

EFEKTIFITAS BINDER PADA PENYEMPURNAAN KAIN KAPAS DENGAN MIKROKAPSUL MENGGUNAKAN TEKNIK PADDING

BINDER EFFECTIVENESS ON COTTON FABRIC FINISHING WITH MICROCAPSULES USING PADDING TECHNIQUE

Agus Surya Mulyawan, Tatang Wahyudi

Balai Besar Tekstil
E-mail: texirdti@bdg.centrin.net.id

Tanggal diterima: 16 Mei 2018, direvisi: 19 Juli 2018, disetujui terbit: 20 Juli 2018

ABSTRAK

Salah satu proses untuk meningkatkan fungsi kain kapas adalah penyempurnaan dengan mikrokapsul. Mikrokapsul tersebut diharapkan memiliki ketahanan yang memadai pada permukaan kain kapas. Namun karena penyalut mikrokapsul tidak berikatan kimia dengan kain kapas maka digunakan zat pengikat (*binder*) seperti poliakrilat dan poliuretan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efektivitas *binder* berbasis poliakrilat dan poliuretan pada penyempurnaan mikrokapsul kain kapas menggunakan teknik *padding*. Kain kapas hasil penyempurnaan mikrokapsul diamati permukaannya dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM), diuji ketahanan cucinya dengan *Launder-O-meter*, kekuatan tariknya dengan *tensile tester*, dan kekakuannya dengan *stiffness tester*. Mikrokapsul selanjutnya dianalisis ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dan jenis penyalutnya menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran rata-rata mikrokapsul adalah 1,14 μm , *binder* poliakrilat dan poliuretan dapat mempertahankan mikrokapsul dipermukaan kain kapas hingga setara 10 kali pencucian rumah tangga. Penggunaan *binder* poliakrilat 12,5 % dapat meningkatkan kekuatan tarik kain kapas 12,47 % arah lusi dan 2,41 % arah pakan, serta kekakuannya 7,31 %, sedangkan *binder* poliuretan 10 % dapat meningkatkan kekuatan tarik kain kapas 17,87 % arah lusi dan 3,32 % arah pakan, serta kekakuannya 25,69 %.

Kata kunci: kain kapas, mikrokapsul, melamin formaldehid, poliakrilat, poliuretan.

ABSTRACT

One of the processes to improve the function of cotton fabric is microcapsule finishing. The microcapsules are expected to have adequate resistance to surface of cotton fabric. However, since microcapsule shell has no chemical bond with cotton fabric, a binder is used for example polyacrylic and polyurethane. The aim of this research is to study the effectiveness of polyacrylic and polyurethane binder in cotton fabric microcapsule finishing using padding technique. The cotton finishing fabric of microcapsule observed from its surface with Scanning Electron Microscope (SEM), tested its washing fastness with Launder-O-meter, its tensile strength with tensile tester, and its stiffness with stiffness tester. Particle size of microcapsules analyzed with Particle Size Analyzer (PSA), and shell of microcapsule with Fourier Transform Infra Red (FTIR). Results showed that the microcapsule size of 1.14 μm , polyacrylate and polyurethane binder could retain microcapsules on the surface of cotton fabrics up to equivalent of 10 times household wash, the use of 12.5% polyacrylate binder could increase tensile strength of 12.47% cotton warp and 2.41% of weft direction, and stiffness 7.31%, while the 10% polyurethane binder could increase tensile strength of 17.87% cotton warp and 3.32% of weft direction, and stiffness 25.69%.

Keywords: cotton fabric, microcapsule, melamine formaldehyde, polyacrylic, polyurethane.

PENDAHULUAN

Kain kapas adalah kain yang dibuat dari serat kapas dengan cara ditenun, rajut, atau kempa. Kualitasnya ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya kekuatan benang, jenis anyaman, proses pewarnaan, dan proses penyempurnaan.^{1,2} Penyempurnaan kain kapas biasanya dilakukan

setelah pewarnaan dan salah satunya penyempurnaan dengan mikrokapsul.³

Mikrokapsul merupakan partikel berukuran mikro meter yang dihasilkan melalui teknik mikroenkapsulasi. Teknik mikroenkapsulasi secara garis besar terdiri atas dua kategori, yaitu kimia dan mekanik yang menghasilkan ukuran partikel

beragam seperti ditunjukkan pada tabel 1.⁴ Mikrokapsul terdiri atas zat aktif atau bahan inti (*core*) dan penyalut atau membran (*shell*) yang mengelilingi zat aktif. Zat aktif dapat berbentuk cair, padat, atau gas dan penyalut dapat terbuat dari polimer dengan sifat – sifat tertentu seperti tidak bereaksi dengan zat aktif, fleksibel, ekonomis, dan stabil.⁵

