahan api dan c) metode plasma-perendaman ekstrak daun bayam

Pada penelitian ini, telah dilakukan penambahan Na_2CO_3 pada larutan ekstrak daun bayam. Hal tersebut dilakukan agar didapatkan suasana alkali pada larutan ekstrak daun bayam. Selain itu, apabila larutan ekstrak bayam dalam suasana asam, maka larutan akan berubah warna saat proses perendaman menjadi hijau kecoklatan. Faktor pemanasan pada proses perendaman juga berkontribusi untuk membuka pori-pori serat selulosa, sehingga kandungan pada ekstrak bayam dengan mudah untuk masuk ke dalam serat. Berdasarkan data pengamatan, sampel kain ekstrak bayam yang telah diberikan perlakuan dengan metode plasma selama 4 menit dan impregnasi selama 1 jam memiliki waktu nyala api selama 0,7 detik dengan waktu bara 95 detik. Hal ini dapat disebabkan oleh meningkatnya sifat penyerapan cairan kapas yang lebih tinggi, sehingga kandungan garam mineral pada ekstrak bayam yang masuk ke dalam serat lebih banyak. Hal tersebut akhirnya menghasilkan ketahanan api yang juga semakin baik. Adanya garam mineral dapat memperlambat dekomposisi termal selulosa karena dapat membantu memproduksi lebih banyak arang dan gas yang tidak mudah terbakar seperti CO_2 dan H_2O . Gas ini dapat mengencerkan gas yang mudah terbakar seperti levoglukosan dan piroglikosan yang

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah ditunjukkan perbandingan mengenai sifat tahan api bahan tekstil kain katun dengan metode yang telah diusulkan. Kain katun dengan perlakuan ekstrak daun bayam berhasil menunjukkan sifat tahan api yang lebih baik pada kain katun dibandingkan dengan resin tahan api Leguard 700. Waktu nyala yang diperoleh untuk kain ekstrak daun bayam jauh lebih singkat dibandingkan dengan zat resin tahan api komersial, dengan selisih waktu selama 7,2 detik. Berdasarkan data pengamatan, sampel kain ekstrak bayam yang telah diberikan perlakuan dengan metode plasma selama 4 menit dan impregnasi selama 1 jam memiliki waktu nyala api selama 7 detik (paling singkat dibandingkan dengan metode lainnya), serta panjang arang yang paling besar dibandingkan dengan metode lainnya (panjang arang 14,5 cm). Pada penelitian ini telah berhasil didapatkan informasi bahwa perlakuan dengan metode plasma selama 4 menit dan impregnasi selama 1 jam untuk ekstrak bayam memiliki hasil tahan api kain katun yang paling baik diantara metode yang diusulkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Lab. Fisika-Mekatronika Politeknik STTT Bandung, serta rekan-rekan dosen Politeknik STTT Bandung yang telah memberikan dukungan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsulaiman, S. A., & Rentner, T. L. (2019). The 2018 Muslim pilgrimage to Mecca: Application of Grunig's theory of excellence two-way communication efforts to avoid a crisis. In *Proceedings of the International Crisis and Risk Communication Conference*. 2: 5-8. <https://doi.org/10.30658/icrcc.2019.1>
- Amril, H., (2015). Teknologi Plasma untuk Pengolahan Air, Jurusan Teknik Kimia. Bandung: *Institut Teknologi Bandung*.
- ASTM D6413-08, (2008). Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test), ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- Barker, R. L., Deaton, A. S., & Ross, K. A. (2011). Heat transmission and thermal energy storage in firefighter turnout suit materials. *Fire technology*. 47(3): 549-563.
- Basak, S., Samanta, K. K., & Chattopadhyay, S. K. (2014). Fire retardant property of cotton fabric treated with herbal extract. *The Journal of The Textile Institute*. 106(12): 1338-1347. doi:10.1080/00405000.2014.995456
- Burakov, V. S., Kiris, V. V., Nedelko, M. I., Tarasenko, N. N., Nevar, A. A., & Tarasenko, N. V. (2017). Atmospheric pressure plasma in contact with liquid and its application for nanoparticles synthesis. *The European Physical Journal Applied Physics*, 79(1): 10801.
- Eriningsih, R., Mutia, T., Judawisastra, H. (2011). Komposit Sunvisor Tahan Api dari Bahan Baku Serat Nenas. *Jurnal Riset Industri*. 5(3): 191 – 203.
- The Home Office (2020). Fire Statistics. 2019. London: *The Government Statistical Office*, ISSN 0143 6384.
- Galaska, M. L., Horrocks, A. R., & Morgan, A. B. (2017). Flammability of natural plant and animal fibers: A heat release survey. *Fire and Materials*. 41(3): 275-288.
- Horrocks, A.R. (2019). Smart flame retardant textile coatings and laminates. In *Smart Textile Coatings and Laminates*. pp. 205-236. doi:10.1016/b978-0-08-102428-7.00010-9
- Horrocks, A.R., and Price, D. (2001). Flame Retardant Materials. *Woodhead Publishing, England*.
