

PENGEMBANGAN TEKSTIL UNTUK ATAP ANTI ULTRAVIOLET DENGAN APLIKASI NANOPARTIKEL ZnO MENGGUNAKAN MODIFIKASI METODE PADDING

DEVELOPMENT OF TEXTILE FOR ANTI ULTRAVIOLET ROOF THROUGH APPLICATION OF ZnO NANOPARTICLE USING THE MODIFIED PADDING METHOD

Doni Sugiyana, Wulan Septiani, Agus Surya Mulyawan, Tatang Wahyudi

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

Tanggal diterima: 10 Oktober 2018, direvisi: 14 Desember 2018, disetujui terbit: 17 Desember 2018

ABSTRAK

Pengembangan tekstil sebagai atap dengan ketahanan terhadap radiasi ultraviolet/UV dapat dilakukan dengan aplikasi nanopartikel ZnO sebagai absorber UV. Dalam studi ini telah dilakukan immobilisasi nanopartikel ZnO pada kain atap kapas dengan modifikasi metode *padding* dan evaluasi ketahanannya terhadap irradiasi ultraviolet. Metodologi penelitian meliputi preparasi suspensi nanopartikel ZnO dan proses *padding* menggunakan mesin *pad-dry-cure* dengan modifikasi pengulangan proses *padding-drying* hingga 2 kali pengulangan. Evaluasi dan pengujian dilakukan terhadap ketahanan perlekatan nanopartikel pada kain dan kekuatan tarik kain setelah irradiasi UV. Distribusi nanopartikel ZnO yang homogen pada permukaan kain tercapai dengan penggunaan konsentrasi PVA 10%. Evaluasi uji siram hujan menunjukkan bahwa kain yang dibuat dengan modifikasi metode memiliki daya tolak air lebih tinggi dibanding kain yang dibuat dengan metode konvensional, dan memiliki ketahanan perlekatan yang baik. Setelah irradiasi UV selama 5 jam, penurunan kekuatan tarik pada kain dengan metode termodifikasi masing-masing sebesar 1,3% dan 1,5% pada arah lusi dan pakan, lebih rendah dibandingkan kain dengan metode konvensional dengan penurunan masing-masing sebesar 1,6% dan 1,8% pada arah lusi dan pakan.

Kata kunci: binder, kain kapas, nanopartikel ZnO, stabilizer, ultraviolet.

ABSTRACT

Development of textile as a roof with durability against ultraviolet/UV radiation can be achieved through the application of ZnO nanoparticles as UV absorber. Immobilization of ZnO nanoparticles onto cotton roof fabric using modified pad-dry-cure method and evaluation of its durability under ultraviolet irradiation was carried out in this research. Research methods including preparation of ZnO nanoparticles suspension and padding process using pad-dry-cure machine with modification of padding-drying multiplied process cycle up to 2 cycles. Evaluation and testing have been done upon durability of nanoparticles attachment on fabric and tensile strength of fabric after UV irradiation. Homogenous ZnO nanoparticle distribution on fabric surface has been obtained by using PVA concentration of 10%. Rain shower test shows that the fabric treated with modified method has higher water rejection performance than that of fabric treated with conventional method, as well as has good durability of attachment. After 5 hrs of UV irradiation, reduction of tensile strength in fabric treated with modified method were found only 1.2% and 1.5% for warp and weft directions respectively, lower than that of fabric treated with conventional method with 1.4% and 1.7% of respective reduction in warp and weft directions.

Keywords: binder, cotton fabric, ZnO nanoparticle, stabilizer, ultraviolet.

PENDAHULUAN

Kemajuan dalam teknologi material maju saat ini meningkat secara intensif dalam berbagai bidang aplikasi termasuk tekstil, sehingga memungkinkan pengembangan tekstil fungsional sebagai aspek lain dari tekstil konvensional sandang. Salah satu jenis tekstil fungsional yang saat ini banyak dikembangkan diantaranya adalah tekstil anti ultraviolet (UV). Radiasi sinar UV dapat

menyebabkan berbagai efek negatif berupa kerusakan/dekomposisi pada material dan kesehatan kulit manusia, apabila tidak dilindungi.¹ Peningkatan efek rumah kaca dan fenomena penipisan lapisan ozon yang semakin intensif menyebabkan jumlah total radiasi UV yang mencapai permukaan bumi meningkat tahun demi tahun.^{2,3} Proteksi kesehatan dan material terhadap efek negatif UV merupakan topik penelitian yang

sangat potensial karena dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti medis, otomotif, konstruksi sipil/arsitektur, *comfort fashion* dan sebagainya.

