

# PENINGKATAN KEMAMPUAN PENCELUPAN KAIN KAPAS TERHADAP ZAT WARNA REAKTIF MELALUI PROSES KATIONISASI

## *THE IMPROVEMENT OF REACTIVE DYESTUFF DYEABILITY OF COTTON FABRIC BY CATIONIZATION PROCESS*

Cica Kasipah, Eva Novarini, Emma Yuniar Rakhmatia, Dikdik Natawijaya

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

Tanggal diterima: 18 Mei 2015, direvisi: 3 Juni 2015, disetujui terbit: 12 Juni 2015

### ABSTRAK

Proses kationisasi kain kapas bertujuan untuk meningkatkan kemampuan pencelupan kain kapas terhadap zat warna reaktif melalui modifikasi makromolekul selulosa sehingga memiliki muatan positif untuk mempermudah pengikatan gugus anion pada zat warna reaktif. Penelitian ini menggunakan polidialildimetil amonium klorida (PDADMAC) dan amonium sulfat untuk memberikan muatan positif pada serat kapas. Spektra *Fourier Transmittance Infra Red Spectrophotometer* (FTIR) menunjukkan adanya kandungan kelompok kationik pada kain kapas yang dikationisasi dengan PDADMAC dan amonium sulfat. Kationisasi kain kapas dengan PDADMAC memberikan nilai ketahanan, intensitas dan beda warna yang lebih baik dibandingkan amonium sulfat. Nilai optimum penggunaan PDADMAC yaitu pada konsentrasi 4 g/l (dengan nilai K/S = 11,86;  $\Delta E = 10,34$  ( $\Delta E > 6,0$ ); I = 515,14%; skala nilai ketahanan luntur warna terhadap pencucian 4-5; gosokan basah 3; gosokan kering 3 dan penyinaran buatan 2). Nilai optimum penggunaan amonium sulfat yaitu pada konsentrasi 0,5 g/l (dengan nilai K/S = 4,89,  $\Delta E = 3,64$ ; I = 144,87; skala nilai ketahanan luntur warna terhadap pencucian 4-5; gosokan basah 4-5; gosokan kering 4 dan penyinaran buatan 4). Penggunaan PDADMAC dan amonium sulfat tidak mengakibatkan penurunan kekuatan tarik kain. Kationisasi dapat mengurangi bahkan mengeliminasi penggunaan zat pembantu pada pencelupan kain kapas dengan zat warna reaktif. PDADMAC dapat menghilangkan penggunaan elektrolit dan alkali. Sedangkan amonium sulfat dapat menghilangkan penggunaan elektrolit dan mengurangi pemakaian alkali.

**Kata kunci:** kain kapas, kationisasi, PDADMAC, amonium sulfat, zat warna reaktif

### ABSTRACT

*The cationization process of cotton fabric is aimed to enhance cotton fabric dyeability towards reactive dyestuff by modification of macromolecules of cellulose thus having a positive charge to facilitate the binding of anion groups of the reactive dyestuff. (Polydialildimethyl ammonium chloride) PDADMAC and ammonium sulphate were used in this research to provide positive charge on cotton fabric. The spectrum of Fourier Transmittance Infra Red Spectrophotometer (FTIR) showed the presence of cationic groups on cationized cotton fabrics using PDADMAC and ammonium sulphate. The cationization process of cotton fabrics using PDADMAC yielded preferable values of color strength, color depth and color difference compared to ammonium sulphate. The optimum use of PDADMAC concentration was at 4 g/l (yielded the value of K/S = 11,86;  $\Delta E = 10,34$  ( $\Delta E > 6,0$ ); I = 515,14%; the value of color fastness to washing 4-5; wet scrubbing 3; dry scrubbing 3 and artificial light 2). The optimum use of ammonium sulphate concentration was at 0,5 g/l (yielded the value of K/S = 4,89,  $\Delta E = 3,64$ ; I = 144,87; the value of color fastness to washing 4-5; wet scrubbing 4-5; dry scrubbing 4 and artificial light 4). PDADMAC and ammonium sulphate usage would not induce the tensile strength degradation of cotton fabrics. The cationization process was able to minimize and moreover to diminish dyeing auxiliaries consumption on cotton fabric dyeing using reactive dyestuff. PDADMAC could be able to diminish electrolyte and alkali usage. Whilst ammonium sulphate could be able to diminish electrolyte usage and minimize the consumption of alkali.*

**Keywords:** cotton fabric, cationization, PDADMAC, ammonium sulphate, reactive dyestuff

### PENDAHULUAN

Zat warna reaktif merupakan jenis zat warna dengan gugus reaktif yang memiliki kemampuan mencelup serat selulosa, protein dan poliamida. Dalam proses pencelupan, gugus reaktif pada zat warna ini membentuk ikatan kovalen dengan

polimer serat dan menjadi bagian integral dari serat. Zat warna reaktif memiliki pengaturan elektron yang sangat stabil dan dapat tahan terhadap efek sinar ultraviolet. Zat warna reaktif juga memiliki kekuatan warna (*color strength*) yang sangat tinggi, warnanya cukup brilian dan memiliki ketahanan luntur warna yang sangat baik.<sup>1</sup>

Serat tekstil di dalam air memiliki muatan negatif sedangkan zat warna yang dapat larut di dalam air pada umumnya berupa anion (bermuatan negatif). Hal inilah yang menyebabkan penetrasi larutan zat warna pada serat tekstil menjadi terhambat. Penambahan zat pembantu yang dapat menghilangkan atau mengurangi muatan negatif pada serat atau zat warna akan mempermudah zat warna dan serat lebih saling mendekat hingga mengalami difusi dan fiksasi.<sup>1,2</sup> Proses pencelupan serat selulosa dengan zat warna reaktif memerlukan zat pembantu dalam jenis dan jumlah yang relatif banyak yaitu garam/elektrolit sebanyak 30 g/l-50 g/l, senyawa alkali sebanyak 10 g/l-20 g/l dan zat pembasah. Fiksasi zat warna reaktif pada serat selulosa terjadi pada kisaran pH 10,5-12,0. Pada pH tersebut zat warna reaktif yang telah berdifusi ke dalam serat akan bereaksi dengan serat selulosa oleh karena penambahan alkali. Mekanisme reaksi yang terjadi pada umumnya dapat digambarkan sebagai penyerapan unsur positif pada zat warna reaktif setelah penambahan alkali terhadap gugus hidroksil pada serat selulosa yang terionisasi. Penambahan alkali sangat penting untuk mengatur alkalinitas yang sesuai, mendorong pembentukan ion selulosa dan menetralkan asam yang terjadi.<sup>2</sup> Gugus reaktif pada zat warna reaktif adalah gugus yang dapat bereaksi dengan serat. Gugus ini sangat besar pengaruhnya terhadap kereaktifan zat warna, karena memiliki atom karbon bermuatan positif yang akan mencari tempat bermuatan negatif (elektrofilik), yang kemudian bereaksi dengan gugus fungsi serat yang memiliki sepasang elektron bebas (nukleofilik). Gugus reaktif pada zat warna ini dapat berupa triazin, pirimidin, kinoxalin, vinilsulfon, sulfoetilamida atau akrilamida. Zat warna reaktif memiliki gugus reaktif yang mudah terlepas (gugus lepas). Setelah melepaskan gugus ini, zat warna reaktif akan memiliki ion positif yang dapat bereaksi secara adisi atau substitusi dengan gugus negatif yang memiliki elektron bebas. Gugus-gugus lepas ini dapat berupa gugus fluor, klor, brom, atau sulfat.<sup>1,3</sup>

Penggunaan zat-zat pembantu pada proses pencelupan zat warna reaktif mengakibatkan peningkatan biaya produksi serta dapat berdampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Industri perlu menghabiskan biaya pengolahan yang cukup tinggi untuk penanganan limbah cair hasil dari proses pencelupan dengan zat warna reaktif. Selain itu garam dan alkali dapat menyebabkan korosi pada bejana mesin pencelupan, terutama jika pemeliharaan tidak dilakukan dengan baik. Korosi atau berkaratnya logam merupakan proses oksidasi logam oleh udara atau elektrolit lainnya. Korosi dapat disebabkan oleh air yang mengandung garam, karena logam akan bereaksi secara elektrokimia di dalam larutan garam (elektrolit) yang kemudian akan membentuk anoda dan katoda pada logam.

