

STUDI PEMBUATAN FILAMEN ANTIULTRAVIOLET DARI POLIMER POLIPROPILENA DAN NANOPARTIKEL SENG OKSIDA DENGAN METODE PEMINTALAN LELEH

MANUFACTURE OF ANTI-ULTRAVIOLET FILAMENT FROM POLYPROPYLENE AND ZINC OXIDE NANOPARTICLES USING MELT SPINNING METHOD

Herman Fitrianto¹, Ida Nuramdhani¹, Doni Sugiyana²

¹Politeknik STTT Bandung, Jalan Jakarta No. 31 Bandung
e-mail: herman_f@kemenperin.go.id; ida.nuramdhani@stttekstil.ac.id

²Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung
e-mail: dsugiyana79@yahoo.com

Tanggal diterima: 1 Agustus 2022, direvisi: 10 November 2022, disetujui terbit: 15 Desember 2022

ABSTRAK

Peningkatan kemampuan kain sintetik untuk memproteksi efek negatif radiasi ultraviolet (UV) dapat diperoleh dengan proses penyempurnaan menggunakan nanopartikel seng oksida (ZnO). Teknologi konvensional yang menggunakan modifikasi permukaan dengan penyempurnaan basah ataupun teknologi plasma sebagian besar memiliki kekurangan, terutama dalam hal durabilitas sifat fungsional. Salah satu metode yang dapat diaplikasikan untuk meningkatkan *durability* sifat fungsional kain adalah melalui pembuatan filamen dengan metode pemintalan leleh. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan filamen yang memiliki sifat antiUV dan *durability* yang lebih baik daripada proses *pad-dry-cure* (rendam peras-pengeringan-pemanasawetan). Pembuatan filamen fungsional anti ultraviolet diawali dengan pembuatan campuran nanopartikel seng oksida dan *chip* polipropilena dengan variasi konsentrasi nanopartikel ZnO sebelum diproses pada mesin pemintalan leleh skala laboratorium. Metode pencampuran *chip* polipropilena dan nanopartikel ZnO yang digunakan adalah bikomponen dengan penampang filamen *core and sheath*. Evaluasi dan karakterisasi dilakukan terhadap morfologi filamen, nomor benang, dan kekuatan tarik benang serta performa antiUV melalui pengukuran *ultraviolet protection factor* (UPF). Hasil penelitian pada filamen dengan konsentrasi nanopartikel ZnO mulai dari 0 - 1% menunjukkan peningkatan nilai UPF mulai dari 87-241% dan penurunan kekuatan tarik benang mulai dari 7,4-15,4%. Performa terbaik didapatkan pada filamen dengan konsentrasi nanopartikel ZnO 0,75% yang memiliki hasil UPF kain sebesar 8,2, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kain hasil penyempurnaan menggunakan proses *pad-dry-cure* yang hanya memiliki nilai 3,9.

Kata kunci: antiUV, penyempurnaan, polipropilena, seng oksida, pemintalan leleh

ABSTRACT

An increase in the ability of synthetic fabrics to protect against the negative effects of ultraviolet (UV) radiation can be obtained by finishing process using zinc oxide (ZnO) nanoparticles. Most of conventional technologies that use surface modification with wet finishing or plasma technology still showed drawback, especially in the durability of the functional properties. Manufacturing filament via melt-spinning method of important significance because it promises more durable functional properties of the resulting material. The purpose of the study was to obtain a filament that has better anti-UV and durability properties than the pad-dry-cure process. The fiber making process was initiated by preparation of a mixture of ZnO nanoparticles and polypropylene chips with a certain concentration of ZnO nanoparticles prior to melt-spinning process. The method of mixing polypropylene chips and ZnO nanoparticles used is bicomponent with a core and sheath filament cross section. Evaluation and characterization included the filament's morphology, yarn count, tensile strength, as well as anti-UV performance by measuring the ultraviolet protection factor (UPF). The result of research on filament with concentrations of ZnO nanoparticles ranging from 0-1% showed an increase in UPF value ranging from 87-241% and a decrease in yarn tensile strength ranging from 7,4-15,4%. The best performance was found in the filament with a concentration of 0,75% ZnO nanoparticles which the UPF of fabric was 8,2, much higher than the fabric finished using pad-dry-cure process which was only 3,9.