Salah satu aplikasi tekstil fungsional untuk proteksi terhadap UV adalah atap anti-UV. Bahan tekstil dapat bekerja dengan baik dalam fungsi proteksi UV karena mengandung bahan aktif dengan karakteristik daya serap (absorpsi) UV yang optimum dengan metode immobilisasi yang sesuai pada permukaan tekstil. Absorber UV dapat berupa senyawa organik atau anorganik tak berwarna dengan daya absorpsi yang kuat pada rentang panjang gelombang UV 290 – 360 nm.⁴ TiO₂ dan ZnO adalah beberapa absorber anorganik yang paling banyak digunakan dalam studi proteksi radiasi UV.^{5,6} Immobilisasi absorber UV pada berbagai jenis kain dalam penelitian sebelumnya telah berhasil dilakukan dengan mengaplikasikan beberapa metode antara lain: *spinning*, *coating*, *padding* dan sebagainya.^{7,8,9} Pemilihan senyawa ZnO disebabkan oleh karakteristik spektrum absorpsi UV yang lebar, sementara tipikal absorber UV anorganik lain memiliki puncak absorpsi hanya pada panjang gelombang tertentu.^{10,11,12} Dalam penggunaan jangka panjang ZnO memberikan beberapa keuntungan lain yaitu karakteristik antifungal dan antistatik, sehingga memungkinkan proteksi lebih baik pada material kain.^{13,14}

Pengembangan kain atap anti-UV telah dilakukan pada studi penulis sebelumnya,^{15,16} namun masih memerlukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan kemampuan proteksi anti-UV dan durabilitas dalam aplikasinya. Penggunaan nanopartikel ZnO sebagai absorber UV merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan sifat proteksi UV disamping penggunaan material partikel konvensional. Penggunaan metode *padding* dengan proses *pad-dry-cure* yang dimodifikasi diperkirakan akan dapat meningkatkan efektivitas nanopartikel ZnO sebagai absorber UV apabila diimmobilisasikan pada kain kanvas kapas. Dalam penelitian ini dipelajari immobilisasi nanopartikel ZnO pada kain kapas untuk aplikasi atap anti ultraviolet dengan modifikasi metode *padding*.

METODE

Bahan dan peralatan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: kain tenun kanvas bahan katun gramasi 300 gr/m² yang telah diproses *dyeing-finishing* (Kanvas Mulia), kanji *polyvinyl alcohol*/PVA teknis (Brataco), nanopartikel ZnO (Nanocenter Serpong), binder poliakrilat Ruco-coat ACR 660-N (Rudolph), resin akrilat (Yukalac) dan air demineralisasi (Brataco). Peralatan yang digunakan antara lain: mesin *pad-dry-cure* (Werner Mathis AG), magnetic stirrer, sonikator, oven, buret tetes.

Preparasi suspensi nanopartikel ZnO dengan variasi konsentrasi binder

Nanopartikel ZnO disuspensikan menjadi larutan dengan menambahkan binder poliakrilat dan PVA sebagai *stabilizing agent*. Preparasi dilakukan mengikuti metode yang telah dilakukan penulis dalam studi sebelumnya.¹⁵ Pembuatan larutan suspensi nanopartikel ZnO untuk proses *pad-dry-cure* kain kapas dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi PVA dengan komposisi: ZnO 1%, akrilat 5%, dan PVA (5% dan 10%). Pembuatan larutan diawali dengan memanaskan 500 mL air demineralisasi dalam 2 buah gelas beker 1000 mL, lalu tambahkan masing-masing 50 dan 100 gram PVA dalam kondisi pengadukan cepat. Setelah larut, kemudian didinginkan hingga mencapai temperatur ruangan. Dalam tiap gelas beker tambahkan 10 g ZnO dan 50 mL akrilat sambil diaduk cepat selama 15 menit. Air demineralisasi ditambahkan ke dalam tiap gelas beker hingga volume akhir 1 L.

Proses *pad-dry-cure*

Immobilisasi nanopartikel ZnO cara *padding* pada kain kapas dilakukan melalui proses *pad-dry-cure* dengan bantuan zat pengikat (*binder*). Percobaan *padding* kain kanvas dengan metode *pad-dry-cure* menggunakan konsentrasi binder akrilat 5%, yang merupakan nilai optimum yang diperoleh pada studi sebelumnya.¹⁵ Percobaan dilakukan dengan variasi konsentrasi PVA dengan komposisi: ZnO 1%, akrilat 5 % dan PVA 5% dan 10%.

Tahap awal proses *pad-dry-cure* dimulai dengan menyiapkan kain kanvas dengan ukuran 40 cm x 32 cm. Kain dicuci terlebih dahulu menggunakan sabun non-ionik kemudian dikeringkan. Selanjutnya kain dipadding sebanyak 3 kali pada larutan suspensi nanopartikel dan diperas hingga wpu (*wet pick-up*) 80%. Kain yang telah dipadding dikeringkan pada 110°C selama 5 menit. Proses *padding-drying* diulangi sebanyak 3 kali dengan mengembalikan sampel kain setelah *drying* pada tahapan awal *padding* hingga 3 kali pengulangan. Sampel kain dengan variasi pengulangan *padding-drying* kemudian *dicuring* pada temperatur 150°C selama 3 menit. Kain yang telah ditreatment selanjutnya dibiarkan pada temperatur ruang. Kain yang telah *dicuring* dicuci ultrasonik selama 10 menit untuk melepaskan nano ZnO yang tidak menempel pada kain.