Penyebab lain korosi pada logam adalah tingkat pencemaran udara, temperatur, kelembaban, keberadaan zat kimia yang bersifat korosif dan lain sebagainya. Bahan kimia korosif dapat terdiri atas asam, basa serta garam, baik dalam bentuk senyawa anorganik maupun organik.<sup>4,5</sup>

Proses kationisasi yang akan dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk menghindari kemungkinan terjadinya hal-hal tersebut diatas sekaligus untuk meningkatkan kemampuan pencelupan (*dyeability*) serat selulosa dalam hal ini serat kapas terhadap zat warna reaktif. Proses kationisasi serat kapas dilakukan dengan jalan memodifikasi makromolekul selulosa menjadi situs yang bermuatan positif. Cara ini memungkinkan kain kapas dapat dicelup dengan zat warna reaktif tanpa penambahan elektrolit dan tanpa atau hanya dengan sedikit penggunaan alkali. Beberapa studi tentang modifikasi kationisasi pada serat kapas telah dilakukan untuk meningkatkan kemampuan pencelupannya (*dyeuptake*) dan kemampuan fiksasi zat warna antara lain dengan menggunakan poliepioklorohidrin-dimetilamin (PECH-*amine*), kopolimer dari 3-kloro-2-hidroksi propil metil dialil amonium klorida dan dimetildialil amonium klorida.<sup>6,7,8,9</sup>

Beberapa zat yang bersifat kationik yang dapat digunakan untuk proses kationisasi yaitu komponen amonium kuarterner dan amonium tertier yang antara lain adalah 3-kloro-2-hidroksil propil trimetil amonium klorida (CHPTAC), trimetilol melamin (TMM), poliepioklorohidrin, dimetilamin N-metilolakrilamida dan polidialildimetil amonium klorida (PDADMAC).<sup>9</sup> Menurut Joo Yong Kim dan Hyung Min Choi (2014) Selulosa dapat dikationisasi dalam tiga pendekatan. Pendekatan pertama yaitu melalui proses kationisasi langsung menggunakan senyawa kimia dengan kelompok fungsional yang cocok dan bereaksi dengan gugus hidroksil pada selulosa. Senyawa yang sesuai untuk cara ini adalah N-(3-kloro-2-hidropropil) trimetil amonium klorida. Pendekatan kedua yaitu melalui penambahan senyawa pengikat (*binding*) berupa kelompok fungsional kationik seperti dimetilol dihidroksi etilen urea yang bereaksi dengan baik dengan gugus hidroksil pada selulosa. Proses ini digunakan terutama untuk aplikasi tekstil dengan proses *pad-dry* (rendam-peras-kering). Pendekatan ketiga yaitu menggunakan polimerisasi cangkok senyawa kationik pada monomer atau polimer selulosa.

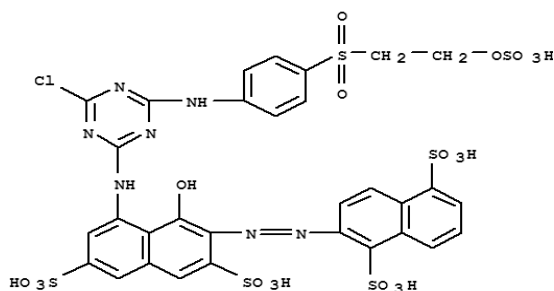
Pada penelitian ini dilakukan proses kationisasi kain kapas dengan pendekatan pertama yaitu melalui proses kationisasi langsung menggunakan PDADMAC dan amonium sulfat yang bereaksi dengan gugus hidroksil pada selulosa untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan daya celup kain kapas terhadap zat warna reaktif, dan pengurangan pemakaian zat

pembantu elektrolit dan alkali pada proses pencelupan.

## METODE

### Bahan yang digunakan

- Kain kapas 100% siap celup dengan konstruksi anyaman polos, nomor benang lusi 42 Ne dan pakan 42 Ne, tetal benang lusi 137 dan pakan 74, gramasi kain 117 g/m<sup>2</sup>.
- Zat warna reaktif panas C.I. *Reactive Red 241* (CAS No. 89157-03-9) dengan rumus kimia C<sub>31</sub>H<sub>24</sub>ClN<sub>7</sub>O<sub>19</sub>S<sub>6</sub>Na. C.I. *Reactive Red 241* memiliki gugus pelarut -SO<sub>3</sub>H, gugus kromofor jenis azo, gugus penghubung amina (-NH-) dan gugus reaktif vinil sulfon. Gugus amina (-NH-) ini yang berpengaruh terhadap kereaktifan zat warna reaktif karena bersifat sebagai penarik elektron (elektrofilik) yang akan menyebabkan terjadinya proses fiksasi. Struktur molekul zat warna reaktif panas C.I. *Reactive Red 241* dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Struktur molekul zat warna reaktif C.I. *Reactive Red 241* (CAS No. 89157-03-9)

- Zat-zat pembantu tekstil berupa elektrolit (garam glauber), alkali (natrium karbonat) dan asam asetat.
- Zat-zat kationik polidialildimetil amonium klorida (PDADMAC) dan amonium sulfat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

### Peralatan yang digunakan

- Peralatan untuk proses pencelupan yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin *rapid dyeing Colorpet*, peralatan gelas lengkap dan pH meter. Peralatan untuk pengujian dan evaluasi yang digunakan meliputi: alat uji ketahanan luntur warna terhadap gosokan (*crockmeter*) merek James H. Heal, alat uji ketahanan luntur warna terhadap pencucian (*Launder-O-meter*) merek SDL Atlas, alat uji ketahanan luntur warna terhadap penyinaran buatan (*xenon test chamber*) merek Q-Sun, instrumen pengukur ketahanan warna dan beda

warna (*spectrophotometer*) merek X-rite, instrumen pengukur absorbansi larutan (*UV-VIS spectrophotometer*) merek Shimadzu, skala untuk pengukuran perubahan warna (*grey scale*) dan penodaan (*staining scale*) merek SDL Atlas dan *lightbox* merek Verivide, serta alat uji kekuatan tarik kain (*tensile strength tester*) merek Testometric.

### Proses kationisasi kain kapas

Kain kapas 100% siap celup dikationisasi menggunakan PDADMAC atau polidialildimetil amonium klorida dan (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> atau amonium sulfat. Konsentrasi PDADMAC 1; 2; 3; 4; dan 5 g/l. Konsentrasi amonium sulfat 0,2; 0,5; 0,8; 1; 2 dan 3 g/l. Proses kationisasi dilakukan dengan metode perendaman pada temperatur 70°C selama 30 menit, dengan vlot 40:1.

### Proses pencelupan kain kapas dengan zat warna reaktif

Proses pencelupan kain kapas dilakukan pada kain kapas 100% tanpa proses kationisasi (blanko) dan kain kapas 100% yang diproses kationisasi. Diagram alir dan skema proses dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

### Pengujian

- Analisis gugus fungsi kain kapas 100% sesudah proses kationisasi menggunakan zat pengkation jenis PDADMAC dan amonium sulfat dengan alat *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) merek Shimadzu Prestige
- Analisis morfologi kain kapas 100% sesudah proses kationisasi menggunakan zat pengkation jenis PDADMAC dan amonium sulfat dengan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) merek JEOL, JSM-6510/LV/A/LA
- Pengukuran ketahanan warna (K/S), beda warna (ΔE) dan intensitas warna (I) untuk mengetahui daya serap zat warna pada kain. Penilaian K/S bertujuan untuk merepresentasikan jumlah zat warna yang terfiksasi ke dalam serat. K/S adalah rasio absorpsi warna terhadap koefisien penyebaran. K/S dihitung menggunakan persamaan (1) dari nilai R (reflektansi) terendah yang diukur menggunakan spektrofotometer berdasarkan persamaan Kubelka-Munk sebagai berikut ini.<sup>6</sup>

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (1)$$

Keterangan:

K = koefisien penyerapan cahaya

S = koefisien penghamburan cahaya

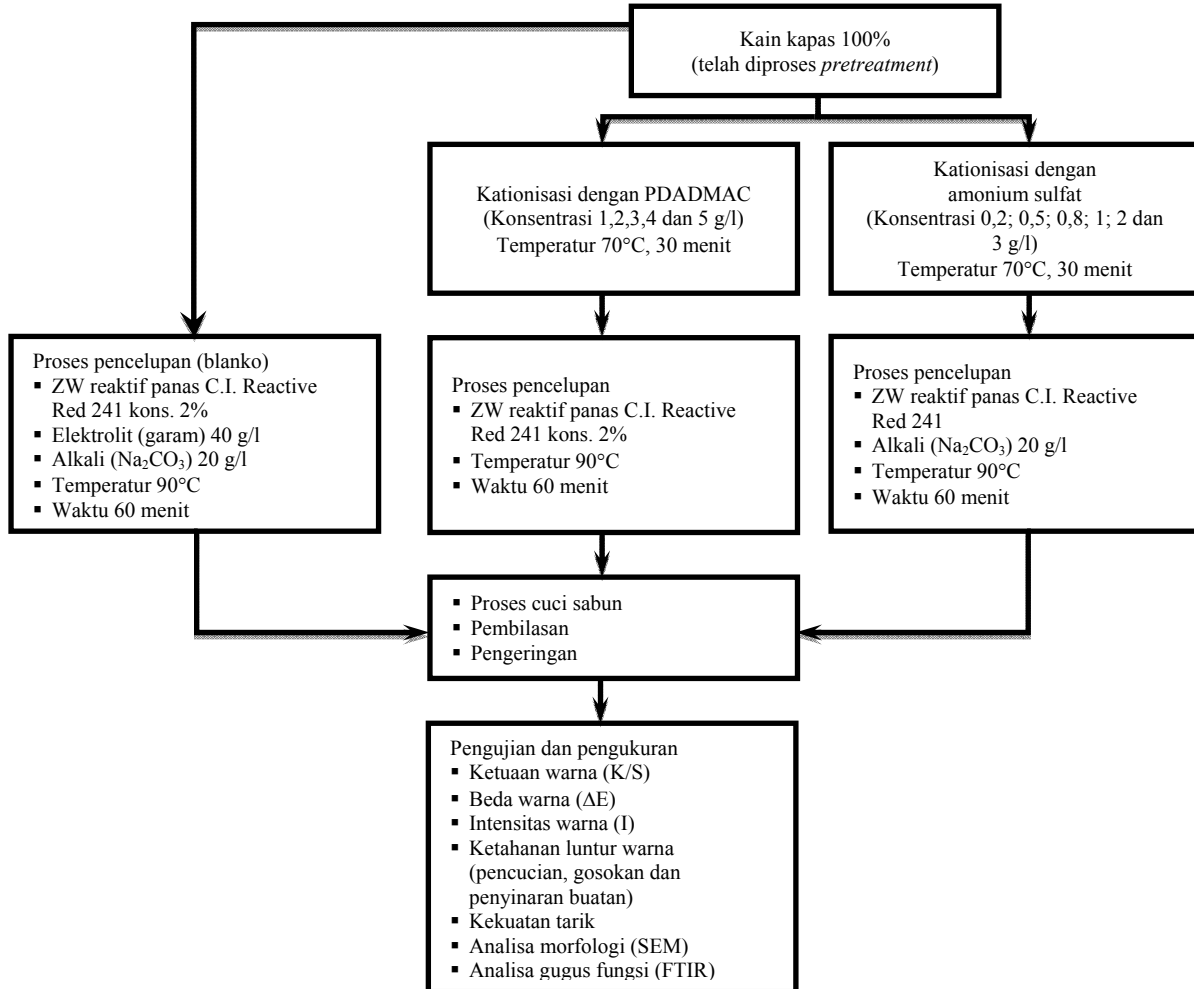
R = % reflektansi

Peningkatan intensitas warna (I) pada kain kapas yang dicelup setelah proses kationisasi dan perbandingannya terhadap kain kapas yang dicelup tanpa proses kationisasi.<sup>6</sup>

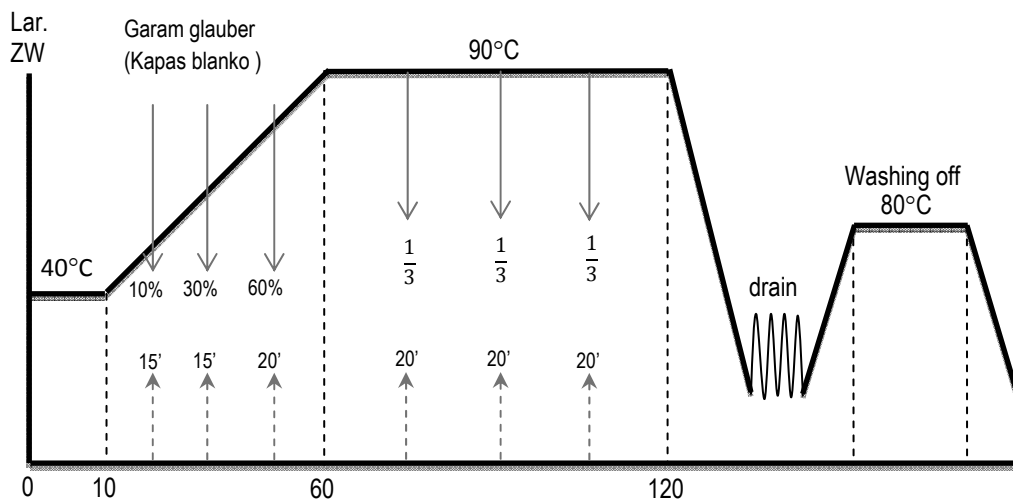
$$I = \frac{(K/S)_k - (K/S)_o}{(K/S)_o} \times 100\% \quad (2)$$

k = kain celup setelah kationisasi  
 o = kain celup tanpa kationisasi

- Pengujian kekuatan tarik kain kapas 100% setelah proses kationisasi (SNI 0276:2009) dan pengujian ketahanan luntur warna terhadap pencucian (SNI ISO 6330:2015), gosokan (SNI ISO 105-X12:2012) dan penyinaran buatan (SNI ISO 105-B02:2010).



Gambar 2. Diagram alir percobaan



Gambar 3. Skema proses pencelupan zat warna reaktif

## PEMBAHASAN

### Proses kationisasi kain kapas 100%

Proses kationisasi dengan menggunakan senyawa kation PDADMAC maupun amonium sulfat yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi makromolekul serat selulosa sehingga memiliki situs-situs bermuatan positif. Muatan-muatan positif tersebut akan mempermudah pengikatan gugus-gugus anion pada zat warna sehingga dapat meningkatkan kemampuan pencelupan kain kapas. Proses kationisasi ini diharapkan dapat mereduksi bahkan menghilangkan penggunaan zat pembantu pada proses pencelupan kain kapas dengan menggunakan zat warna reaktif. Analisis morfologi yang dilakukan menggunakan SEM (*scanning electron microscope*) memperlihatkan bahwa terdapat perubahan morfologi pada penampang melintang serat kapas setelah proses kationisasi (Gambar 4).

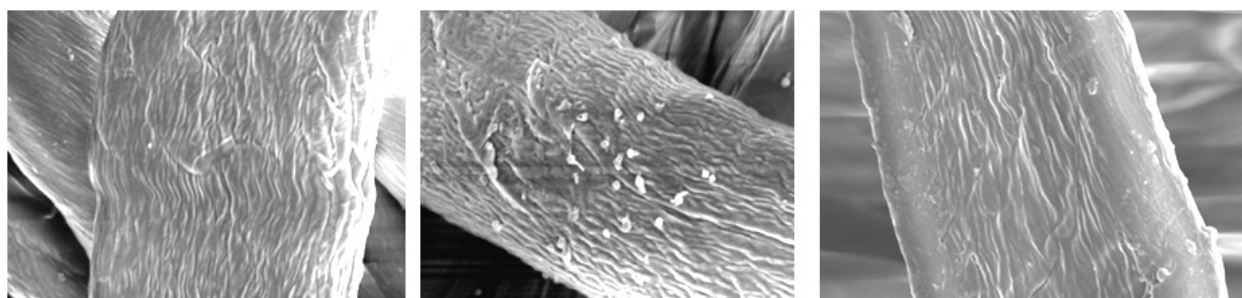
Struktur permukaan serat kapas setelah proses kationisasi memiliki perbedaan morfologi permukaan dibandingkan serat kapas tanpa proses kationisasi. Serat kapas setelah proses kationisasi terlihat memiliki alur-alur paralel dan tampak sedikit kasar, karena terisi oleh muatan-muatan kation dari senyawa kationik. Muatan-muatan kation tersebut sedikit berpengaruh terhadap pegangan kain meski tidak mempengaruhi struktur fisik keseluruhan serat kapas secara signifikan. Kain kapas tidak menjadi kaku dan justru kekuatan tarik kainnya meningkat seperti yang terlihat pada Gambar 11.