Keyword: anti-UV, finishing, polypropylene, zinc oxide, melt-spinning

PENDAHULUAN

Radiasi sinar ultraviolet (UV) dapat menyebabkan berbagai efek negatif pada material maupun kesehatan kulit manusia jika tidak dilindungi dengan benar.¹ Selain itu, efek rumah kaca dan fenomena penipisan lapisan ozon yang terus meningkat, menyebabkan total radiasi UV yang mencapai permukaan bumi terus bertambah.^{2,3} Pengembangan pakaian fungsional menjadi topik riset yang menarik dan diminati oleh peneliti dan pelaku industri. Tekstil fungsional memiliki performa lebih dari sekedar pakaian konvensional, tetapi juga memiliki fungsi lain, seperti antimikroba,⁴ anti-air,⁵ tahan api,⁶ dan anti-UV.^{7,8,9}

Kemampuan material tekstil dalam memberikan fungsi proteksi UV di antaranya dipengaruhi oleh sifat daya serap (absorpsi) UV oleh bahan aktif yang diimobilisasikan pada material tekstil. Nanopartikel seng oksida (ZnO) adalah salah satu jenis absorber anorganik dengan fungsi tinggi dan beberapa sifat unik, termasuk kemampuan menghamburkan cahaya (*scattering*), piezoelektrik, mobilitas, fluoresensi dan daya absorpsi yang kuat pada rentang panjang gelombang UV 290 – 360 nm.¹⁰ Imobilisasi ZnO pada berbagai jenis kain dapat dilakukan dengan mengaplikasikan beberapa metode antara lain: *wet-spinning*, *melt-spinning*, *coating*, *padding*, dan sebagainya.^{11,12,13}

Pemilihan polimer polipropilena (PP) di antara polimer lainnya adalah karena PP merupakan salah satu matriks komposit yang paling banyak digunakan karena biaya produksinya yang rendah, fleksibilitas desain, densitas rendah, dan dapat didaur ulang.¹⁴ Benang PP yang sudah ditambahkan nanopartikel ZnO nantinya dapat diaplikasikan untuk *home furnishing* seperti gorden, kain tenda anti-UV, dan lain-lain.

Penyempurnaan fungsional anti-UV pada kain kapas dan poliester dengan metode impregnasi ZnO melalui proses *pad-dry-cure* terbukti mampu meningkatkan kemampuan kain dalam memproteksi radiasi UV dengan peningkatan nilai UPF (*Ultraviolet Protection Factor*).^{8,9} Dari literatur yang ada, imobilisasi nanopartikel seng oksida pada polimer polipropilena melalui metode pemintalan leleh belum banyak dilaporkan. Di sisi lain, kombinasi tersebut memiliki keunggulan kinerja yang jauh lebih baik pada ketahanan fotodegradasi, indeks karbonil yang lebih rendah dan penurunan kristalinitas yang lebih sedikit, sehingga dapat memperlambat pemutusan rantai PP dan mencegah hilangnya sifat mekanik dalam membatasi mobilitas rantai polimer secara fisik. Selain itu, dengan mengintegrasikan ZnO sebagai bahan fungsional ke dalam matriks polimer dalam proses pemintalan diharapkan dapat meningkatkan *durability* dan kestabilan distribusi nanopartikel ZnO di dalam filamen yang dihasilkan. Hal ini

menjadi salah satu aspek signifikan yang ingin diperoleh dalam penelitian ini.

METODE

Bahan

Nanopartikel ZnO (merek XFNANO Material), *chip* polipropilena (merek ExxonMobil), kanji polivinil alkohol/PVA *grade* teknis (merek Brataco), zat pembasah teepol (merek Brataco), *binding agent* (Ruco Capsule BCR-ID), dan akuades (merek Brataco).

Peralatan

Mesin pemintalan leleh (merek FET), neraca analitik (merek Precisa), pengaduk (merek IKA), oven (merek Carbolite Gero), *ultrasonic cleaner* (merek Gero), SEM (JEOL, JSM 6510, Japan), spektrofotometer (Jasco V-700), mesin *pad-dry-cure* (Werner Mathis AG), *melting point apparatus*, dan peralatan uji laboratorium lainnya.

