

# PENGGUNAAN $\text{TiO}_2$ PARTIKEL NANO HASIL SINTESIS BERBASIS AIR MENGGUNAKAN METODA SOL-GEL PADA BAHAN KAPAS SEBAGAI APLIKASI UNTUK TEKSTIL ANTI UV

## *THE UTILIZATION OF $\text{TiO}_2$ NANOPARTICLES YIELD FROM WATER BASE SYNTHESIS USING SOL-GEL METHOD ONTO COTTON FABRIC AS AN APPLICATION FOR ANTI UV TEXTILE*

Maya Komalasari\*, Bambang Sunendar\*\*

\*Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, Bandung

\*\*Advance Material Processing, Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung

Email : maya.komalasari@yahoo.com\*, purwa@tf.itb.ac.id\*\*

Tanggal diterima : 6 Mei 2013, direvisi : 29 Mei 2013, disetujui terbit : 5 Juni 2013

### ABSTRAK

Partikel nano  $\text{TiO}_2$  berbasis air dengan pH basa telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode *sol-gel* dan diimobilisasi pada kain kapas dengan menggunakan kitosan sebagai zat pengikat silang. Sintesis dilakukan dengan prekursor  $\text{TiCl}_4$  pada konsentrasi 0,3 M, 0,5 M dan 1 M, dan menggunakan templat kanjidan proses kalsinasi pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Partikel nano  $\text{TiO}_2$  diaplikasikan ke kain kapas dengan metode *pad-dry-cure* dan menggunakan kitosan sebagai *crosslinking agent*. Berdasarkan hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM), diketahui bahwa morfologi partikel  $\text{TiO}_2$  berbentuk *spherical* dengan ukuran nano (kurang dari 100 nm). Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan adanya tiga tipe struktur kristal utama, yaitu (100), (101) dan (102) dengan fasa kristal yang terbentuk adalah *anatase* dan *rutile*. Pada karakterisasi menggunakan SEM terhadap serbuk dari  $\text{TiO}_2$  yang telah diaplikasikan ke permukaan kain kapas, terlihat adanya imobilisasi partikel nano  $\text{TiO}_2$  melalui ikatan hidrogen silang dengan kitosan pada kain kapas. Hasil analisa tersebut kemudian dikonfirmasi dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) yang hasilnya memperlihatkan puncak serapan pada bilangan gelombang  $3495\text{ cm}^{-1}$ ,  $2546\text{ cm}^{-1}$ , dan  $511\text{ cm}^{-1}$ , yang masing-masing diasumsikan sebagai adanya vibrasi gugus fungsi O-H, N-H dan Ti-O-Ti. Hasil SEM menunjukkan pula bahwa kristal nano yang terbentuk diantaranya adalah fasa *rutile*, yang berdasarkan literatur terbukti dapat berfungsi sebagai anti UV.

**Kata kunci :** Partikel nano,  $\text{TiO}_2$ , metoda sol-gel, Anti UV, *pad-dry-cure*.

### ABSTRACT

*TiO<sub>2</sub> nanoparticles have been successfully synthesized via sol-gel method under a water-based alkaline pH. The resulting nanoparticles were then immobilized on cotton fabric using chitosan as a crosslinking agent. Synthesis was done under the following conditions: concentration of precursor TiCl<sub>4</sub> of 0.3 M, 0.5 M and 1.0 M, the use of 1% starch as templates, and calcination temperature at 500°C for 2 hours. Application on cotton fabric was carried out by pad-dry-cure method. Nano-sized particles of TiO<sub>2</sub> (less than 100 nm) were observed from the images resulted by Scanning Electron Microscope (SEM). From characterization by X-Ray Diffraction (XRD), three main crystal facets of (100), (101) and (102) were found to form crystalline phases of anatase and rutile. The best concentration of particle size TiO<sub>2</sub> nanoparticles was obtained by synthesis of 0,3 M by the addition of starch template. The immobilization of TiO<sub>2</sub> nanoparticles through hydrogen bond crosslinking with chitosan onto cotton fabric was indicated by Scanning Electron Microscope (SEM) characterization. This indication was verified using Fourier Transform Infra Red (FTIR) analysis resulted in observed peaks at 3495 cm<sup>-1</sup>, 2546 cm<sup>-1</sup>, and 511 cm<sup>-1</sup>, from O-H, N-H and Ti-O-Ti vibration group respectively. From SEM characterization, rutile phase as a type of resulted nanoparticles was also indicated. Base on the literature, rutile phase have a function as anti UV*