### Analisis gugus fungsi

Gambar 5 menampilkan spektra FTIR kain kapas setelah proses kationisasi menggunakan PDADMAC dan amonium sulfat. Hasil analisis spektra FTIR kain kapas menunjukkan adanya

penyerapan yang kuat pada bilangan gelombang  $2900\text{ cm}^{-1}$  dan  $3350\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus OH *bending* dan OH *stretching*. Serapan pada  $1000\text{ cm}^{-1}$ – $1250\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan hadirnya gugus C–O dan C–O–C. Puncak pada bilangan gelombang  $1620\text{ cm}^{-1}$ – $1649\text{ cm}^{-1}$  berkaitan dengan hadirnya cincin aromatik dan peregangan ikatan C–H dan OH. Pada kurva spektra kain kapas yang dikationisasi menggunakan PDADMAC, terdapat serapan yang kuat pada bilangan gelombang  $3750\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus amina primer dan sekunder. Serapan amina tersebut menunjukkan adanya kelompok kationik pada serat kapas. Polidialildimetil amonium klorida (PDADMAC, CAS No.7398-69-8) adalah polielektrolit sintetik yang kuat, larut dalam air, tidak beracun dan mudah terurai. PDADMAC terdiri dari unit siklik dan gugus amonium kuarterner pada setiap rantainya dan merupakan polimer kationik dengan rumus kimia  $[(\text{CH}_3)_2\text{N}^+(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2)_2]\text{Cl}^-$ , senyawa tersebut akan terionisasi dalam air seperti terlihat pada Gambar 6.<sup>11</sup> Amonium kationik pada senyawa tersebutlah yang mungkin terserap dan memberikan muatan positif ke dalam kain kapas.

Kurva spektra FTIR kain kapas yang dikationisasi menggunakan amonium sulfat  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  menunjukkan adanya serapan yang kuat dari gugus  $\text{NH}_4^+$  pada bilangan gelombang  $1317\text{ cm}^{-1}$ – $1367\text{ cm}^{-1}$  dan bilangan gelombang  $450\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini menunjukkan adanya kelompok kation amonium pada serat kapas. Amonium sulfat merupakan garam kationik kuarterner yang terdiri dari kation  $\text{NH}_4^+$  dan anion  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ion  $\text{NH}_4^+$  dapat berasal dari basa  $\text{NH}_3$  sedangkan ion  $\text{SO}_4^{2-}$  berasal dari asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dalam bentuk larutan  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  yang terdapat sebagai ion-ion yang terpisah seperti yang terlihat pada reaksi berikut ini.

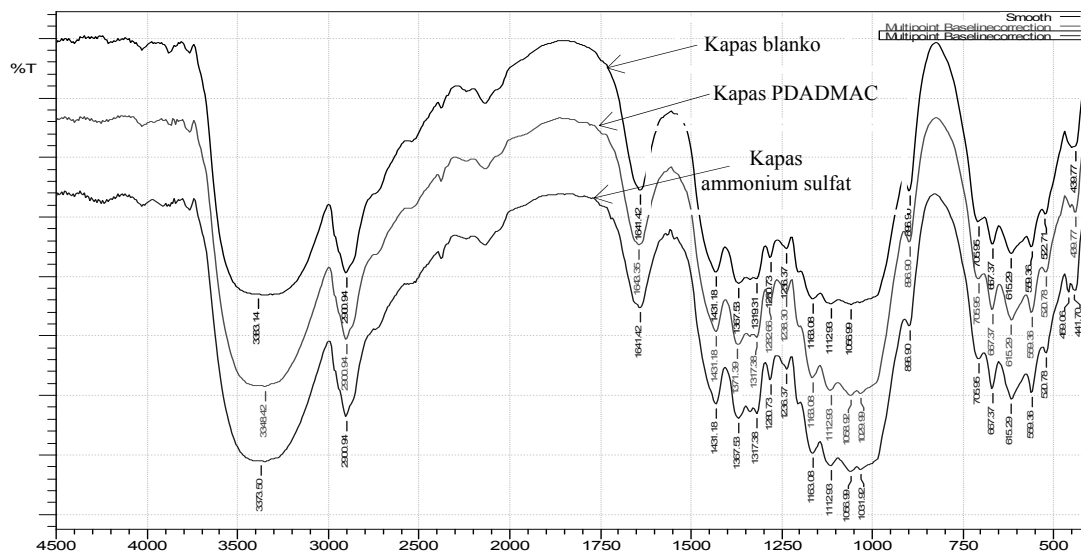


Serat Kapas Blanko

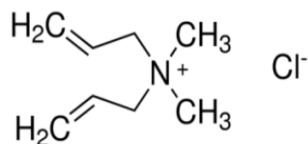
Serat Kapas Kationisasi  
(PDADMAC)

Serat Kapas Kationisasi  
(Amonium sulfat)

**Gambar 4.** Citra SEM kain kapas 100% dengan pembesaran 5000 x



Gambar 5. Spektra FTIR kain kapas 100%

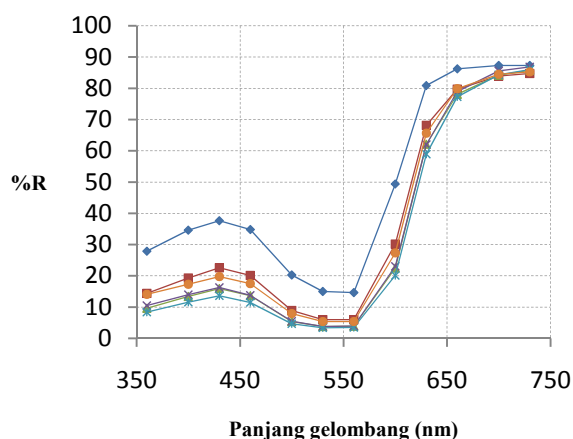


Gambar 6. Dialildimetil amonium klorida dalam bentuk larutan dengan H<sub>2</sub>O<sup>11</sup>

**Proses pencelupan kain kapas**

Nilai kekuatan warna pada akhir siklus pencelupan secara signifikan bertambah lebih tinggi untuk kain kapas yang dikationisasi dibandingkan dengan kain kapas blanko. Proses pencelupan pada kain kapas yang dikationisasi dengan PDADMAC tidak menggunakan elektrolit (garam) dan alkali,