Tabel 1. Teknik mikroenkapsulasi dan rentang ukuran partikel relatifnya.⁴

Proses Physico-Chemical	Proses Physico-Mechanical
Coacervation, (2-1200) µm	Spray-drying, (5-5000) µm
Hot melt, (1-1000) µm	Fluidized-bed technology, (20-1500) µm
Solvent evaporation, (0,5-1000) µm	Pan coating (600-5000) µm
Polyelectrolyte multilayer, (0,02-20) µm	Spinning disc (5-1500) µm
Phase inversion, (0,5-5) µm	Co-extrusion, (250-2500) µm
Polymer-polymer incompatibility, (0,5-1000) µm	Interfacial polymerization, (0,5-1000) µm
	In situ polymerization, (0,5-1100) µm

Kain kapas dengan mikrokapsul akan memiliki nilai tambah tertentu, misalnya sebagai kosmetik^{6,7}, pewangi⁸⁻¹¹, *Phase Change Materials*^{12,13}, anti serangga¹⁴, dan anti mikroba.^{14,15} Penyempurnaan kain dengan mikrokapsul beberapa dekade belakangan ini merupakan salah satu target komersial yang penting dalam rangka memenuhi persaingan usaha, keinginan dan kebutuhan konsumen, serta menjadi tantangan tersendiri bagi para peneliti terutama untuk mendapatkan kekuatan mekanis mikrokapsul pada permukaan kain yang memadai sehingga dapat tahan lama.⁸

Penyalut mikrokapsul pada umumnya tidak reaktif sehingga tidak dapat berikatan kimia dengan kain tetapi masih memungkinkan terjadinya agregasi antar mikrokapsul. Untuk meningkatkan kekuatan mekanis, seperti ketahanan mikrokapsul terhadap pencucian maka dapat dilakukan melalui beberapa cara diantaranya adalah memilih teknik aplikasi, zat pembantu, dan bahan penyalut yang sesuai.¹⁷

Mikrokapsul dapat ditambahkan pada kain melalui beberapa teknik, diantaranya adalah perendaman (*exhaust*), *padding* (*pad-dry-cure*), penyemprotan (*spraying*), dan *laundry* tanpa merubah *handfeel* dan warna kain.^{3,16} Teknik perendaman lebih sesuai untuk proses yang didalamnya terdapat reaksi kimia seperti pemutihan

dan pewarnaan. Beberapa peneliti pun telah menganalisis bahwa teknik perendaman kurang optimal untuk penyempurnaan mikrokapsul.¹⁸

Zat pembantu yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan mikrokapsul pada kain terhadap perlakuan mekanis adalah *cross linking agent* dan zat pengikat (*binder*). 1,2,3,4-butanatetra carboxylic acid (BTCA) dapat digunakan sebagai *cross linking agent* tetapi tidak efisien sedangkan *binder* biasanya terbuat dari golongan poliakrilat, poliuretan, dan silikon.^{8,19-22} Penelitian tentang efektifitas *binder* dan *cross linking agent* pada penyempurnaan mikrokapsul masih sedikit dilakukan sehingga pemahamannya masih terbatas, misalnya oleh Aracil et.al 2016, tentang efektifitas *binder* pada kain kapas dengan mikrokapsul teknik *laundry* dan oleh Monllor et. al 2010, tentang efektifitas *binder* pada kain kapas dengan mikrokapsul teknik perendaman.^{17,21}

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari efektifitas *binder* golongan poliakrilat dan poliuretan pada penyempurnaan kain kapas dengan mikrokapsul teknik *padding* (*pad-dry-cure*) dan karakterisasi mikrokapsul.

METODE

Karakterisasi mikrokapsul dilakukan di Balai Besar Tekstil (BBT), Institut Teknologi Bandung (ITB), dan Universitas padjadjaran (Unpad) sedangkan aplikasi mikrokapsul pada kain kapas dan pengujiannya dilakukan di laboratorium Balai Besar Tekstil. Bahan-bahan yang digunakan adalah kain tenun kapas gramasi 120 g/m² yang telah di-*scouring* dan *bleaching*, mikrokapsul Ruco-capsula LM-001 (Rudolf), *binder* poliakrilat Ruco Capsula BCR (Rudolf), *binder* poliuretan Ruco-Coat PU 1110 (Rudolf), dan air demineralisasi (Brataco).

Karakterisasi mikrokapsul

Karakterisasi mikrokapsul terdiri atas analisis ukuran partikelnya dan gugus fungsinya.²³ Ukuran partikel mikrokapsul dianalisis menggunakan *Particle Size Analyzer/PSA* (Beckman Coulter LS 13 320) dan jenis gugus fungsinya dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infra Red/FTIR* (Shimadzu Prestige 21).