Pembuatan Filamen dengan Metode Pemintalan Leleh

Pembuatan filamen anti-UV dilakukan dengan cara mencampurkan nanopartikel ZnO dan *chip* polipropilena (PP) dengan konsentrasi tertentu menggunakan mesin pemintalan leleh,¹⁵ sehingga nanopartikel ZnO masuk menjadi satu kesatuan dengan polipropilena. Konsentrasi nanopartikel ZnO yang digunakan bervariasi pada 0% (blanko); 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1%. Pada Gambar 1, dapat dilihat contoh campuran PP dan nanopartikel ZnO sebelum diproses pada mesin pemintalan leleh.



Gambar 1. Campuran PP dan Nanopartikel ZnO

Imobilisasi ZnO Pada Kain Pemandang

Sebagai pembanding, dibuat kain dari filamen PP yang nanopartikel ZnO-nya diimobilisasi melalui impregnasi dengan cara *pad-dry-cure*. Preparasi suspensi ZnO dilakukan dengan mencampurkan PVA 10% sebagai *stabilizing agent* pada larutan suspensi, teepol 0,5%, *binding agent* 10% sebagai zat pengikat, ZnO 0,75%, dan akuades hingga volume larutan menjadi 150 mL.

Proses *pad-dry-cure* dilakukan pada kain dengan ukuran 40 x 32 cm. Pada proses *padding*, larutan suspensi ZnO diimpregnasikan pada kain

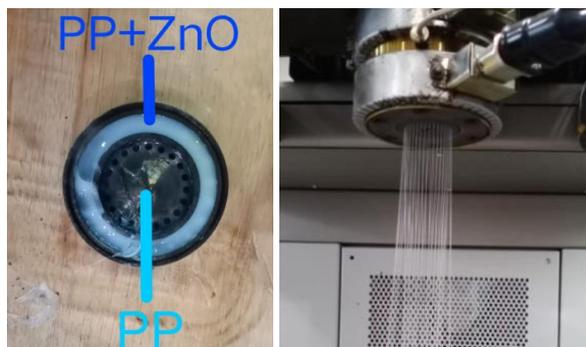
kemudian diperas dengan *wet pick-up* 80% sebanyak 2 kali. Kain yang telah diimpregnasi dikeringkan pengeringan pada temperatur 110°C selama 5 menit. Kain kemudian difiksasi dengan proses pemanasawetan pada temperatur 150°C selama 3 menit kemudian didinginkan pada temperatur ruang.

Pengujian dan Karakterisasi

Karakterisasi morfologi filamen dilakukan dengan menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscopy/SEM* (JEOL, JSM6510, Japan), pengujian nomor benang menggunakan instrumen mesin penggulung dan neraca analitik, serta kekuatan tarik benang menggunakan instrumen Statimat DS (standar SNI 0276:2009). Evaluasi sifat proteksi UV kain hasil percobaan dilakukan melalui pengujian *ultraviolet protection factor* (UPF) menggunakan instrumen spektrofotometer UPF (JASCO, V-750), mengikuti standar cara uji pada AS/NZS 4399: 2017.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknik pemintalan leleh dipilih pada penelitian ini dengan tujuan untuk menghasilkan filamen yang memiliki sifat antiUV yang baik (permanen), tetapi sifat mekanisnya tidak berkurang terlalu jauh. Pada penelitian ini dipakai metode pencampuran bikomponen dengan bentuk penampang filamen *core and sheath* seperti terlihat pada Gambar 2. Untuk menjaga kekuatan filamen, 100% PP tetap berada di bagian *core* dan untuk menghasilkan sifat antiUV filamen, di bagian *sheath* digunakan campuran PP dengan konsentrasi nanopartikel ZnO tertentu. Gambar 2 menunjukkan tampilan filamen yang keluar dari spinneret sebagai hasil proses pemintalan leleh beserta kenampakan lubang spinneret dengan struktur bikomponen.