Pengujian dan karakterisasi

Evaluasi karakteristik dan morfologi kain tenun kanvas anti UV menggunakan instrumen *scanning electron microscopy*/SEM (JEOL, JSM 6510, Japan). Perubahan sifat kain akibat pengaruh hujan dievaluasi dengan uji siram air hujan Bundesmann, mengikuti standard SNI ISO

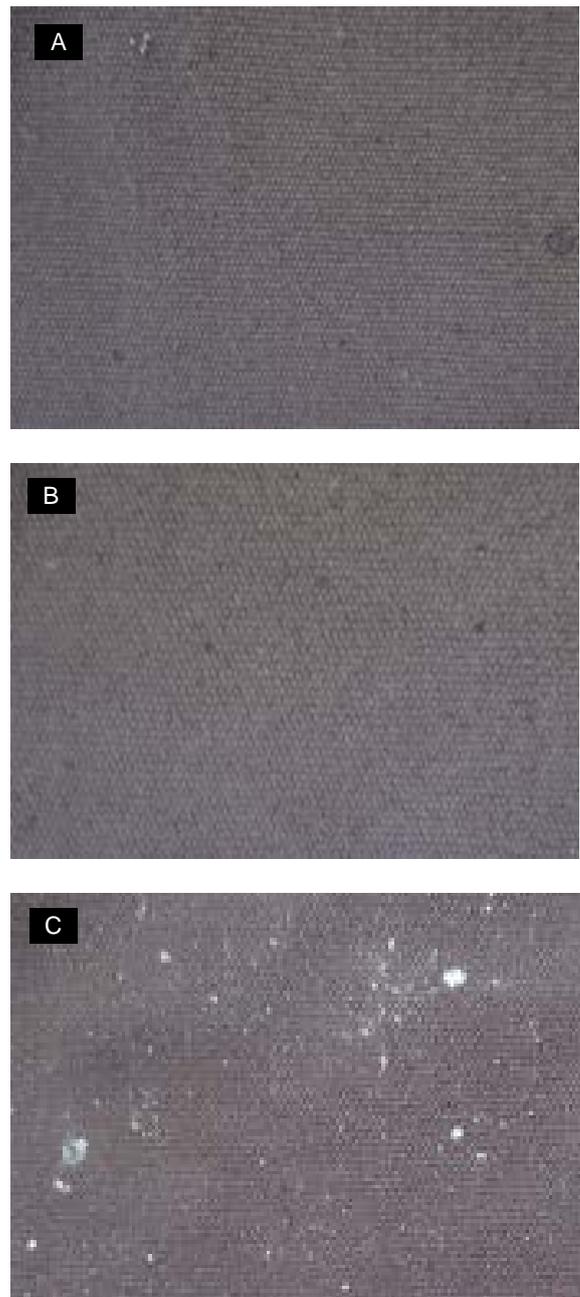
9865:2013. Pengaruh radiasi UV terhadap kualitas kain dievaluasi dengan pemaparan sinar UV menggunakan fotoreaktor berpenutup yang dilengkapi lampu UV-C 3 x 15 watt (Vilbert Lourmat) dengan panjang gelombang 254 nm. Perubahan kualitas kain dievaluasi melalui pengujian kekuatan tarik dan mulur (standar SNI 0276:2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh variasi konsentrasi PVA

Distribusi absorber UV nanopartikel ZnO pada permukaan kain diperlihatkan pada Gambar 1. Kain atap yang digunakan adalah kain yang telah diwarnai agar distribusi nanopartikel dapat terlihat dengan jelas. Berdasarkan hasil penelitian penulis sebelumnya, distribusi nanopartikel sangat dipengaruhi oleh konsentrasi stabilizer.¹⁵ Imobilisasi nanopartikel ZnO pada kain dilakukan dengan menggunakan konsentrasi stabilizer PVA 5% dan 10%. Hasil imobilisasi nanopartikel pada kain dievaluasi dan diperbandingkan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pada penggunaan konsentrasi stabilizer larutan PVA 5% terlihat adanya aglomerasi nanopartikel ZnO pada permukaan kain, sedangkan peningkatan konsentrasi PVA 10% terlihat nanopartikel dapat terdistribusi merata pada permukaan kain. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya, dimana pada penggunaan PVA 5% larutan nanopartikel belum stabil (terjadi pengendapan), sedangkan pada penggunaan PVA 10% larutan nanopartikel lebih stabil.

Nanopartikel ZnO komersial pada umumnya disebutkan bermasalah pada aglomerasi yang dapat menyebabkan kesulitan dispersi uniform nanopartikel pada media finishing dan penurunan durabilitas.^{1,17} Namun demikian, nanopartikel memiliki berbagai keuntungan seperti luas permukaan spesifik yang besar, sifat absorpsi radiasi UV, aktivitas permukaan yang besar, dan performa transfer panas yang baik.¹⁸ Dengan kelebihan tersebut nanopartikel anorganik dapat menunjukkan sifat proteksi UV yang lebih baik dari mikropartikel. Upaya stabilisasi suspensi dan metode imobilisasi dengan modifikasi proses *padding* yang dilakukan pada penelitian ini merupakan upaya untuk mengurangi kemungkinan aglomerasi nanopartikel pada permukaan kain.