- Huang, G., Yang, J., Wang, X., & Gao, J. (2012). Nanoclay, intumescent flame retardants, and their combination with chemical modification for the improvement of the flame retardant properties of polymer nanocomposites. *Macromolecular Research*. 21(1): 27-34. doi:10.1007/s13233-012-0185-0
- Imam, A., & Roca Cladera, J. (2016). Mapping land cover changes of pilgrimage sites in Mecca using multi-temporal satellite imagery. In *Back to the Sense of the City: International Monograph Book*, pp. 1017-1027.
- Kan, C.-W., & Lam, C.-F. (2018). Atmospheric Pressure Plasma Treatment for Grey Cotton Knitted Fabric. *Polymers*. 10(1): 53. doi:10.3390/polym10010053
- Kim, J. H., Lee, M. A., Han, G. J., & Cho, B. H. (2014). Plasma in dentistry: a review of basic concepts and applications in dentistry. *Acta Odontologica Scandinavica*. 72(1): 1-12.
- Laroussi, M., Lu, X., & Keidar, M. (2017). Perspective: The physics, diagnostics, and applications of atmospheric pressure low temperature plasma sources used in plasma medicine. *Journal of Applied Physics*. 122(2): 020901.
- Lee, D. H., & Jang, J. (2020). Synergistic Flame-Retardant Finishing of Cotton Using Dichlorotriazinyl Phosphonate and Triethanolamine. *Fibers and Polymers*. 21(2): 343-349.
- Liu, Y., Pan, Y. T., Wang, X., Acuña, P., Zhu, P., Wagenknecht, U., ... & Wang, D. Y. (2016). Effect of phosphorus-containing inorganic-organic hybrid coating on the flammability of cotton fabrics: Synthesis, characterization and flammability. *Chemical Engineering Journal*. 294: 167-175.
- Malucelli, G. (2018). Bio-macromolecules: A new flame retardant finishing strategy for textiles. In *Handbook of Renewable Materials for Coloration and Finishing*. Hoboken: Wiley. pp. 357-385.
- Omerogullari Basyigit, Z., & Kut, D. (2018). Formaldehyde-Free and Halogen-Free Flame Retardant Finishing On Cotton

- Fabric. *Journal of Textile & Apparel/Tekstil ve Konfeksiyon*. 28(4).
- Palaskar, S. S., Desai, A. N., & Shukla, S. R. (2015). Development of multifunctional cotton fabric using atmospheric pressure plasma and nano-finishing. *The Journal of The Textile Institute*, 107(3): 405–412. doi:10.1080/00405000.2015.1034932
- Pankaj, S. K., Bueno-Ferrer, C., Misra, N. N., Milosavljević, V., O'donnell, C. P., Bourke, P., ... & Cullen, P. J. (2014). Applications of cold plasma technology in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*. 35(1): 5-17.
- Petrásek, S., & Müller, M. (2017). Mechanical qualities of adhesive bonds reinforced with biological fabric treated by plasma. *Agronomy Research*. 15(S1), 1170-1181.
- Prayudie, U., & Novarini, E. (2015). Modifikasi Permukaan Serat Poliester Menggunakan Sistem Plasma Non Termal Tekanan Atmosfer Dengan Metode Lucutan Korona Oleh Ionisasi Udara. *Arena Tekstil*. 30(1): 45-54, 2015. <http://dx.doi.org/10.31266/at.v30i1.1948>
- Putra, VGV. & Wijayono, A., (2019). Suatu Studi Awal Modifikasi Sifat Pembasahan Pada Permukaan Kain Tekstil Poliester 100% Menggunakan Teknologi Plasma Pijar Korona. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 8: 15-20. <https://doi.org/10.21009/03.SNF2019.02.PA.03>
- Putra, VGV, Mohamad, JN, Yusuf, Y. (2020). Study Of Surface Tension Properties Looked On Contact Angle Value On 100% Nylon Textile Fabric Using Corona Discharge Plasma Technology. *Wahana Fisika* 5 (1), 10-17
- Putra, VGV, Fitri, AD, Purnama, I., Mohamad, JN., (2020). Prototipe Pakaian Anti Radiasi Unisex Sportswear Smartphone Dengan Paparan Radiasi Plasma Pijar Korona Elektroda Tip-Silinder. *Jurnal Kumparan Fisika* 3 (1 April), 19-24
- Murti, W., Putra, VGV. (2020). Studi Pengaruh Perlakuan Plasma Terhadap Sifat Material Antibakteri Kain Kassa Menggunakan Minyak Atsiri (Zingiber Officinale Rosc). *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika* 8 (1), 69-76
- Gorjanc, M., Gorenšek, M. Jovančič, P. & Mozetic, M. (2013). Multifunctional Textiles – Modification By Plasma, Dyeing And Nanoparticles, Eco-Friendly Textile Dyeing And Finishing, Melih Günay, Intechopen, DOI: 10.5772/53376.