Gambar 2. Tampilan Lelehan di Mesin Pemintalan Leleh

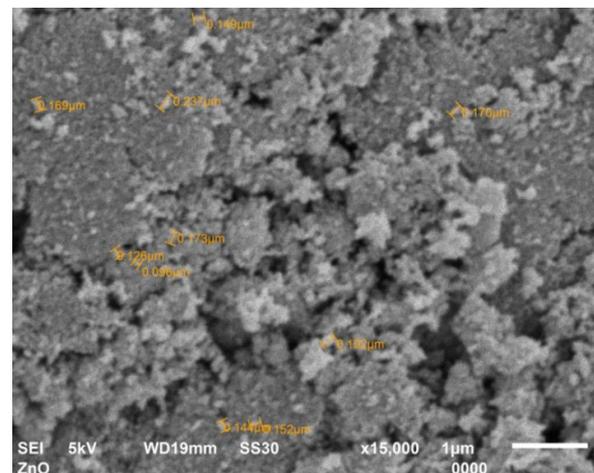
Temperatur, tekanan, kecepatan pengumpanan material, dan kecepatan rasio penarikan filamen, ditentukan melalui rangkaian percobaan pendahuluan dan diperoleh kesimpulan bahwa parameter proses paling ideal berada pada temperatur 215-225°C, tekanan 60 bar, kecepatan

motor pengumpanan 20 rpm, dan rasio penarikan filamen 3,9-4. Filamen antiUV yang diperoleh dari beberapa variasi konsentrasi ZnO dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Filamen Hasil Proses Mesin Pemintalan Leleh

Nanopartikel ZnO dikarakterisasi morfologi permukaan dan ukurannya, sedangkan filamen PP dikarakterisasi sifat termalnya, yaitu titik lelehnya. Gambar 4 menunjukkan morfologi nanopartikel ZnO yang dianalisis menggunakan SEM dan diperoleh rata-rata ukuran $\leq 0,237 \mu\text{m}$. Berdasarkan pengujian titik leleh, diperoleh data titik leleh PP yaitu mulai dari 190°C.



Gambar 4. Morfologi SEM Partikel Nanopartikel ZnO

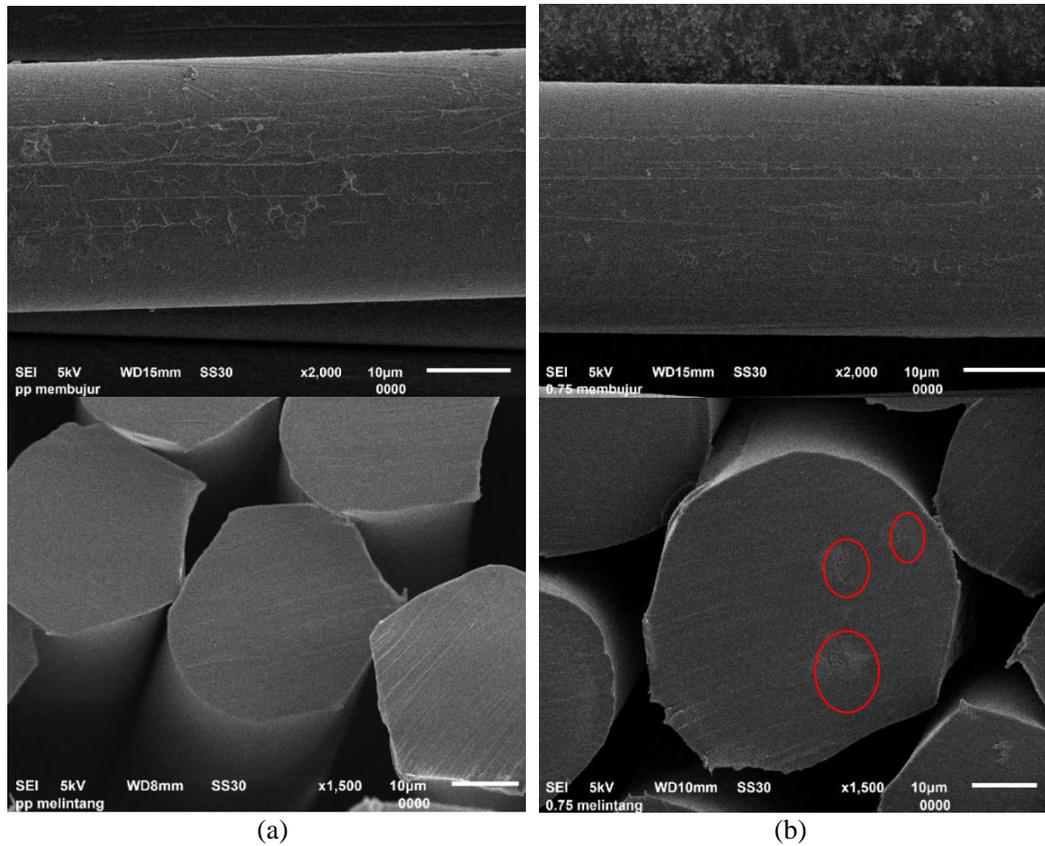
Karakterisasi ZnO dan Polipropilena Karakterisasi Filamen