Penggunaan binder dan mikrokapsul pada kain kapas

Sampel kain kapas yang digunakan berukuran 7 cm x 35 cm. Volume akhir ditentukan 100 ml. Dua kondisi tanpa mikrokapsul, kondisi lainnya menggunakan mikrokapsul, *binder* poliakrilat 12,5% dan poliuretan 10%. *Binder* dan air demineralisasi diaduk hingga homogen kemudian ditambahkan larutan mikrokapsul, diaduk kembali hingga homogen. Sampel kain direndam dalam larutan tersebut kemudian diaduk selama 5-10 menit pada suhu kamar. Sampel kain selanjutnya

diperas menggunakan *padder* (Werner Mathis AG) kemudian dikeringkan menggunakan *Curing HT- Steam* (Werner Mathis AG) pada suhu 100 °C selama 60 detik dan *curing* di mesin yang sama pada suhu 110 °C selama 120 detik. Proses perendaman dan pemerasan dilakukan sebanyak dua kali (2 dip, 2 nip).^{17,23,24} Kondisi selengkapnya disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Penggunaan *binder* dan mikrokapsul pada kain kapas.

Parameter	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4
Mikrokapsul (%)	-	-	5	5
Binder (%)	12,5	10	12,5	10
Komposisi Binder	P	PU	P	PU
Drying (°C)	100	100	100	100
Drying (s)	60	60	60	60
Curing (°C)	110	110	110	110
Curing (s)	120	120	120	120
WPU (%)	90	90	90	90

Keterangan:

P = Poliakrilat, PU = Poliuretan, WPU = *Wet Pick Up*

Evaluasi ketahanan mikrokapsul terhadap pencucian

Kain kapas dengan mikrokapsul di cuci menggunakan *Laundry-O-meter* kemudian dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif berupa pengamatan terhadap permukaan kain kapas menggunakan *Scanning Electron Microscope/SEM* (JEOL JSM-6510) dan kuantitatif berupa persentase pengurangan berat berdasarkan persamaan:^{17,22}

$$\text{Mikrokapsul (\%)} = \frac{(b-a)}{a} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

a = berat kain kapas setelah pencucian (g)

b = berat kain kapas sebelum pencucian (g)

Evaluasi kekuatan tarik dan kekakuan kain kapas

Kekuatan tarik kain kapas di uji menggunakan *Tensile Tester* (Tensilon UTM 111 – 100) berdasarkan SNI 0267:2009 dan kekakuan kain kapas di uji menggunakan *Stiffness Tester* berdasarkan SNI 08-0314-1989.

Tabel 3. Kode sampel dan frekwensi pencucian.

Kode	Keterangan
P	Kain hasil uji 1
PU	Kain hasil uji 2
PM	Kain hasil uji 3
PUM	Kain hasil uji 4
D1	Pencucian setara 5x pencucian rumah tangga
D2	Pencucian setara 10x pencucian rumah tangga

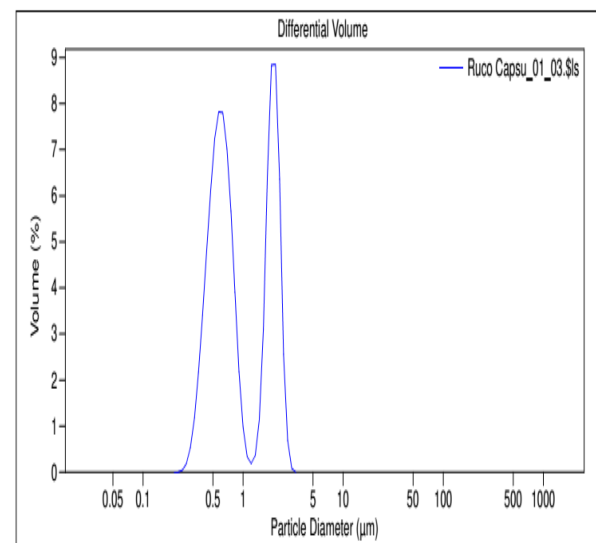
HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi ukuran partikel mikrokapsul

Distribusi ukuran partikel mikrokapsul menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dapat

dilihat pada Gambar 1. Sampel yang dianalisis terdistribusi pada ukuran partikel yang beragam, yaitu (0,43 – 2,20) µm dan rata – ratanya berukuran 1,14 µm. Jyothi et. al. (2012), menyatakan bahwa teknik mikrokapsulasi yang digunakan dapat menentukan ukuran partikel yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada tabel 1. Maka mikrokapsul pada penelitian ini dapat dibuat dengan beberapa teknik, yaitu *Solvent evaporation*, *Phase inversion*, *Polymer-polymer incompatibility*, *Interfacial polymerization*, dan *In situ polymerization*.⁴