Gambar 1. Kain terimmobilisasi nanopartikel ZnO dengan variasi konsentrasi PVA: a) Kain tanpa nanopartikel; b) Kain dengan PVA 5%; c) Kain dengan PVA 10%. (ZnO 1%, binder 5%).



Gambar 2. Kain terimmobilisasi nanopartikel ZnO dengan variasi proses *padding-drying*: a) Kain tanpa nanopartikel ZnO; b) *Padding-drying* 1 kali; c) *Padding-drying* 2x; d) *Padding-drying* 3x (ZnO 1%, binder 5%, PVA 10%).

Variasi pengulangan proses *padding-drying*

Dalam penelitian ini dievaluasi pengaruh variasi pengulangan proses *padding-drying* (hingga 3 kali) terhadap karakteristik distribusi nanopartikel pada permukaan kain. Hasil pengambilan foto sampel kain sebelum dan setelah terimmobilisasi nanopartikel ZnO diperlihatkan pada Gambar 2. Dari hasil pengamatan visual terlihat bahwa pada aplikasi nanopartikel ZnO dengan proses *padding-drying* 1 dan 2 kali, nanopartikel masih terdistribusi merata pada kain tanpa adanya aglomerasi. Pada proses *padding-drying* 3 kali tampak terjadi aglomerasi nanopartikel ZnO pada kain.

Citra SEM kain terimmobilisasi nanopartikel ZnO (Gambar 3) memperlihatkan perlekatan nanopartikel yang lebih rapat dengan penambahan variasi pengulangan proses *padding-drying*. Proses *padding-drying* hingga 2 kali memperlihatkan perlekatan binder yang lebih tebal pada permukaan kain yang bersifat memerangkap nanopartikel disekitarnya. Pada konsentrasi binder yang lebih tinggi, nanopartikel terperangkap dalam senyawa binder yang berikatan dengan serat kain. Hal ini memungkinkan terjadinya perlekatan nanopartikel

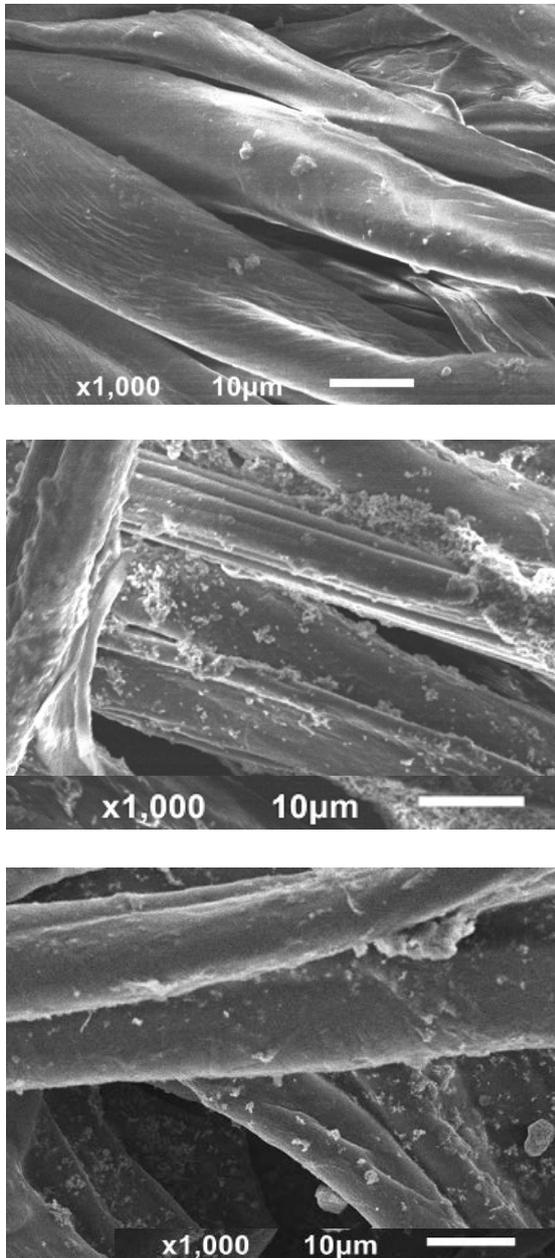
yang kuat pada matriks kain yang akan dievaluasi lebih lanjut melalui uji siram hujan.

Hasil uji XRD sampel kain tanpa nanopartikel ZnO dan sesudah immobilisasi ZnO (*padding-drying* 2 kali) diperlihatkan pada Gambar 4. Grafik uji XRD dari sampel kain setelah proses *padding-drying* 2 kali menunjukkan adanya puncak pada 2.82631; 2.61468; 2.48530; 1.91518; 1.62842; 1.48077; 1.40925; 1.38312; 1.36123Å. Berdasarkan tabel referensi puncak yang muncul teridentifikasi sebagai oksida ZnO, sedangkan puncak yang sama yang tidak ditemukan pada sampel kain tanpa nanopartikel ZnO. Hasil uji XRD mengkonfirmasi keberadaan senyawa ZnO pada kain sebagai hasil dari proses immobilisasi dengan metode padding.