Hasil pengujian SEM untuk melihat penampang melintang dan membujur dari filamen PP tanpa ZnO dan filamen dengan 0,75% ZnO dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5(a) dapat dilihat bahwa posisi melintang dari filamen blanko memiliki permukaan yang bersih dan rata

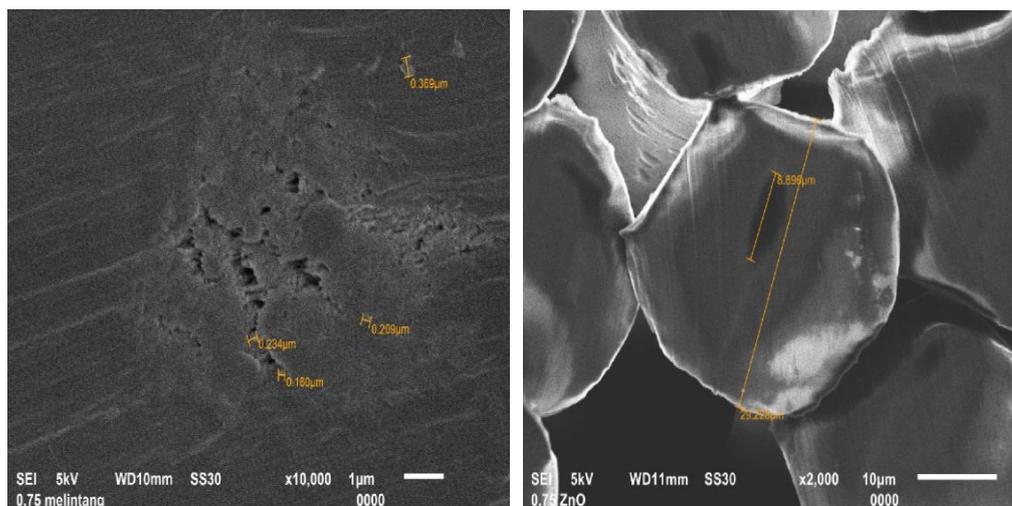
dengan pola yang teratur, sedangkan pada Gambar 5(b) posisi filamen PP+0,75% ZnO terlihat ada bercak putih yang berada di tepi filamen yang merupakan konsentrat ZnO yang berada di *sheath* dari filamen. Perbesaran Gambar 5(b) yang ditampilkan pada Gambar 6, memperlihatkan bahwa ukuran partikel tersebut sama dengan ukuran

partikel ZnO, sehingga dari gambar ini dapat disimpulkan bahwa filamen bikomponen *core and sheath* sudah terbentuk.

Dari masing-masing filamen yang dihasilkan, dilakukan pengujian nomor benang dan kekuatan tarik dengan hasil seperti yang terlihat pada Tabel 1.