**Keyword :** Nanoparticle,  $\text{TiO}_2$ , sol-gel method, Anti UV, *pad-dry-cure*

### PENDAHULUAN

Teknologi mikro telah diterapkan pada berbagai hal, mulai dari teknologi awal sampai akhir

(produk dan pemanfaatan secara umum). Namun, seiring perkembangan zaman, teknologi mikro pun dirasa belum cukup, sehingga teknologi yang memiliki dimensi lebih kecil lagi, yakni teknologi

nano (*nanotechnology*) dikembangkan lebih lanjut dan intensif. Teknologi mikro serta nano memiliki peranan yang sangat besar sebab dua hal ini mampu menciptakan penghematan seperti bahan baku, biaya produksi, energi, serta ruang. Secara garis besar, pembentukan partikel nano dapat dilakukan dengan metoda *top down* (fisika) dan *bottom up* (kimia). Dengan metoda fisika, partikel nano terbentuk dengan cara memecah padatan logam atau material lain yang berukuran besar menjadi partikel-partikel kecil berukuran nano, sedangkan metode kimia dilakukan dengan cara menumbuhkan partikel-partikel nano dari atom yang didapat dari prekursor molekuler atau ionik, diantaranya dengan metode *sol-gel*. Pada metode *sol-gel* terjadi proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, dimana dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel). Diantarazat kimia nano yang banyak menarik perhatian adalah penggunaan material semikonduktor seperti ZnO, TiO<sub>2</sub>, CdS, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. TiO<sub>2</sub> banyak dikenal sebagai fotokatalis karena kemampuannya mengabsorpsi sinar UV. Salah satu pemanfaatan material semikonduktor partikel nano ZnO dan TiO<sub>2</sub> dalam aplikasi di bidang tekstil adalah untuk teknologi *UV Protection*.<sup>1</sup> Kira-kira 10 % dari radiasi sinar matahari, yang berarti pula adanya radiasi UV, dapat mengakibatkan resiko kerusakan pada kulit. Berkaitan dengan produk akhir tekstil, sejauh ini belum banyak produk yang memberikan jaminan *finish sun protection*.<sup>2</sup>

Sinar matahari mengeluarkan 3 jenis sinar UV yaitu UV-A, UV-B dan UV-C, dengan spektrum panjang gelombang nya dari 400 -700 nm, dengan panjang gelombang spesifik untuk sinar UV A 320–400 nm, UV B 280–320 nm dan UV C 100 - 290 nm. Aktual kerusakan kulit pada manusia dari radiasi sinar UV umumnya terjadi akibat paparan sinar UV pada panjang gelombang 305–310 nm. Oleh karena itu, upaya perlindungan kulit dari radiasi sinar UV merupakan hal yang penting.

Perkembangan teknologi *functional textiles* atau *protective textiles* akhir-akhir ini semakin meningkat karena kekhawatiran terhadap radiasi sinar UV yang dapat merusak kesehatan kulit. Diantara teknologi yang telah dikembangkan yaitu *UV blocking*, sehingga paparan dari sinar UV dapat dihindari agar tidak langsung berhubungan dengan kulit. Metoda yang dilakukan yaitu dengan *pad-dry-cure* untuk dapat membentuk suatu lapisan dengan bantuan suhu tinggi yang akan berpolimerisasi masuk kedalam serat. Partikel yang diharapkan adalah ukuran nano, dengan ukuran nano yang terbungkus dalam suatu matriks polymer mempunyai potensi sebagai *UV blocking* dan lebih stabil. Hal ini telah dilakukan pada material semikonduktor contohnya ZnO nano dan TiO<sub>2</sub> nano.<sup>3</sup> TiO<sub>2</sub> dan material semikonduktor lainnya mempunyai kapasitas penyerapan daerah UV pada