Evaluasi immobilisasi nanopartikel pada kain

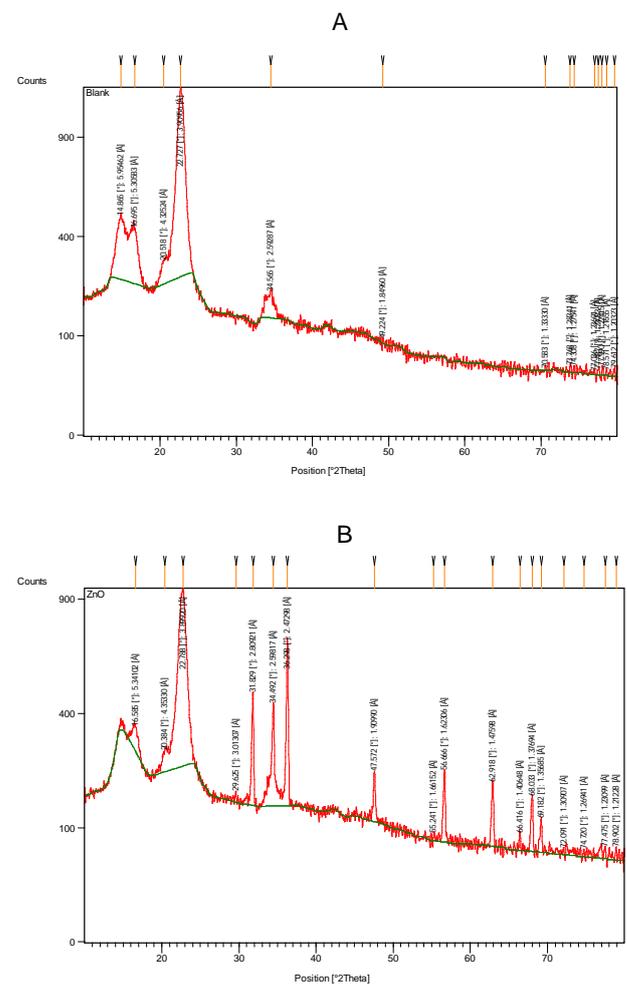
Kain yang telah terimmobilisasi nanopartikel ZnO kemudian diuji untuk mengetahui ketahanannya (*durability*) terhadap pengaruh air hujan melalui uji siram air hujan dengan metode Bundesmann dengan durasi siram selama 60 menit, kemudian dievaluasi melalui pengambilan citra SEM dan hasil uji XRD. Citra SEM pada Gambar 5 memperlihatkan permukaan kain yang telah melalui

proses *padding* termodifikasi, sebelum dan setelah uji siram hujan selama 60 menit. Setelah uji siram hujan, nanopartikel masih terlihat melekat dengan baik yang dikonfirmasi lebih lanjut oleh uji XRD (Gambar 6) yang memperlihatkan keberadaan oksida ZnO setelah uji siram hujan 60 menit.



Gambar 3. Citra SEM kain terimmobilisasi nanopartikel ZnO dengan variasi pengulangan proses *padding-drying*: a) kain tanpa nanopartikel ZnO; b) *Padding-drying* 1x; c) *Padding-drying* 2x (Perbesaran 1000x)

Perlekatan nanopartikel pada permukaan kain sangat dipengaruhi kinerja binder sebagai senyawa yang mengikat nanopartikel ZnO pada permukaan kain. Peningkatan konsentrasi binder yang disebabkan pengulangan proses *padding-drying* merupakan faktor yang mempengaruhi perlekatan nanopartikel pada permukaan kain. Konsentrasi binder lebih tinggi memungkinkan terbentuknya ikatan nanopartikel dengan matriks kain yang lebih kuat sehingga dapat bertahan terhadap uji siram hujan.



Gambar 4. Hasil uji XRD: a) kain tanpa nanopartikel ZnO; b) kain terimmobilisasi nanopartikel ZnO.

Tabel 1. Hasil uji daya tolak air melalui uji siram air hujan dengan variasi pengulangan *padding-drying* dan penambahan laminasi resin

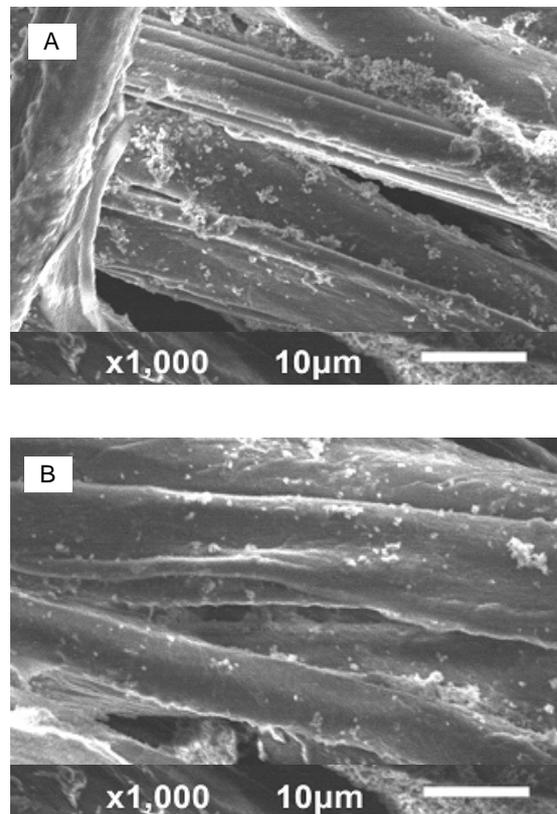
No	Sampel kain	Perembesan (mL)	Penyerapan (%)	Grade daya tolak air	Tekanan hidrostatik (cmH ₂ O/menit)
1	Kain tanpa ZnO	156	93,04	1	15,5
2	pd-1x	10	50,19	1	28,1
3	pd-2x	8	42,74	1	32,5
4	pd-3x	5	37,23	1	35,2
5	pd-3x laminasi resin	0	3,08	5	172,1