Gambar 5. Morfologi SEM: (a) Filamen *pure* PP/Blanko, (b) Filamen PP+0,75% ZnO



Gambar 6. Morfologi SEM Bikomponen Filamen PP dan 0,75% ZnO

Tabel 1. Hasil Pengujian Nomor Benang dan Kekuatan Tarik

| Sampel | Nomor Benang (<i>denier</i>) | Kekuatan Tarik (cN) | cN / <i>denier</i> |
|--------------|--------------------------------|---------------------|--------------------|
| PP tanpa ZnO | 207,6 | 747,38 | 3,6 |
| 0,25 % ZnO | 200,4 | 691,59 | 3,45 |
| 0,5 % ZnO | 202,2 | 680,9 | 3,36 |
| 0,75 % ZnO | 181,7 | 631,91 | 3,47 |
| 1 % ZnO | 212,8 | 689,8 | 3,24 |

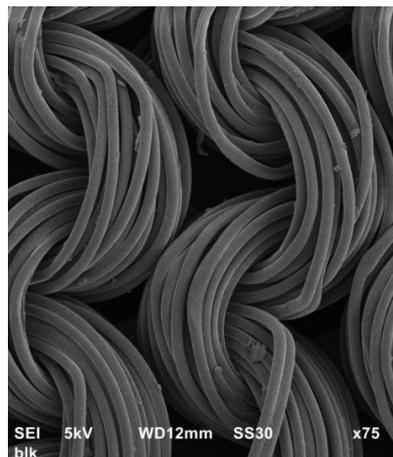
Berdasarkan Tabel 1, filamen PP tanpa ZnO memiliki kekuatan tarik maksimum 747,38 cN. Filamen dengan 0,25% ZnO memiliki kekuatan tarik 691,59 cN atau menurun 7,46% dibandingkan PP tanpa ZnO dan seterusnya secara berturut-turut PP dengan ZnO 0,5%; 0,75%; dan 1% memiliki nilai kekuatan tarik yang menurun sebesar 8,89%; 15,4%; dan 7,7% dibandingkan PP tanpa ZnO. Dapat disimpulkan bahwa penambahan konsentrasi nanopartikel ZnO pada filamen dapat menurunkan kekuatan tarik maksimumnya. Penurunan paling besar terjadi pada filamen PP dengan 0,75% ZnO yang memiliki nilai penurunan 15,4%.

Karakterisasi Kain

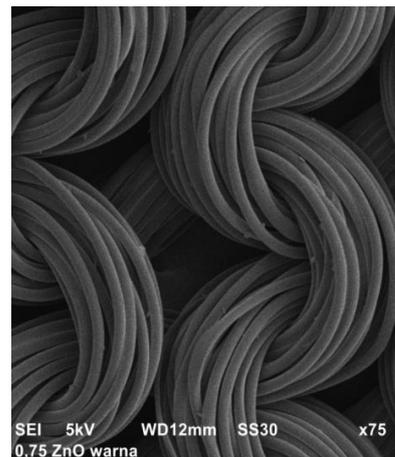
Untuk mengetahui nilai UPF dari filamen yang dihasilkan, filamen harus dibuat menjadi kain terlebih dahulu sebelum diuji menggunakan mesin spektrofotometer Jasco V-700. Pada penelitian ini, filamen PP dibuat menjadi kain melalui proses perajutan pada mesin rajut bundar dengan hasil seperti yang terlihat pada Gambar 7.



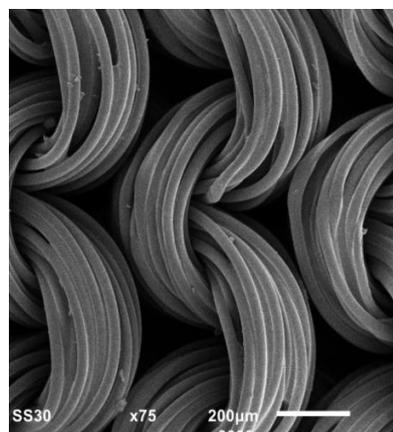
Gambar 7. Mesin Rajut Bundar dan Hasil Rajutan Kain