Ukuran partikel yang beragam pun dapat dipengaruhi oleh pengadukan dengan kecepatan tinggi ketika pembuatan mikrokapsul. Pengadukan dengan kecepatan tertentu akan menghasilkan ukuran mikrokapsul yang relatif seragam namun jika dipercepat maka hasilnya akan menjadi lebih beragam. Dengan kecepatan pengadukan tinggi maka partikel yang terbentuk dapat pecah kemudian reagregasi dengan cepat sehingga stabilitas emulsi menjadi berkurang. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Jun-Seok Hwang et. al. (2006), yang membandingkan kecepatan pengadukan antara 13.000 rpm dengan 15.000 rpm dan hasilnya adalah ukuran partikel dengan pengadukan 15.000 rpm lebih beragam.²⁵



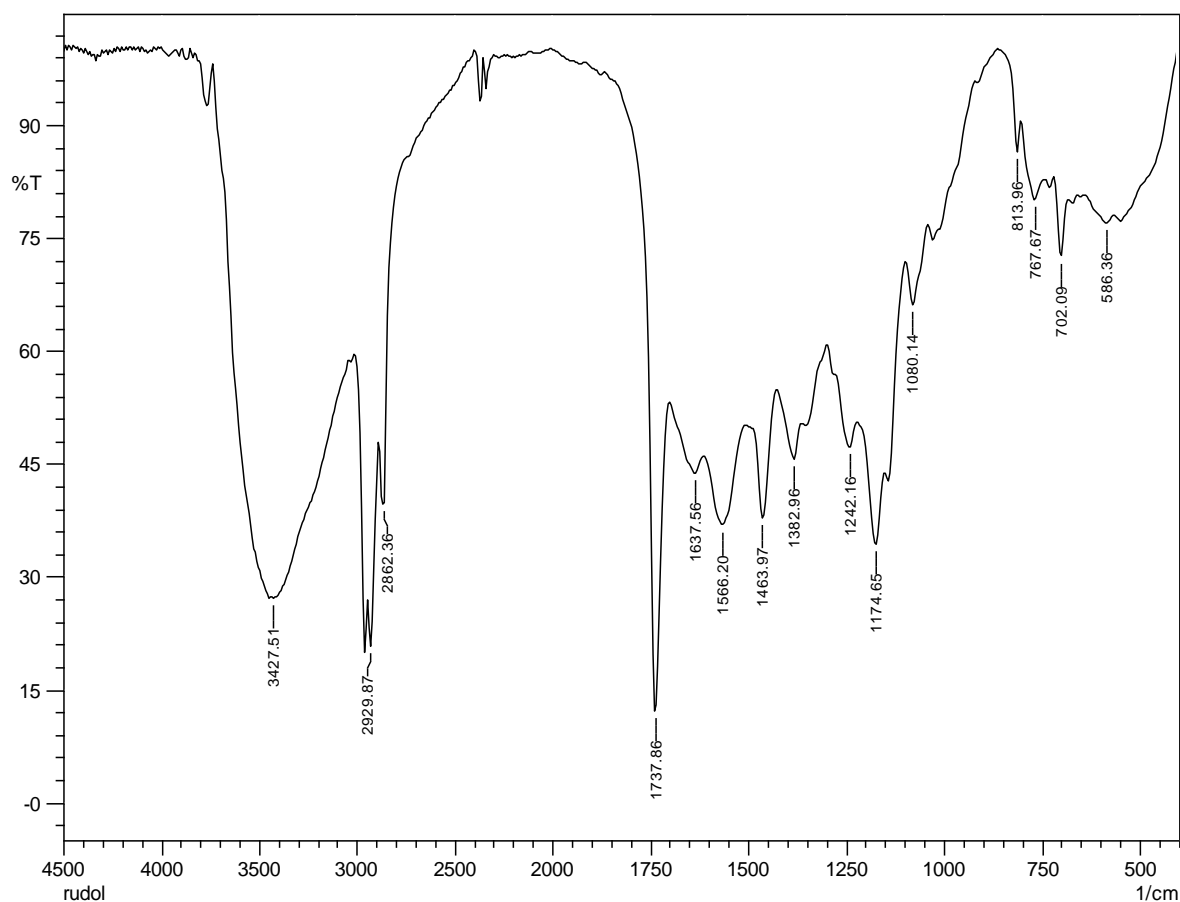
Gambar 1. Distribusi ukuran partikel menggunakan PSA.