Keterangan:

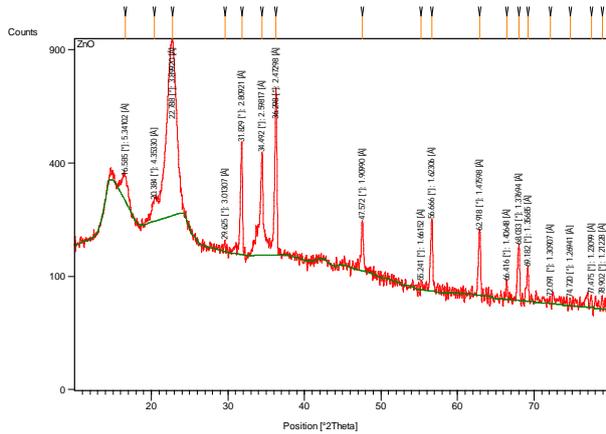
- pd-1x: sampel kain dengan *padding-drying* 1 kali (tanpa modifikasi).
- pd-2x: sampel kain dengan *padding-drying* 2 kali (dengan modifikasi).
- pd-3x: sampel kain dengan *padding-drying* 3 kali (dengan modifikasi).
- Grade daya tolak air 1: seluruh permukaan kain basah; grade 5: tetesan kecil dengan cepat hilang.

Hasil uji siram air hujan (Tabel 1) juga memperlihatkan bahwa kemampuan daya tolak air meningkat seiring dengan modifikasi proses *padding*. Dengan bertambahnya pengulangan proses *padding-drying* maka konsentrasi binder semakin tinggi yang menyebabkan daya tolak kain terhadap air hujan dan kemampuan menahan tekanan hidrostatik semakin meningkat. Keberadaan binder memungkinkan perlekatan nanopartikel pada permukaan kain menjadi baik. Binder memungkinkan terbentuknya ikatan nanopartikel dengan matriks kain sehingga dapat bertahan terhadap uji siram hujan.

Peningkatan proses *padding-drying* hingga 3 kali dapat menurunkan tingkat perembesan dan penyerapan air pada kain. Namun demikian, belum dapat mencapai grade daya tolak air 2 hingga 5 (*water repellent*), dengan penambahan laminasi resin akrilat daya tolak air mencapai grade 5 dan tekanan hidrostatik mencapai 172,1 dan 195,8 cmH₂O/menit. Dalam penelitian ini, percobaan penambahan konsentrasi binder bertujuan untuk melihat pengaruhnya terhadap immobilisasi nanopartikel ZnO pada permukaan kain. Citra SEM pada Gambar 5 memperlihatkan perubahan permukaan kain terimmobilisasi ZnO dengan variasi pengulangan proses *padding-drying*, sebelum dan setelah uji siram hujan selama 10 menit dan 60 menit. Pada proses *padding-drying* 3 kali terlihat adanya lapisan yang mengikat nanopartikel sehingga dapat bertahan setelah uji siram hujan selama 60 menit.



Gambar 5. Citra SEM kain terimmobilisasi nanopartikel ZnO dengan pengulangan *padding-drying* 2x: a) Sebelum uji siram hujan; b) Uji siram hujan 60 menit. (Perbesaran 1000x)



Gambar 6. Hasil uji XRD sampel kain setelah uji siram hujan selama 60 menit.

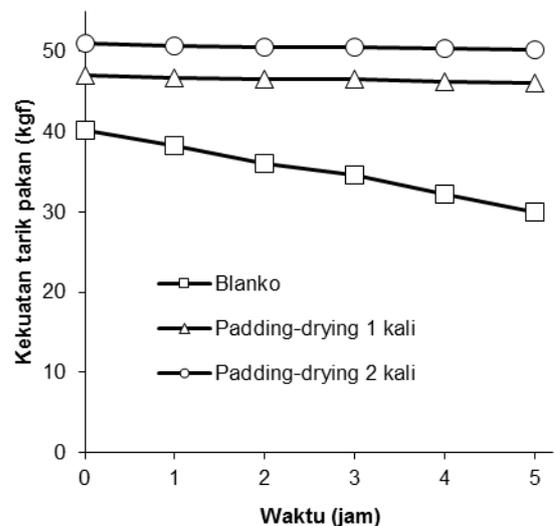
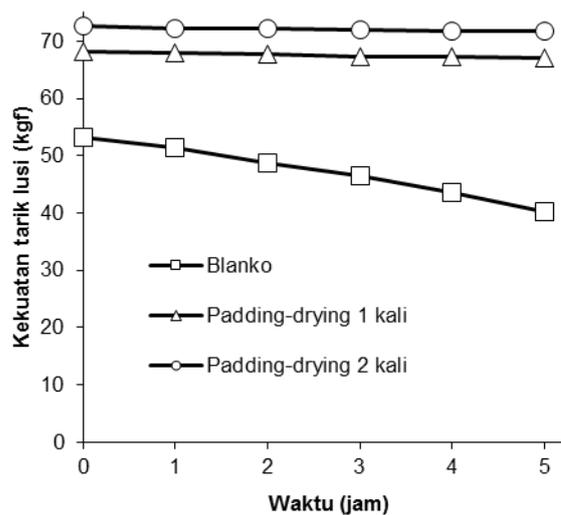
Evaluasi performa kain terhadap pengaruh sinar UV