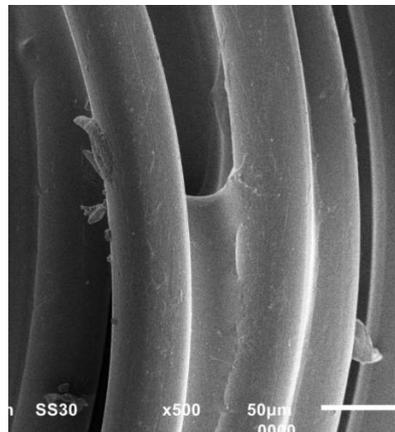
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8. SEM Morfologi Kain: (a) Kain PP tanpa ZnO (Blanko), (b) Kain 0,75% ZnO – PP Berwarna *Melt Spinning*, (c) Kain 0,75% ZnO - PP *Pad-dry-cure*, dan (d) Perbesaran dari Kain 8(c)

Tabel 2. Hasil pengujian *Ultraviolet Protection Factor* (UPF)

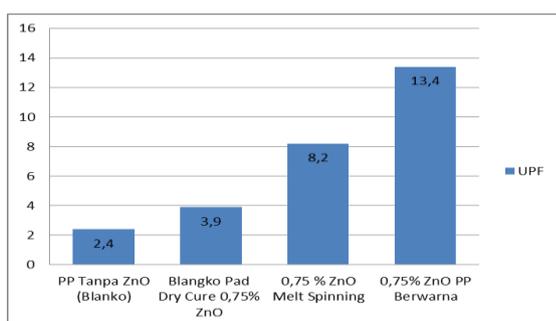
| Sampel | UPF |
|------------------|-----|
| Pure PP (Blanko) | 2,4 |
| 0,25% ZnO | 4,5 |
| 0,5 % ZnO | 5,7 |
| 0,75 % ZnO | 8,2 |
| 1% ZnO | 7,6 |

Berdasarkan Tabel 2, filamen PP tanpa ZnO memiliki nilai UPF 2,4. Namun setelah penambahan 0,25% ZnO mengalami kenaikan menjadi 4,5 atau 87,5% dan seterusnya secara berturut-turut pada filamen PP dengan 0,5% dan 0,75% ZnO mengalami kenaikan nilai UPF sebesar 137,5% dan 241,6%. Pada filamen dengan 1% ZnO, nilai UPF justru sedikit lebih rendah dari filamen dengan 0,75% yaitu sebesar 7,6. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan konsentrasi nanopartikel ZnO pada filamen dapat menaikkan nilai UPF mulai dari 87,5% hingga 241,6% dengan nilai UPF maksimum pada konsentrasi 0,75% ZnO.

Gambar 8(a) dan 8(b) memperlihatkan morfologi filamen PP pembanding (blanko) dengan filamen PP – ZnO yang diimobilisasi menggunakan teknik *melt spinning*. Pada Gambar 8(b), terlihat bahwa filamen PP dengan 0,75% ZnO memiliki morfologi sama seperti filamen poliester pada umumnya, yaitu teratur dan bersih. Pada Gambar 8(c), terlihat bahwa morfologi kain yang diimobilisasi ZnO dengan konsentrasi 0,75% ZnO menggunakan proses *pad-dry-cure* menunjukkan adanya penempelan partikel di permukaan kain, seperti terlihat pada Gambar 8(d).

Tabel 3. Hasil pengujian UPF dari berbagai proses imobilisasi

| Sampel | UPF |
|--------------------------------|------|
| PP tanpa ZnO (Blanko) | 2,4 |
| 0,75% ZnO <i>Pad-dry-cure</i> | 3,9 |
| 0,75% ZnO <i>Melt Spinning</i> | 8,2 |
| 0,75% ZnO PP Berwarna | 13,4 |



Gambar 9. Hasil uji UPF pada berbagai jenis perlakuan

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 9, filamen PP tanpa ZnO memiliki nilai uji UPF sebesar 2,4 dan PP dengan 0,75% ZnO *pad-dry-cure* naik menjadi 3,9 atau sebesar 62,5%. Nilai UPF yang lebih tinggi ditunjukkan pada kain yang dibuat dari filamen hasil mesin pemintalan leleh dengan imobilisasi 0,75% ZnO serta dengan penambahan 1% PP berwarna, yaitu sebesar 8,2 dan 13,4 atau terjadi kenaikan sebesar 242% dan 458% dari nilai uji UPF kain blanko. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses pemintalan leleh dapat menghasilkan filamen yang nilai UPF-nya jauh lebih tinggi dibandingkan dengan proses *pad-dry-cure*.