Dua puncak yang terbentuk menjelaskan ada dua kelompok partikel pada sampel ketika dianalisis. Partikel – partikel sampel mengalami agregasi sehingga terjadi pengelompokan. Agregasi terjadi karena jarak antar partikel dalam larutan begitu dekat sehingga terjadi gesekan atau benturan. Benturan antar partikel mengakibatkan partikel yang satu akan kelebihan elektron dibandingkan dengan partikel yang lainnya sehingga terjadi gaya tarik menarik atau interaksi elektrostatik.²⁶

Penyebab lainnya adalah penggunaan garam (zat pembantu) dengan konsentrasi yang berlebihan. Ion – ion garam dalam larutan sampel dapat mendorong partikel – partikel sehingga terjadi agregasi.⁹

Tidak ada keterangan tertulis dari *suplier* tentang jenis zat aktif (*core*) dan penyalut (*shell*) dari sampel mikrokapsul yang digunakan pada penelitian ini, sehingga interpretasi spektrum FTIR berupa gambaran umum saja. Tetapi apabila mengacu kepada penelitian Wahyudi et. al. (2017),

Fei et. al. (2015), dan Hwang et. al. (2006), maka spektrum FTIR pada gambar 3 mengandung penyalut (*shell*) dari senyawa melamin formaldehid. Melamin formaldehid merupakan senyawa yang terbentuk sebagai akibat adanya ikatan antara semua atom N pada gugus amina melamin dengan atom C formaldehid yang terbaca pada spektrum bilangan gelombang 1382 cm^{-1} , spektrum lainnya adalah ikatan O-H pada 3427 cm^{-1} , ikatan C-H pada 2929 cm^{-1} , ikatan C-O pada 1174 cm^{-1} , dan ikatan N-H pada 1566 cm^{-1} .^{23,25,28}



Gambar 2. Spektrum FTIR sampel mikrokapsul

Evaluasi ketahanan mikrokapsul terhadap pencucian

Permukaan kain kapas dianalisis menggunakan SEM seperti pada Gambar 3. Diamati pada perbesaran 500 kali (A) dan 1.700 kali (B), tampak bahwa pada perlakuan udara panas dengan suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 60 detik (*drying*) kemudian dilanjutkan $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 120 detik (*curing*), kedua jenis *binder* (poliakrilat dan poliuretan) dapat melapisi permukaan kain. Pada perbesaran 900 kali (C) dan 1000 kali (D) tampak pula bahwa penggunaan *binder* berbasis poliuretan dapat mempertahankan mikrokapsul di permukaan kain lebih tinggi dibandingkan poliakrilat.

Tabel 4. Jumlah penurunan mikrokapsul setelah pencucian.

Sampel Kain	A (mg/cm ²)	B (mg/cm ²)		Penurunan mikrokapsul (%)	
		D1	D2	D1	D2
PM	4,15	3,40	2,20	22,06	88,64
PUM	4,70	4,10	3,10	14,63	51,61

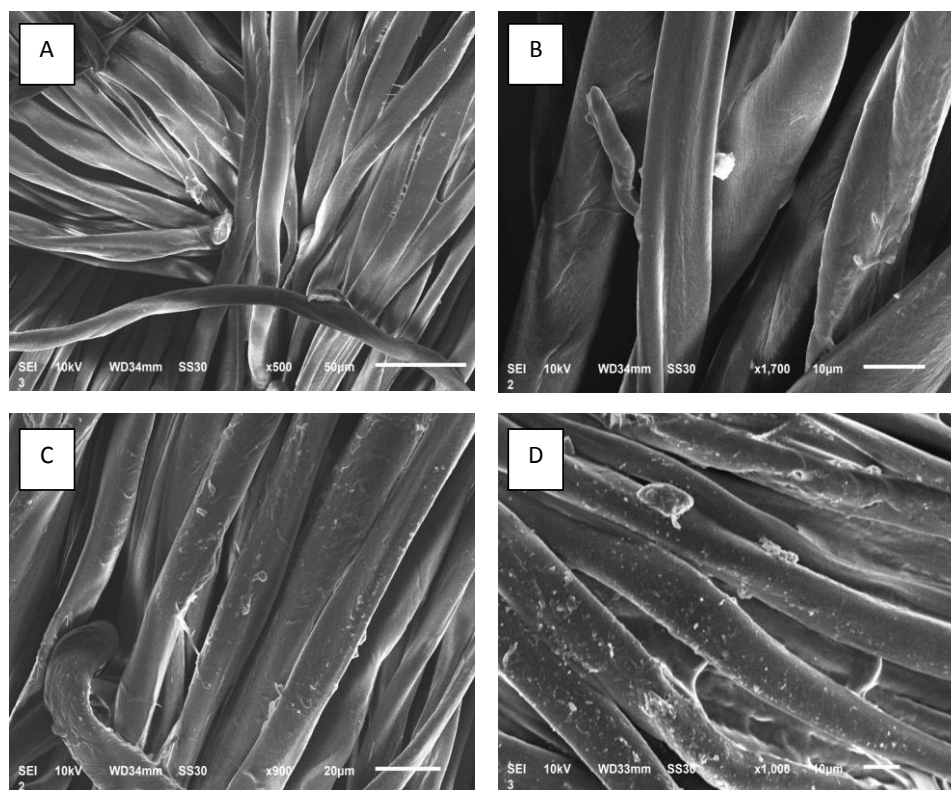
Keterangan: A = mikrokapsul pada kain sebelum pencucian, B = mikrokapsul pada kain setelah pencucian.