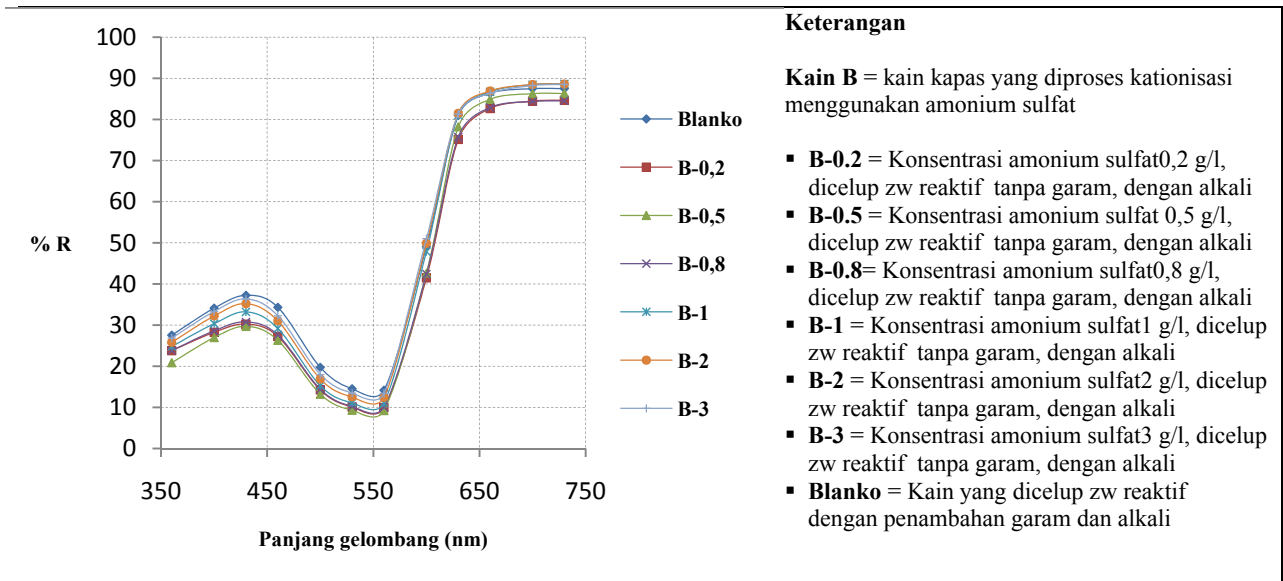
sedangkan kain kapas yang dikationisasi dengan amonium sulfat masih diberi sedikit penambahan alkali namun tanpa penggunaan garam pada pencelupannya. Hal ini dengan jelas menunjukkan bahwa kationisasi kain kapas dapat meningkatkan sifat penyerapan zat warna pada kain oleh karena adanya situs kationik, yang dibuktikan melalui beberapa pengujian berikut ini.



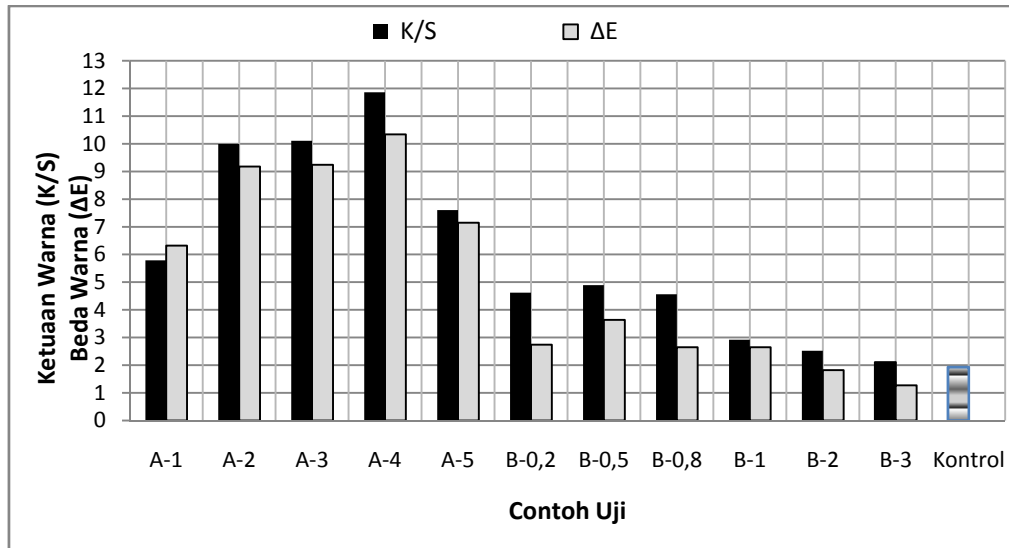
**Keterangan:**

- **Kain A** = kain kapas yang diproses kationisasi menggunakan PDADMAC
- **A-1** = Konsentrasi PDADMAC 1 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, tanpa alkali
- **A-2** = Konsentrasi PDADMAC 2 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, tanpa alkali
- **A-3** = Konsentrasi PDADMAC 3 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, tanpa alkali
- **A-4** = Konsentrasi PDADMAC 4 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, tanpa alkali
- **A-5** = Konsentrasi PDADMAC 5 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, tanpa alkali
- **Blanko** = Kain yang dicelup zw reaktif dengan penambahan garam dan alkali

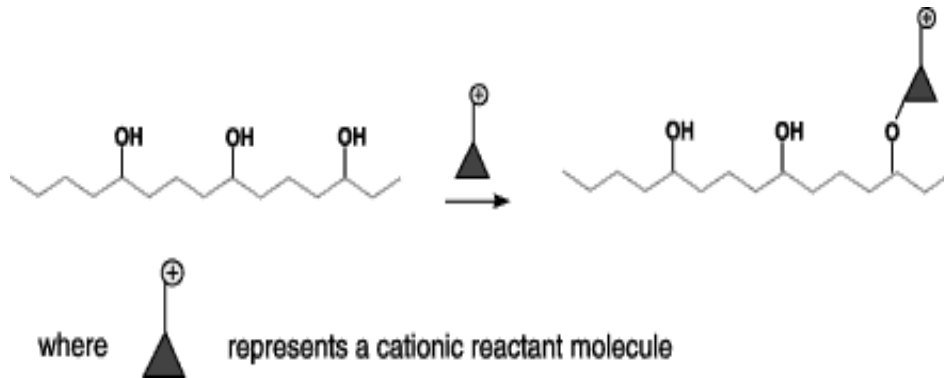
Gambar 7. Kurva reflektansi hasil pencelupan kain kapas 100% menggunakan zat warna reaktif C.I. *Reactive Red 241*



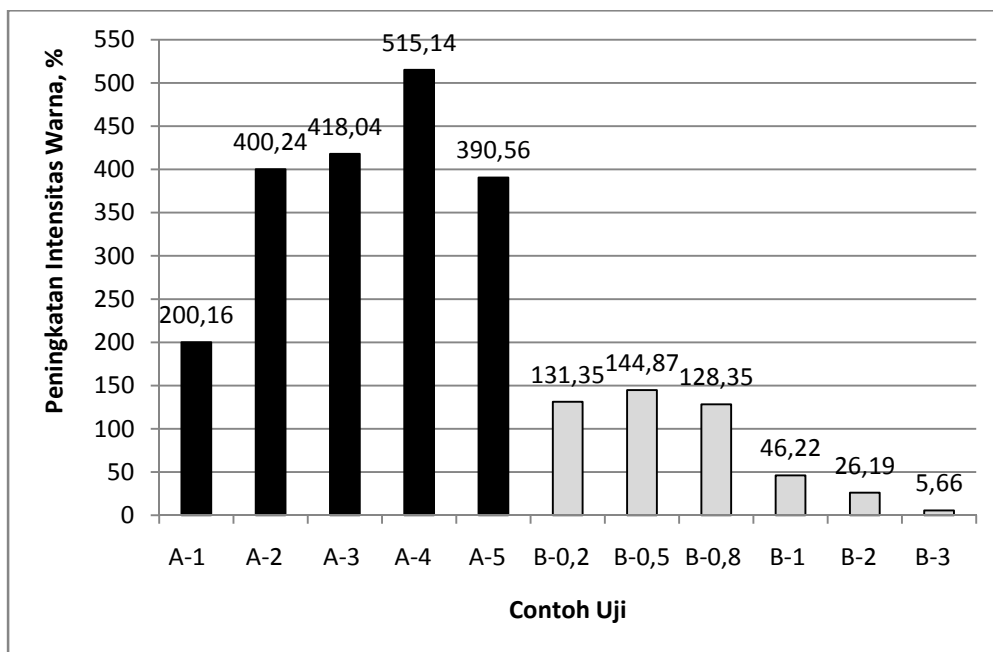
**Gambar 7.** Kurva reflektansi hasil pencelupan kain kapas 100% menggunakan zat warna reaktif C.I. *Reactive Red 241* (lanjutan)



**Gambar 8.** Nilai K/S dan  $\Delta E$  kain kapas kationisasi yang dicelup dengan zat warna reaktif (Contoh uji A = zat kationik PDADMAC; Contoh uji B = zat kationik amonium sulfat)



**Gambar 9.** Adsorpsi molekul kationik pada serat kapas<sup>10</sup>

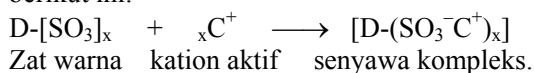


**Gambar 10.** Peningkatan intensitas warna kain kapas kationisasi yang dicelup dengan zat warna reaktif (Contoh uji A = zat kationik PDADMAC; Contoh uji B = zat kationik amonium sulfat)

**Ketuaan warna (K/S), intensitas warna (I) dan beda warna (ΔE)**

Uji reflektansi warna hasil pencelupan kain kapas yang dikationisasi dapat dilihat pada Gambar 7. Dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) dapat dihitung nilai ketuaan warna (K/S) dan peningkatan intensitas warna (I) serta hasil pengukuran beda warna (ΔE) terhadap kain kapas yang dicelup zat warna reaktif dengan penambahan elektrolit dan alkali (Gambar 8). Pada Gambar 8 dan 10 terjadi peningkatan nilai K/S, ΔE dan I terhadap kain kapas tanpa kationisasi (yang dicelup dengan zat warna reaktif dengan penambahan garam dan alkali). Peningkatan tersebut disebabkan oleh terjadinya adsorpsi polielektrolit dari senyawa yang bersifat kationik pada serat kapas sehingga meningkatkan penyerapan zat warna anion.<sup>10</sup> Ilustrasi proses adsorpsi tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.