- Rauscher, H., Perucca, M., & Buyle, G. (2010). Plasma Technology for Hyperfunctional Surfaces: Food, Biomedical, and Textile Applications, Weinheim: Wiley-VCH GmbH & Co. ISBN: 9783527326549.
- Sahabudin, M. A. S. M., & Razali, M. A. (2019). Effect of Material Composition Towards Flame Spread Behavior of Flammable Materials from Pineapple Fibre and Paper. *Fuel, Mixture Formation and Combustion Process*, 1(2).
- Samanta, K.K.; Jassal, M.; Agrawal, A.K. (2009). Improvement in water and oil absorbency of textile substrate by atmospheric pressure cold plasma treatment. *Surf. Coat. Technol.* 203: 1336–1342. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.10.044>
- Shahidi, S. (2013). Novel method for ultraviolet protection and flame retardancy of cotton fabrics by low-temperature plasma. *Cellulose*. 21(1): 757–768. doi:10.1007/s10570-013-0127-9
- Shahidi, S., & Ghoranneviss, M. (2013). Effect of Plasma Pretreatment Followed by Nanoclay Loading on Flame Retardant Properties of Cotton Fabric. *Journal of Fusion Energy*, 33(1): 88–95. doi:10.1007/s10894-013-9645-6
- Sjaifudin, A., & Sitohang, K.H. (2015). Rancang Bangun Prototip Mesin Plasma Tekstil Lucutan Korona Pada Tekanan Atmosfir Skala Laboratorium. *Arena Tekstil*. 3(1): 25-36. <http://dx.doi.org/10.31266/at.v30i1.1946>
- Sjaifudin, A., Widodo, M., Muhlisin, Z., & Nur, M. (2014). Modifikasi Permukaan Bahan Tekstil Dengan Plasma Lucutan Korona. *Proceeding Indonesian Textile Conference Semnasteks 2014*. pp. 1-22.
- Tawiah, B., Yu, B., Yang, W., Yuen, R. K., & Fei, B. (2019). Facile flame retardant finishing of cotton fabric with hydrated sodium metaborate. *Cellulose*. 26(7): 4629-4640.
- The Associated Press. (1997). Fire in Mecca Kills Pilgrims In The Tent Camps. *The New York Times*, pp. 3 section A, <https://www.nytimes.com/1997/04/16/world/fire-in-mecca-kills-pilgrims-in-tent-camps.html>.

- The Associated Press. (1997). *Tent City Fire Kills Hundreds Of Pilgrims*. The Washington Post, <https://www.washingtonpost.com/archive/politics/1997/04/16/tent-city-fire-kills-hundreds-of-pilgrims/9157d2db-b4f3-42f1-b9c6-e92d047e99fb/>
- Tian, L.; Nie, H.; Chatterton, N.P.; Branford-White, C.J.; Qiu, Y.; Zhu, L. (2011). Helium/oxygen atmospheric pressure plasma jet treatment for hydrophilicity improvement of grey cotton knitted fabric. *Appl. Surf. Sci.* 257: 7113–7118.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.03.064>
- Van Rooij, G. J., Akse, H. N., Bongers, W. A., & Van De Sanden, M. C. M. (2017). Plasma for electrification of chemical industry: a case study on CO₂ reduction. *Plasma Physics and Controlled Fusion*. 60(1): 014019.
- Xu, L., Wang, W. & Yu, D. (2017) Durable flame retardant finishing of cotton fabrics with halogen-free organophosphonate by UV photoinitiated thiol-ene click chemistry. *Carbohydr. Polym.* **172**, 275–283.
- Wang, L.-H. et al. (2016) Fire retardant viscose fiber fabric produced by graft polymerization of phosphorus and nitrogen-containing Monomer. *Cellulose* **23**, 2689–2700.
- Yen, Y.-Y., Wang, H.-T., & Guo, W.-J. (2013). Synergistic effect of aluminum hydroxide and nanoclay on flame retardancy and mechanical properties of EPDM composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 130(3), pp. 2042–2048. doi:10.1002/app.39394
- Yen, Y.-Y., Wang, H.-T., & Guo, W.-J. (2012). Synergistic flame retardant effect of metal hydroxide and nanoclay in EVA composites. *Polymer Degradation and Stability*. 97(6): 863–869. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2012.03.043
- Zavareh, M. A., Sarhan, A. A. D. M., Razak, B. B. A., & Basirun, W. J. (2014). Plasma thermal spray of ceramic oxide coating on carbon steel with enhanced wear and corrosion resistance for oil and gas applications. *Ceramics International*. 40(9): 14267-14277.
- Zhang, X., Xia, Y., Yan, X., & Shi, M. (2018). Efficient suppression of flammability in flame retardant viscose fiber through incorporating with alginate fiber. *Materials Letters*. 215: 106-109.
- Zille, A. (2020). Plasma technology in fashion and textiles. In *Sustainable Technologies for Fashion and Textiles* (pp. 117-142). *Woodhead Publishing*.
- Zille, A., Oliveira, F. R., & Souto, A. P. (2015). Plasma treatment in textile industry. *Plasma processes and Polymers*. 12(2): 98-131.