Mikrokapsul masih dapat bertahan pada permukaan kain kapas setelah dilakukan pencucian setara 5 kali sampai 10 kali pencucian rumah tangga, tetapi dengan jumlah yang berkurang seperti ditunjukkan pada tabel 4. Penurunan paling tinggi menggunakan *binder* berbasis poliakrilat, yaitu 88,64 % setelah pencucian setara 10 kali pencucian rumah tangga.

Mikrokapsul tidak dapat berfiksasi dengan kain karena penyalutnya tidak reaktif sehingga tidak bertahan lama. Oleh karena itu diperlukan sebuah zat pembantu yang dapat menahan mikrokapsul pada permukaan kain, salah satunya *binder*.¹⁷ Tetapi, pada saat pencucian terdapat gerakan mekanis yang mampu merusak sebagian gaya adesi yang terjadi antara *binder*, kain, dan

mikrokapsul, akibatnya lapisan *binder* (poliakrilat maupun poliuretan) yang terbentuk menjadi lebih tipis sehingga kain menjadi lebih ringan.

Penggunaan *binder* dengan konsentrasi tertentu dapat mempertahankan mikrokapsul di permukaan kain setelah pencucian berulang-ulang. Tetapi ketika menggunakan *binder* maka diperlukan udara panas agar *binder* dapat membentuk lapisan dipermukaan kain. Situasi ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Aracil et. al. (2016) dan Monllor et al. (2010), yang menyatakan bahwa ketahanan mikrokapsul pada kain terhadap pencucian tergantung pada konsentrasi *binder* dan udara panas yang digunakan.^{17,21}



Gambar 3. Citra SEM: a) Kain P perbesaran 500x; b) Kain PU perbesaran 1.700x; c) Kain PM perbesaran 900x; dan d) Kain PUM perbesaran 1.000x.

Evaluasi kekuatan tarik dan kekakuan kain kapas

Hasil uji kekuatan tarik kain kapas ditampilkan pada tabel 5. Diketahui bahwa terdapat kenaikan kekuatan tarik kain setelah dilakukan penyempurnaan mikrokapsul menggunakan *binder*. Kekuatan tarik PUM lebih tinggi 5,40 % arah lusi dan 0,91 % arah pakan dibandingkan dengan PM.

Kekuatan tarik kain adalah besarnya gaya tarikan yang diperlukan untuk memutus kain pada arah lusi dan pakan. Kain kapas terdiri atas 95% selulosa maka kekuatan tariknya merupakan kekuatan tarik dari selulosa. Faktor-faktor lain yang

dapat mempengaruhinya adalah usia serat, jenis anyaman kain, diameter dan arah puntiran benang penyusun kain, kondisi kain sebelum diuji, serta metode uji.^{29,30}

Binder dapat membentuk lapisan di permukaan kain dengan bantuan udara panas ketika *curing*. Lapisan tersebut menahan mikrokapsul tetap berada pada permukaan kain, permukaan kain menjadi lebih tebal sehingga kekuatan tariknya meningkat.

Kekakuan kain diartikan sebagai kemampuan kain untuk menahan bengkokan (*resistance to bending*) dan hasil ujinya pada penelitian ini

ditampilkan pada tabel 6. Diketahui bahwa kekakuan kain menjadi meningkat setelah dilakukan penyempurnaan mikrokapsul menggunakan *binder* dan kekakuan PUM lebih tinggi 18,38 % dibandingkan dengan PM.