KESIMPULAN

Berdasarkan tahapan penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut. Peningkatan konsentrasi ZnO dari 0,25% hingga 1% pada filamen hasil pemintalan leleh menghasilkan kenaikan nilai UPF mulai dari 87,5% hingga 241,6% berbanding terbalik dengan kekuatan tariknya yang mengalami penurunan mulai dari 8,89% hingga 15,4%. Nilai optimum dari hasil percobaan yang dilakukan terdapat pada kandungan konsentrasi ZnO sebesar 0,75%. Nilai uji UPF dengan konsentrasi ZnO yang sama dari hasil kain pemintalan leleh jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kain yang diproses dengan *pad-dry-cure*.

PUSTAKA

- Kim, Y. K. *Ultraviolet protection finishes for textiles. Functional Finishes for Textiles: Improving Comfort, Performance and Protection* (Woodhead Publishing Limited, 2015). doi:10.1533/9780857098450.2.463.
- Roby, L., Tony, M., Wayne, S. & Bruce, A. Solar Ultraviolet Radiation: Global burden of disease from solar ultraviolet radiation. *World Health* 55, 987–999 (2006).
- Dutra, E. A., Da Costa E Oliveira, D. A. G., Kedor-Hackmann, E. R. M. & Miritello Santoro, M. I. R. Determination of sun protection factor (SPF) of sunscreens by ultraviolet spectrophotometry. *Rev. Bras. Ciencias Farm. J. Pharm. Sci.* 40, 381–385 (2004).
- Štular, D., Jerman, I., Naglič, I., Simončič, B. & Tomšič, B. Embedment of silver into temperature- and pH-responsive microgel for the development of smart textiles with simultaneous moisture management and controlled antimicrobial activities. *Carbohydr. Polym.* 159, 161–170 (2017).

5. Ehrmann, A. & Blachowicz, T. Examination of textiles with mathematical and physical methods. *Exam. Text. with Math. Phys. Methods* 90, 1–177 (2016).
 6. Zhang, G. *et al.* Ultraviolet light-degradation behavior and antibacterial activity of polypropylene/ZnO nanoparticles fibers. *Polymers (Basel)*. 11, 16–18 (2019).
 7. Sugiyana, D., Septiani, W., Mulyawan, A. S., Wahyudi, T. & Tekstil, B. B. Dan Evaluasi Ketahanannya Terhadap Ultraviolet. 25–34 (2017).
 8. Sugiyana, D., Septiani, W., Mulyawan, A. S. & Wahyudi, T. Sintesis Nanopartikel ZnO Dan Immobilisasinya Pada Kain Kapas Sebagai Absorber Ultraviolet. *Arena Tekst.* 32, 59–66 (2018).
 9. Sugiyana, D., Nugraha, J., Mulyawan, A. S., Septiani, W. & Wahyudi, T. Penyempurnaan Kain Poliester Fungsional Anti Ultraviolet Menggunakan Seng Oksida Dengan Metode Impregnasi. *Arena Tekst.* 34, (2019).
 10. Ponnamma, D. *et al.* Synthesis, optimization and applications of ZnO/polymer nanocomposites. *Mater. Sci. Eng. C* 98, 1210–1240 (2019).
 11. Scalia, S. *et al.* Incorporation of the sunscreen agent, octyl methoxycinnamate in a cellulosic fabric grafted with β -cyclodextrin. *Int. J. Pharm.* 308, 155–159 (2006).
 12. Mahltig, B. *et al.* Optimized UV protecting coatings by combination of organic and inorganic UV absorbers. *Thin Solid Films* 485, 108–114 (2005).
 13. Innes, B. *et al.* Nanotechnology and the cosmetic chemist, Cosmetics, aerosols and toiletries in Australia. *Cosmet. aerosols Toilet.* *Aust.* 15, 10–24 (2002).
 14. Hisham A. Maddah. Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. *Am. J. Polym. Sci.* 6, 1–11 (2016).
 15. Li, Q. S. *et al.* Preparation and performance of ultra-fine polypropylene antibacterial fibers via melt electrospinning. *Polymers (Basel)*. 12, (2020).
-