Proses pencelupan kain kapas yang di kationisasi dilakukan dengan menggunakan zat warna reaktif tanpa penambahan zat-zat pembantu. Gugus pelarut zat warna reaktif umumnya memiliki muatan negatif, sedangkan senyawa kation atau polikuartener memiliki muatan positif. Dengan adanya muatan yang berlawanan ini memungkinkan terjadinya reaksi antara zat warna dengan senyawa kation sehingga membentuk senyawa yang lebih kompleks. Selain itu senyawa kation tersebut akan bereaksi pula dengan serat selulosa sehingga akan terikat lebih kuat. Reaksi antara zat warna reaktif dengan senyawa kationik digambarkan sebagai berikut ini.



Peningkatan konsentrasi PDADMAC yang digunakan akan semakin meningkatkan pula nilai K/S, ΔE dan I kain kapas hasil pencelupan. Nilai optimum hasil pencelupan kain kapas dengan zat warna reaktif diperoleh pada konsentrasi PDADMAC 4 g/l dengan nilai K/S = 11,86; ΔE =10,34 (ΔE >6,0) dan I = 515,14%. Nilai tersebut menunjukkan peningkatan ketuaan warna yang relatif lebih tinggi dibandingkan kain kapas blanko (kontrol) yang hanya memiliki nilai K/S = 1,93. Beda warna terhadap kain kapas blanko sangat tinggi yaitu ΔE >6,0. Menurut ISO 2846 dan ISO 12647 rasio beda warna dengan nilai tersebut termasuk ke dalam kategori "berpengaruh besar" (Tabel 1). Hal serupa juga terjadi dengan peningkatan intensitas warnanya yang sangat tinggi hingga mencapai 515,14% (secara visual menunjukkan warna yang sangat tua). Polimer kationik PDADMAC terdiri dari unit siklik yang memiliki gugus amonium kuarterner pada setiap rantainya. Proses perlakuan kationisasi pada kain kapas dengan PDADMAC akan meningkatkan aktivitas kation pada serat selulosa dan mengurangi tolakan elektrostatik ion negatif yang mengakibatkan efek positif pada penyerapan zat warna anionik dan polielektrolit seperti zat warna reaktif.<sup>6</sup> Peningkatan reaktivitas zat warna anionik akan menginduksi isoterm Freundlich dalam proses pencelupan yang akan digantikan oleh isoterm Langmuir setelah kapas dimodifikasi. Selain itu, menurut Joo Yong Kim (2014) proses kationisasi menggunakan senyawa kimia dengan kelompok fungsional yang sesuai dimungkinkan dapat bereaksi dengan gugus hidroksil pada selulosa. Oleh karena itu perlakuan kationisasi dengan



PDADMAC memungkinkan kelompok amina dalam struktur kapas meningkat dan mengalami reaksi yang baik dengan gugus hidroksil pada selulosa. Pada proses pencelupan terjadi tarik-menarik antara kelompok kation dan anion zat warna reaktif.<sup>6</sup> Semakin meningkatnya konsentrasi PDADMAC pada kain kapas, maka adsorpsi multivalent ion semakin kuat, sehingga penyerapan zat warna anion semakin tinggi.

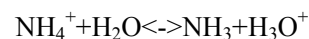
**Tabel 1.** Pengaruh beda warna<sup>10</sup>

Perbedaan Warna $\Delta E$	Pengaruh
< 0,2	tidak terlihat
0,2 - 1,0	sangat kecil
1,0 - 3,0	kecil
3,0 - 6,0	sedang
> 6,0	besar

Keterangan:

Mulai terlihat adanya perbedaan warna (JND) pada nilai  $\Delta E \approx 2,3$ (JND: “just noticeable difference”)

Perlakuan kain kapas dengan zat kationik amonium sulfat juga dapat meningkatkan daya serap zat warna reaktif, namun nilai K/S,  $\Delta E$  dan I yang diperoleh relatif lebih rendah dibandingkan kain kapas yang diproses dengan PDADMAC. Meski nilai K/S,  $\Delta E$  dan I yang diperoleh masih terbilang lebih tinggi dibandingkan kain kapas blanko (kontrol). Telah dikemukakan bahwa amonium sulfat  $[(NH_4)_2SO_4]$  merupakan garam kationik kuarterner yang terdiri dari kation  $NH_4^+$  dan anion  $SO_4^{2-}$ . Amonium sulfat terdapat sebagai ion-ion yang terpisah dalam air (CAS No. 7783-20-2). Dengan perlakuan panas ( $70^\circ C$ ) pada serat selulosa, maka kation  $NH_4^+$  akan berinteraksi dengan selulosa dan menyebabkan kain kapas yang bersifat anion menjadi bersifat kation. Proses pencelupan kain kapas dengan zat warna reaktif yang sebelumnya dikationisasi dengan amonium sulfat, setelah dilakukan tanpa penambahan elektrolit (garam), namun masih perlu ditambahkan alkali untuk membantu fiksasi zat warna ke dalam serat. Kondisi optimum penggunaan amonium sulfat adalah pada konsentrasi 0,5 g/l dengan nilai K/S = 4,89,  $\Delta E = 3,64$  dan I = 144,87%. Pada kondisi optimum tersebut pH larutan celup awal adalah 8,43 dan pH larutan celup akhir adalah 10,89. Konsentrasi  $[(NH_4)_2SO_4]$  yang semakin meningkat justru menyebabkan penyerapan zat warnanya menurun (Gambar 8 dan 10). Sifat amonium sulfat (CAS No.7783-20-2) yang merupakan garam kationik kuarterner akan terdisosiasi dalam air dalam bentuk kation  $NH_4^+$  dan anion  $SO_4^{2-}$ . Peningkatan pH larutan (pH 6,5-8,5) akan menyebabkan fraksi total amonia ( $NH_4^+$ ) yang terionisasi menjadi berkurang dan memunculkan  $NH_3$  menurut reaksi kesetimbangan sebagai berikut ini.



Pada suhu  $25^\circ C$  dan pH 8,1 sekitar 7% dari total amonia hadir sebagai  $NH_3$ . Berdasarkan data tersebut, kemungkinan keberadaan  $NH_3$  akan semakin meningkat dengan adanya peningkatan konsentrasi amonium sulfat yang digunakan. Zat pengkation  $NH_3$  dapat menghambat reaksi zat warna reaktif dengan selulosa, sehingga semakin tinggi konsentrasi amonium sulfat yang digunakan, maka nilai K/S,  $\Delta E$  dan I yang diperoleh semakin menurun. Amonia dapat mengakibatkan selulosa menggelembung (*swelling*) dan mempengaruhi kristalinitas sehingga membentuk selulosa-amonia kompleks. Amonia juga dapat bereaksi dengan gugus OH pada selulosa dan memutuskan ikatan hidrogen.<sup>12</sup> Ditinjau dari pH larutan kationisasi, maka semakin meningkat konsentrasi amonium sulfat yang digunakan, pH larutan semakin turun hingga pH 9,0 seperti pada konsentrasi 3 g/l (Tabel 2). Hal ini bertolak belakang dengan PDADMAC, dimana peningkatan konsentrasi larutan PDADMAC menghasilkan pH larutan yang relatif sama yaitu berkisar 11,5. Kondisi optimal proses pencelupan dengan zat warna reaktif berada pada pH 10,5-12,0.