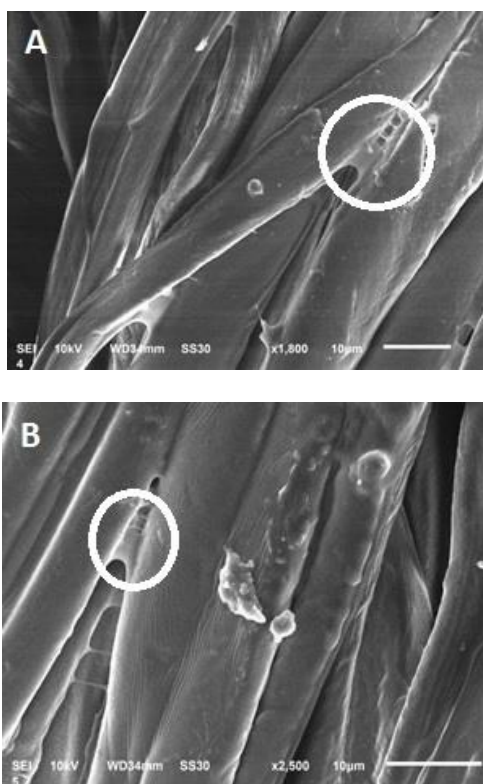
Tabel 5. Hasil uji kekuatan tarik kain kapas.

Sampel	Kekuatan tarik (Kgf)		Kenaikan Kekuatan tarik (%)	
	Lusi	Pakan	Lusi	Pakan
Kontrol	24,37±2,57	14,10±1,84		
PM	27,84±2,63	14,45±0,50	12,47	2,41
PUM	29,68±2,46	14,59±0,74	17,87	3,32

Tabel 6. Hasil uji kekakuan kain kapas.

Sampel	Kekakuan (mg.cm)	Kenaikan Kekakuan (%)
Kontrol	98,00	
PM	105,42	7,31
PUM	132,10	25,69

Sifat tersebut didapatkan karena lapisan *binder* dan mikrokapsul yang terbentuk di permukaan kain menutupi celah-celah antar benang sehingga kain menjadi lebih kaku.^{6,31,32} Pengamatan kekakuan dilakukan pula menggunakan SEM dan hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Citra SEM: a) Kain PM perbesaran 1.800x; b) Kain PUM perbesaran 2.500x.

Evaluasi kekuatan tarik dan kekakuan kain kapas ini merupakan informasi baru dibandingkan penelitiannya Aracil et al. (2016) dan Monllor et al. (2010).

KESIMPULAN

Mikrokapsul yang digunakan berukuran partikel rata-rata 1,14 µm. Penggunaan *binder* berbasis poliakrilat dan poliuretan dapat mempertahankan mikrokapsul dipermukaan kain kapas hingga setara 10 kali pencucian rumah tangga, meningkatkan kekuatan tarik, dan kekakuan kain kapas. Kain kapas dengan *binder* berbasis poliuretan lebih kaku dan kekuatan tariknya lebih tinggi dari kain kapas dengan *binder* berbasis poliakrilat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini terlaksana dengan bantuan anggaran penelitian DIPA Balai Besar Tekstil tahun 2017.

PUSTAKA

- Bunsell, A. R. (2009). *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres 91st ed.* Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Faruk, O. & Sain, M. (2015). *Lignin in Polymer Composites.* Manchester: Elsevier Ltd.
- Marinkovic, S. S., Bezbradica, P., Skundric P. (2006). Microencapsulation in The Textile Industry. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 12, (1):58-62.
- Jyothi, S. S., Seethadevi, A., Suria, P. K., Muthuprasanna, P., Pavitra, P. (2012). Microencapsulation: A review. *International Journal of Pharma & Bio Sciences*, 3, (1): 509-531.
- Bansode, S. S., Banarjee, S. K., Gaikwad, D. D., Jadhav, S. L., Thorat, R. M. (2010). Microencapsulation : a Review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 1, (2):38-43.
- Son, K., Yoo, D. I., Shin, Y. (2014). Fixation of Vitamin E Microcapsules on Dyed Cotton Fabrics. *Chemical Engineering Journal*, 239:284-289.
- Cheng, S. Y. & Kan, C. W. (2008). Development of Cosmetic Textiles Using Microencapsulation Technology. *Research Journal of Textile and Apparel*, 12, (4):41-51.
- Javid, A., Raza, Z. A., Hussain, T., Rehman, A. (2014). Chitosan Microencapsulation of Various Essential Oils to Enhance The Functional Properties of Cotton Fabric. *Journal of Microencapsulation*, 31, (5):461-468.