Evaluasi respon kain kanvas yang telah mendapat perlakuan modifikasi metode *padding* dengan proses *padding-drying* 1 dan 2 kali terhadap pengaruh radiasi UV dilakukan melalui paparan radiasi sinar UV selama 5 jam dengan dibandingkan dengan sampel kain tanpa nanopartikel ZnO. Pengujian kekuatan tarik kemudian dilakukan pada seluruh sampel kain yang telah melalui paparan UV. Hasil uji kekuatan tarik pada ketiga sampel kain ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan hasil uji kekuatan tarik dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kekuatan tarik sampel kain kanvas seiring peningkatan waktu radiasi UV. Pada blanko terjadi penurunan kekuatan tarik masing-masing sebesar 24,4% dan 25,2% pada arah lusi dan pakan setelah paparan radiasi UV selama 5 jam. Sampel kain dengan tanpa modifikasi proses *padding* mengalami penurunan kekuatan tarik yaitu masing-masing sebesar 1,6% dan 1,8% pada arah lusi dan pakan. Sedangkan sampel kain dengan pengulangan proses *padding-drying* 2 kali mengalami penurunan kekuatan tarik lebih rendah yaitu masing-masing sebesar 1,3% dan 1,5% pada arah lusi dan pakan.

Hasil uji kekuatan tarik dan mulur pada sampel kain kanvas seiring peningkatan waktu radiasi UV mengindikasikan bahwa modifikasi proses *padding* berperan dalam meningkatkan konsentrasi nanopartikel ZnO sebagai agen anti UV berpengaruh signifikan pada kemampuan material kain dalam mempertahankan struktur serat lusi dan pakan dari kerusakan akibat degradasi UV. Degradasi pada struktur serat pada bahan tekstil yang disebabkan oleh eksitasi dari beberapa bagian dari molekul polimer setelah mengalami paparan radiasi UV. Nanopartikel ZnO berperan sebagai absorber UV dengan kemampuannya dalam

menghilangkan intensitas UV dan mengatenuasi serta menyebarkan sinar UV.¹⁹ Penghilangan intensitas radiasi UV terjadi melalui konversi energi cahaya menjadi bentuk lain seperti panas melalui proses eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Atenuasi radiasi UV dapat terjadi melalui absorpsi *band gap* dan penyebaran (*scattering*) sinar UV.²⁰

Modifikasi proses *padding* dalam penelitian ini juga berpotensi menurunkan porositas optik dan rasio volume permukaan yang tinggi dari kain kapas melalui peningkatan konsentrasi binder. Penurunan porositas optik dan rasio permukaan menghambat penetrasi radiasi UV pada kain, sehingga meningkatkan kemampuan kain untuk menyediakan proteksi terhadap radiasi UV.¹ Penetrasi radiasi UV pada kain kapas menyebabkan fotooksidasi yang akan mengurangi elastisitas dan kekuatan tarik kain seiring peningkatan derajat kristalinitas.



Gambar 6. Grafik uji kekuatan tarik kain: a) arah lusi; b) arah pakan.

Salah satu kendala aplikasi absorber UV anorganik adalah terjadinya aglomerasi sehingga mengurangi efektivitasnya. Kelebihan dari penggunaan nanopartikel ZnO turut berperan dalam menghindari aglomerasi sehingga memungkinkan adanya modifikasi melalui pengulangan proses dalam penelitian ini. Nanopartikel ZnO memiliki karakteristik distribusi ukuran partikel yang lebih sempit (20-40 nm) dan agregasi minimal dibandingkan oksida lainnya, sehingga memungkinkan distribusi uniform yang lebih baik.¹⁷

KESIMPULAN

Distribusi nanopartikel ZnO yang homogen pada permukaan kain tercapai dengan penggunaan konsentrasi PVA 10%, konsentrasi PVA lebih rendah menimbulkan aglomerasi partikel. Pengulangan proses *padding-drying* efektif dalam menambah konsentrasi nanopartikel ZnO dan binder pada permukaan kain, namun pengulangan hingga 3 kali menimbulkan aglomerasi partikel. Evaluasi uji siram hujan menunjukkan perlekatan absorber UV pada kain cukup baik dengan penggunaan konsentrasi binder 5% dan pengulangan proses *padding-drying* hingga 2 kali. Peningkatan daya tolak air hingga grade 5 dan tekanan hidrostatis dapat tercapai melalui proses laminasi resin. Setelah iradiasi UV selama 5 jam, kain dengan modifikasi pengulangan proses *padding-drying* 2 kali memperlihatkan penurunan kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan kain tanpa nanopartikel ZnO dan kain tanpa modifikasi metode *padding*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini terlaksana dengan bantuan anggaran penelitian DIPA Balai Besar Tekstil tahun 2016.