**Tabel 2.** pH larutan senyawa kationik PDADMAC dan amonium sulfat

Jenis Zat Kationik	Konsentrasi (g/l)	pH
PDADMAC	1	11,60
	2	11,56
	3	11,54
	4	11,54
	5	11,54
Amonium Sulfat	0,2	11,52
	0,5	11,33
	0,8	11,15
	1	10,58
	2	9,24
	3	9,00

Berdasarkan Gambar 8 dan 10 diketahui bahwa penggunaan zat kation PDADMAC pada kain kapas memberikan hasil pencelupan dengan ketuanan warna, intensitas warna dan beda warna yang jauh lebih baik dibandingkan dengan kain kapas yang dikationisasi menggunakan amonium sulfat.

### Kekuatan Tarik Kain

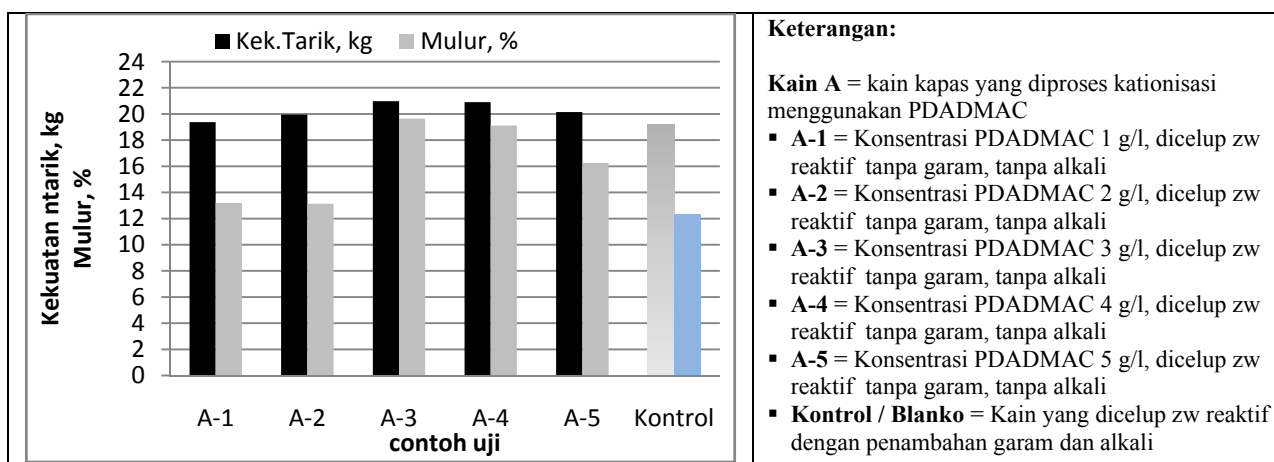
Data hasil uji kekuatan tarik kain kapas yang dikationisasi dengan PDADMAC dan amonium sulfat yang kemudian dicelup dengan zat warna reaktif disajikan pada Gambar 11. Hasil uji menunjukkan terjadinya peningkatan kekuatan tarik kain seiring dengan meningkatnya konsentrasi

PDADMAC hingga 3 g/l, namun selanjutnya menurun pada konsentrasi PDADMAC 4 g/l dan 5 g/l. Pada penggunaan amonium sulfat, kekuatan tarik meningkat hingga pada konsentrasi 0,5 g/l dan mengalami penurunan pada konsentrasi amonium sulfat 1 g/l hingga 3 g/l. Perubahan komposisi kimia, morfologi permukaan serat, dan struktur pori-pori serat setelah proses kationisasi dapat memodifikasi karakteristik hidrofilik kain yaitu perubahan pada gugus OH yang dapat berikatan dengan kation dari PDADMAC maupun  $NH_4^+$ . Dengan semakin meningkatnya konsentrasi PDADMAC ataupun amonium sulfat yang digunakan maka terjadi perubahan morfologi serat yang semakin besar dan pori-pori serat akan terisi banyak oleh gugus kation PDADMAC dan  $NH_4^+$ . Kondisi ini akan berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tarik serat kapas hingga mencapai kondisi optimum dan setelah itu terjadi penurunan kekuatan. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil uji SEM yang menunjukkan adanya perubahan pada morfologi serat. Demikian juga dengan mulur kain yang sedikit mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi senyawa kation. Mulur optimum diperoleh pada konsentrasi PDADMAC 3 g/l yaitu sebesar 19,64% dan amonium sulfat 0,5 g/l yaitu sebesar 18,48%. Meski demikian hal ini masih belum mempengaruhi stabilitas dimensi kain.

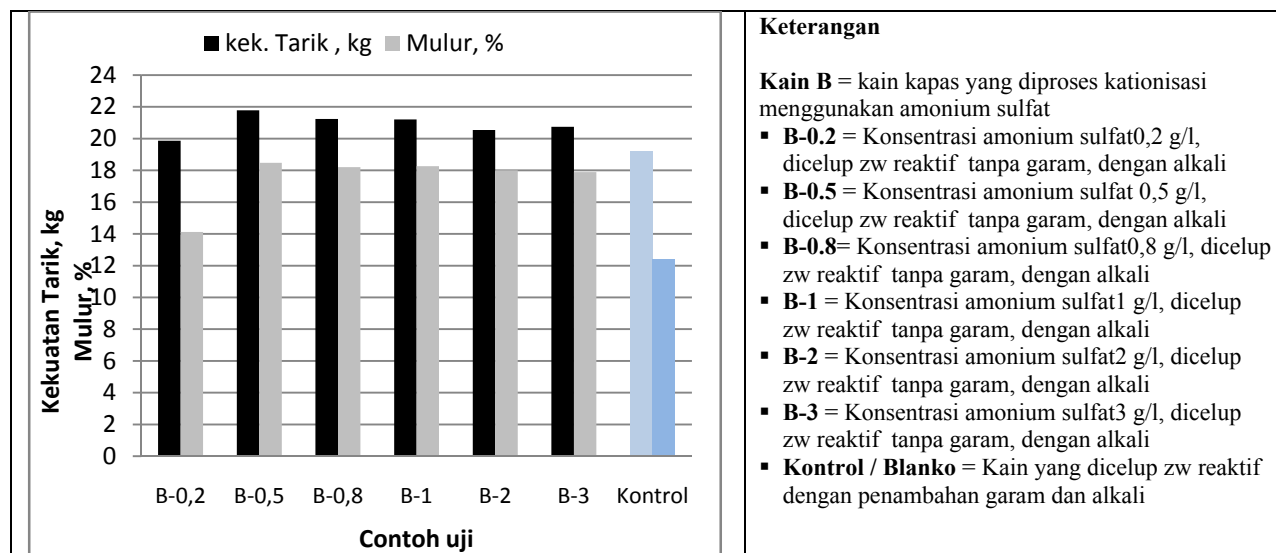
**Ketahanan luntur warna**

Hasil uji ketahanan luntur kain kapas kationik yang telah dicelup zat warna reaktif disajikan pada Tabel 3. Masing-masing contoh kain kapas yang dikationisasi dengan PDADMAC 1 g/l-5 g/l maupun dengan amonium sulfat 0,2 g/l-3 g/l menunjukkan nilai ketahanan luntur warna terhadap pencucian yang sangat baik yaitu pada skala perubahan warna (*grey scale*) 4-5. Ketahanan luntur warna terhadap gosokan dan sinar pada kain kapas