9. Teixeira, C. R., Martins, I. D., Mata, V. G., Barreiro, M. F., Rodrigues, A. E. (2012). Characterization and Evaluation of Commercial Fragrance Microcapsules For Textile Application. *Journal of The Textile Institute*, 103, (3):269-282.
10. Hu, J., Xiao, Z., Zhou, R., Ma, S., Wang, M., Li, Z. (2011). Properties of Aroma Sustained-Release Cotton Fabric With Rose Fragrance Nanocapsule. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 19, (3):523-528.
11. Specos, M. M., Escobar, G., Marino, P., Puggia, C., Tesoriero, M., Hermida, L. (2010). Aroma Finishing of Cotton Fabrics By Means of Microencapsulation Techniques. *Journal of Industrial Textiles*, 40, (1): 13-32.
12. Kuru, A., Aksoy, S. A. (2014). Cellulose-PEG Grafts From Cotton Waste in Thermo-Regulating Textiles. *Textile Research Journal*, 84, (4):337-346.
13. Boh, B. & Knez, E. (2006). Microencapsulation of Essential Oils and Phase Change Materials for Applications in Textile Products. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 31, (1):72-82.
14. Ardanuy, M., Faccini, M., Amantia, D., Aubouy, L., Borja, G. (2014). Preparation of Durable Insecticide Cotton Fabrics Through Sol-Gel Treatment With Permethrin. *Surface & Coatings Technology*, 239:132-137.
15. Hebeish, A., El-Shafei, A., Sharaf, S., Zaghoul, S. (2014). In Situ Formation of Silver Nanoparticles For Multifunctional Cotton Containing Cyclodextrin. *Carbohydrate Polymers*, 103, (1):442-447.
16. Kozicki, M., Sałsiadek, E., Kołodziejczyk, M., Komasa, J., Adamus, A., Maniukiewicz, W., et al. (2013). Facile and Durable Antimicrobial Finishing of Cotton Textiles Using a Silver Salt and UV Light. *Carbohydrate Polymers*, 91, (1):115-127.
17. Aracil, M. Á. B., Bou-Belda, E., Monllor, P., Gisbert, J. (2016). Binder Effectiveness of Microcapsules Applied Onto Cotton Fabrics During Laundry. *Journal of The Textile Institute*, 107, (3):300-306.
18. Bonet, M. Á., Capablanca, L., Monllor, P., Díaz, P., Montava, I. (2012). Studying Bath Exhaustion As a Method to Apply Microcapsules on Fabrics. *Journal of The Textile Institute*, 103, (6):629-635.
19. Kut, D., Güneşoğlu, C., Orhan, M. (2010). Crease-Resistant Finish of Linen/Viscose Blend Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 83, (6):91-93.
20. Badulescu, R., Vivod, V., Jausovec, D., Voncina, B. (2008). Grafting of Ethylcellulose Microcapsules Onto Cotton Fibers. *Carbohydrate Polymers*, 71, (1):85-91.
21. Monllor, P., Capablanca, L., Gisbert, J., Díaz, P., Montava, I., Bonet, Á. (2010). Improvement of Microcapsule Adhesion to Fabrics. *Textiles Research Journal*, 80, (7):631-635.
22. Lam, P. L., Li, L., Yuen, C. W. M., Gambari, R., Wong, R., Chui, C., et al. (2013). Effects of Multiple Washing on Cotton Fabrics Containing Berberine Microcapsules With Anti-Staphylococcus Aureus Activity. *Journal of Microencapsulation*, 30, (2):143-150.
23. Wahyudi, T., Mulyawan, A. S., Sugiyana, D., Julaeha, E. (2017). Immobilization of Lime Oil (Citrus aurantifolia) Microcapsules on Cotton Fabric. *Arena Tekstil*, 32:103-110.
24. Brixland, N. (2016). *Light Stabilisation of Photochromic Prints*. Thesis of Master in Science. The Swedish School of Textiles.
25. Hwang, J., Kim, J., Wee, Y., Yun, J., Jang, H., Kim, S., et al. (2006). Preparation and Characterization of Melamine-Formaldehyde Resin Microcapsules Containing Fragrance Oil. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 11:332-336.
26. Koda, R., Watarai, N., Nakamoto, R., Shigehara, N., Ohta, T., Masuda, K. (2010). Observation of Aggregation Forming of Microcapsules Under Various Conditions of Ultrasound Emission. *Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics*, 31:387-388.
27. Stuart, B. H. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. New York: John Wiley & Sons, Ltd.
28. Fei, X., Zhao, H., Zhang, B., Cao, L., Yu, M., Zhou, J., et al. (2015). Microencapsulation Mechanism and Size Control of Fragrance Microcapsules With Melamine Resin Shell. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 469:300-306.
29. Farag, R. & Elmogahzy, Y. (2009). *Tensile Properties of Cotton Fibers*. Cambridge: Woodhead Publishing.
30. Hosseinali, F. (2012). *Investigation on The Tensile Properties of Individual Cotton (Gossypium hirsutum L.) Fibers*. Thesis Master of Science. Texas Tech. University.

31. Karolia, A. & Mendapara, S. (2007). Imparting Antimicrobial and Fragrance Finish on Cotton Using Chitosan With Silicon Softener. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 32, (1):99-104.
 32. Aamir, T. (2015). Effect of Fragrance Finish on Mechanical and Comfort Properties of Digitally Printed Fabric. *Tekstil ve Mühendis*, 22, (97):50-54.
-