PUSTAKA

1. Kim, Y.K. *Ultraviolet protection finishes for textiles. Functional finishes for textile. 1st ed.* Elsevier (2015).
2. WHO, *Solar ultraviolet radiation: global burden of disease from solar ultraviolet radiation*, Environmental burden of disease series **13** (2006).
3. Dutra, E.A., Oliveira, D.A., Hackmann, E.R., & Santoro, M.I. Determination of sun protection factor (SPF) of sunscreens by ultraviolet spectrophotometry. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* **40** (3), 381 – 385 (2004).
4. Selishchev, D.S., Karaseva, I.P., Uvaev, V.V. Kozlov, D.V., & Parmon, V.N. Effect of

preparation method of functionalized textile materials on their photocatalytic activity and stability under UV irradiation. *Chemical Engineering Journal* **224**, 114–120 (2013).

5. Zayat, M., Garcia-Parejo, P. & Levy, D. Preventing UV-light damage on light sensitive materials using a highly protective UV-absorbing coating, *Chemical Society Reviews* **36**, 1270 – 1281 (2007).
6. Lu, Z., Mao, C., Meng, M., Liu, S., Tian, Y., Yu, L., et al. Fabrication of CeO₂ Nanoparticle-modified Silk for UV Protection and Antibacterial Applications. *Journal Colloid Interface Science* **435**, 8-14 (2014).
7. Li, H., Deng H. & Zhao, J. Performance research of polyester fabric treated by nano titanium dioxide (nano-TiO₂) anti-ultraviolet finishing. *International Journal of Chemistry* **1**(1), 57 – 62 (2009).
8. Dastjerdi, R., Montazera, M., & Shahsavan, S. A novel technique for producing durable multifunctional textiles using nanocomposite coating. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **81**, 32–41 (2010).
9. Ibrahim, N.A., El-Zairy, E.M.R., Abdalla, W.A., & Khalil, H.M. Combined UV-protecting and reactive printing of Cellulosic/wool blends, *Carbohydrate Polymers* **92**, 1386– 1394 (2013).
10. Scalia, S., Tursilli, R., Bianchi, A., Lo-Nostro, P., Bocci, E., Ridi, F., et al. Incorporation of the sunscreen agent, octyl methocycinnamate in a cellulosic fabric grafted with b-cyclodextrin. *International Journal of Pharmaceutics* **308**, 155–159 (2006).
11. Mahltig, B., Böttcher, H., Rauch, K., Dieckmann, U., Nitsche, R. & Fritz, T. Optimized UV protecting coatings by combination of organic and inorganic UV absorbers, *Thin Solid Films* **485** (1-2), 108-114 (2005).
12. Innes, B., Tsuzuki, T., Dawkins, H., Dunlop, J., Trotter, G., Nearn, M.R., et al. Nanotechnology and the cosmetic chemist. *Cosmetics, aerosols and toiletries in Australia*, **15** (10-12), 21-24. (2002).
13. Sawaji, J. & Yoshikawa, T. Quantitative evaluation of antifungal activity of metallic oxide powders (MgO, CaO and ZnO) by an indirect conductimetric assay. *Journal of Applied Microbiology* **96** (4), 803-809 (2004).
14. Yadollahia, Gholamalia, I., Namazia, H., Aghazadeh, M. Synthesis and characterization

- of antibacterial carboxymethylcellulose/ZnO nanocomposite hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules* **74**, 136–141 (2015).
15. Sugiyana, D., Septiani, W. Mulyawan, A.S., & Wahyudi, T., Immobilisasi nanopartikel ZnO pada kain atap kapas dan evaluasi ketahanannya terhadap ultraviolet. *Arena Tekstil* **32** (1), 25-34 (2017).
 16. Sugiyana, D., Septiani, W., Mulyawan, A.S., Wahyudi, T., Sintesis nanopartikel ZnO dan immobilisasinya pada kain kapas sebagai absorber ultraviolet, *Arena Tekstil* **32**(2): 59-66 (2017).
 17. Tsuzuki, T. & Wang, X. *Nanoparticle coatings for UV protective textiles*, RJTA, **14** (2), 9 – 21 (2010).
 18. Fakin, D., Veronovski, N., Ojstrsek, A., Bozic, M. Synthesis of TiO₂-SiO₂ colloid and its performance in reactive dyeing of cotton fabrics. *Carbohydrate Polymers* **88**, 992– 1001. (2012).
 19. Saravanan, D. Ultraviolet protection textile materials. *AUTEX Research Journal* **7** (1), 53 – 62 (2007).
 20. Kasap, S.O. *Electronic materials and Devices (3rd ed.)*, McGraw-Hill New York (2006).
-