yang dikationisasi dengan PDADMAC mengalami penurunan, sedangkan dengan kain kapas yang dikationisasi dengan amonium sulfat hasil ketahanan luntur warna relatif baik. Pada kain kapas blanko ketahanan luntur warna terhadap gosokan kering maupun basah cukup baik karena pada proses pencelupan terjadi ikatan kovalen (reaksi kimia) antara zat warna reaktif dengan serat. Proses kationisasi yang mengakibatkan efek positif pada penyerapan zat warna anionik (zat warna reaktif) menyebabkan terjadinya ikatan ionik (ikatan elektrovalen) yang ikatannya relatif lebih lemah dibandingkan ikatan kimia (kovalen). Gugus fungsi zat warna reaktif yang menghasilkan ikatan kimia dengan serat kemungkinan lebih sedikit terjadi karena molekul serat sudah terisi dengan muatan kation dari PDADMAC, sehingga kemungkinan terjadi migrasi zat warna setelah dikenai gosokan. Pada proses pencucian, agitasi mekanik yang dikenakan tidak sebesar gerakan mekanik pada gosokan, sehingga nilai ketahanan luntur warna terhadap pencuciannya masih cukup baik. Apabila kationisasi terjadi pada gugus-gugus hidroksil, maka gugus tersebut menjadi kurang hidrofili dan menjadi penghalang masuknya air atau larutan zat warna. Oleh karena itu akan lebih sedikit zat warna yang berikatan dengan struktur molekul serat. Untuk meningkatkan ketahanan luntur warna terhadap gosokan dan penyinaran, maka pada proses pencelupan zat warna reaktif setelah proses kationisasi khususnya dengan amonium sulfat masih perlu ditambahkan alkali untuk membantu ikatan zat warna dengan serat. Meski demikian pengurangan pemakaian garam pada proses pencelupan masih dapat dilakukan untuk menghemat penggunaan bahan pembantu dan dampak lainnya dapat menghindari terjadinya korosi pada mesin akibat pengaruh penggunaan elektrolit.



**Gambar 11.** Hasil uji kekuatan tarik kain kapas kationisasi yang dicelup dengan zat warna reaktif (Contoh uji A = zat kationik PDADMAC; Contoh uji B = zat kationik amonium sulfat)



**Keterangan**

**Kain B** = kain kapas yang diproses kationisasi menggunakan amonium sulfat

- **B-0.2** = Konsentrasi amonium sulfat 0,2 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, dengan alkali
- **B-0.5** = Konsentrasi amonium sulfat 0,5 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, dengan alkali
- **B-0.8** = Konsentrasi amonium sulfat 0,8 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, dengan alkali
- **B-1** = Konsentrasi amonium sulfat 1 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, dengan alkali
- **B-2** = Konsentrasi amonium sulfat 2 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, dengan alkali
- **B-3** = Konsentrasi amonium sulfat 3 g/l, dicelup zw reaktif tanpa garam, dengan alkali
- **Kontrol / Blanko** = Kain yang dicelup zw reaktif dengan penambahan garam dan alkali

**Gambar 11.** Hasil uji kekuatan tarik kain kapas kationisasi yang dicelup dengan zat warna reaktif (Contoh uji A = zat kationik PDADMAC; Contoh uji B = zat kationik amonium sulfat) (lanjutan)

**Tabel 3.** Hasil uji ketahanan luntur warna kain kapas kationisasi yang dicelup dengan zat warna reaktif (Contoh uji A = zat kationik PDADMAC; Contoh uji B = zat kationik amonium sulfat)

Kode Contoh	Nilai Ketahanan Luntur Warna			
	Pencucian	Gosokan kering	Gosokan Basah	Penyinaran Buatan
Blanko	4 - 5	4 - 5	4 - 5	4
Kain A-1	4 - 5	3 - 4	3	1-2
Kain A-2	4 - 5	3 - 4	2 - 3	2
Kain A-3	4 - 5	3	3	2
Kain A-4	4 - 5	2 - 3	2 - 3	2
Kain A-5	4 - 5	2 - 3	2 - 3	2
Kain B-0,2	4 - 5	4	4	4
Kain B-0,5	4 - 5	4	4	4
Kain B-0,8	4 - 5	4 - 5	4	4
Kain B-1	4 - 5	4 - 5	4	4
Kain B-2	4 - 5	4 - 5	4	4
Kain B-3	4 - 5	4	4 - 5	4

**KESIMPULAN**

Proses kationisasi kain kapas menggunakan zat kation jenis PDADMAC dan amonium sulfat telah berhasil memodifikasi makromolekul serat selulosa sehingga memiliki situs bermuatan positif yang mempermudah pengikatan gugus anion pada zat warna reaktif sehingga kemampuan celupnya meningkat terhadap kain kapas. Spektra *Fourier Transmittance Infra Red Spectrophotometer* (FTIR) menunjukkan adanya kandungan kelompok kationik

pada kain kapas yang dikationisasi dengan PDADMAC dan amonium sulfat. Kationisasi kain kapas dengan PDADMAC memberikan nilai ketahanan, intensitas dan beda warna yang lebih baik dibandingkan amonium sulfat. Nilai optimum penggunaan PDADMAC yaitu pada konsentrasi 4 g/l (dengan nilai K/S = 11,86; ΔE = 10,34 (ΔE > 6,0); I = 515,14%; skala nilai ketahanan luntur warna terhadap pencucian 4-5; gosokan basah 3; gosokan kering 3 dan penyinaran buatan 2). Nilai optimum penggunaan amonium sulfat yaitu pada konsentrasi 0,5 g/l (dengan

nilai  $K/S = 4,89$ ,  $\Delta E = 3,64$ ;  $I = 144,87$ ; skala nilai ketahanan luntur warna terhadap pencucian 4-5; gosokan basah 4-5; gosokan kering 4 dan penyinaran buatan 4). Penggunaan PDADMAC dan amonium sulfat tidak mengakibatkan penurunan kekuatan tarik kain. Kationisasi dapat mengurangi bahkan mengeliminasi penggunaan zat pembantu pada pencelupan kain kapas dengan zat warna reaktif. PDADMAC dapat menghilangkan penggunaan elektrolit dan alkali. Sedangkan amonium sulfat dapat menghilangkan penggunaan elektrolit dan mengurangi pemakaian alkali.

#### PUSTAKA

- <sup>1</sup> Chinta, S.K., & Kumar, S.V., (2013), Technical Facts & Figures of reactive dyes used in textiles, *I.J.E.M.S* 4 (3): 308-312.
- <sup>2</sup> Sanislav, A., Dumitru, F., & Stanescu, M.D., (2013), Investigation of two textile anthraquinone dyes purity, *U.P.B. Sci. Bull., Series B* 75 (4).
- <sup>3</sup> Yu, Y., & Zhang, Y., (2013), Roles of novel reactive cationic copolymers of 3-chloro-2-hydroxy propyl methyl diallylammonium chloride and dimethyl diallylammonium chloride in fixing anionic dyes on cotton fabric, Academic Editor: Yufang Zhu.
- <sup>4</sup> Al-Fozan, S. A., & Anees, U. M., Effect of seawater level on corrosion behavior of different alloys, (2005), *International Desalination Association (IDA) World Congress Conference*.
- <sup>5</sup> Tan, Y., Heterogeneous electrode processes and localized corrosion, (2013), John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved, Hoboken, New Jersey, Published simultaneously in Canada
- <sup>6</sup> Ristić. N., & Ristić, I., (2012), Cationic Modification of Cotton Fabrics and Reactive Dyeing Characteristics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* 7(4).
- <sup>7</sup> Chen, W., & Zhao, S., (2004), Improving the Color Yield of Ink-Jet Printing on Cationized Cotton, *Textile Research Journal* 74(1): 68-71.
- <sup>8</sup> Acharya, S., Abidi, N., Rajbhandari, R., Meulewaeter, F., (2014), Chemical cationization of cotton fabric for improved dye uptake, *Journal Cellulose* 21 (6).
- <sup>9</sup> KIM, J. Y., & Choi, H.,M., (2014), Cationization of periodate-oxidized cotton cellulose with choline chloride, *Cellulose Chem. Technol.*, 48 (1-2), 25-32.
- <sup>10</sup> Lili Wang, Wei ma, Shufen Zhang, Xiaoxu Teng, Jinzong Yang., 2009, Preparation of Cationic Cotton with Two-Bath Pad-Bake Process and Its Application in Salt-Free Dyeing, *Carbohydrat Polymer*, Vol 78: 602- 608.
- <sup>11</sup> Ma Wei, Zhang S., Yang J.Z., Development of Functional Polymers in Modification of Cotton for Improving Dyeability of Reactive dyes, *The Proceeding of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Functional Molecules*, Page 69-75.
- <sup>12</sup> Hauser, P. J., A. H. Tabb, 2002, Dyeing of Cationic Cotton with Fiber Reactive Dyes, *AATCC Review*, Vol 5: 36-39