280-400 nm, hal ini dikarenakan mempunyai band gap energy yang tidak terlalu lebar yaitu 3,2 – 3,7 eV. Energi celah (*band-gap energy*) semikonduktor yang tidak terlalu besar ini akan memungkinkan beberapa elektron untuk naik (melompat) melalui celah antara pita valensi yang terisi ke pita konduksi yang kosong. Elektron dari pita valensi titanium dioksida tereksitasi ketika disinari oleh cahaya. Energi yang dihasilkan dari elektron yang tereksitasi ini menyebabkan elektron berada pada pita konduksi TiO<sub>2</sub> dan menghasilkan pasangan elektron bermuatan negatif (e<sup>-</sup>) dan *hole* positif (h<sup>+</sup>) dan disebut sebagai *semiconductor photo-excitation state*.<sup>3</sup> Hal ini menjelaskan bagaimana TiO<sub>2</sub> dapat berfungsi sebagai Anti UV. Density struktur kristal TiO<sub>2</sub> 4,25 g/cm<sup>3</sup> lebih tinggi jika dibandingkan dengan struktur kristal anatase 3,89 g/cm<sup>3</sup>, yang menerangkan bahwa pada density struktur kristal rutil lebih tinggi jika dibandingkan dengan anatase artinya banyaknya electron yang tereksitasi sehingga memungkinkan bahwa struktur rutil dapat digunakan sebagai UV blocking.<sup>4</sup> Pada penelitian ini dilakukan sintesis material semikonduktor TiO<sub>2</sub> berukuran nano yang dapat digunakan sebagai *UV-blocking*. Dengan ukuran partikel nano diharapkan mempunyai kemampuan membentuk suatu lapisan dan dapat terimobilisasi ke dalam bahan tekstil. Pada penelitian ini belum dilakukan pengujian Anti UV, tetapi difokuskan untuk memperoleh struktur kristal yang sesuai untuk Anti UV dan dapat diaplikasikan ke bahan tekstil.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dibagi menjadi 2 tahap, yaitu:

- (1) Melakukan sintesis partikel nano TiO<sub>2</sub> metode sol gel yang berbasis air dengan menggunakan prekursor TiCl<sub>4</sub>. Dengan menggunakan kanji sebagai templat, dilakukan proses kalsinasi pada suhu 500°C selama 2 jam. Produk akhir partikel nano dibuat dalam bentuk serbuk.
- (2) Mengaplikasikan partikel nano TiO<sub>2</sub> hasil sintesis tersebut pada bahan kapas dengan menggunakan metoda *pad-dry-cure* dan digunakan kitosan sebagai *crosslinking*.

Bahan-bahan kimia yang digunakan yaitu: titanium tetraklorida (TiCl<sub>4</sub>) sebagai prekursor dengan konsentrasi masing-masing 0,3 M, 0,5 M dan 1,0 M, NH<sub>4</sub>OH 25 % dari Merck, *Aqua bidestilled water*, kanji 1 %, kitosan 1 %.

Karakterisasi partikel nano TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk morfologi bentuk dari hasil sintesis serbuk dan morfologi terimobilisasinya TiO<sub>2</sub> pada bahan kapas. Karakterisasi struktur kristal partikel TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan X-Ray Diffraction (XRD), sedangkan terhadap hasil aplikasi pada bahan tekstil dilakukan karakterisasi menggunakan Fourier Transform Infra Red (FTIR).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

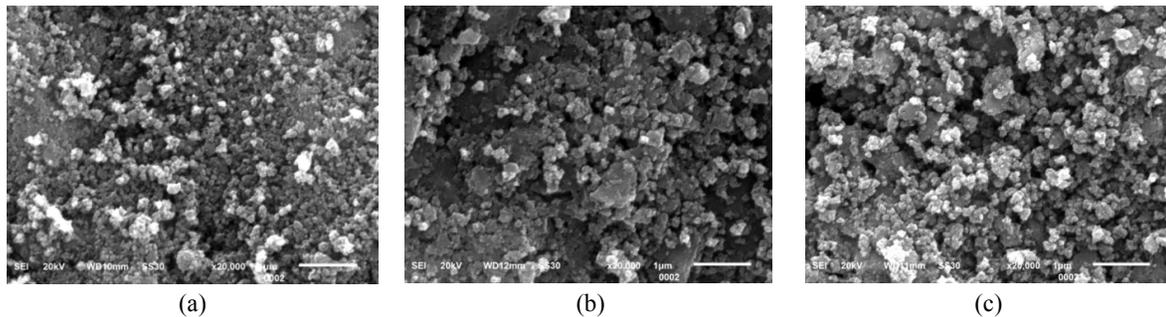
### Karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Gambar 1 menunjukkan morfologi serbuk TiO<sub>2</sub> partikel nano yang dianalisa menggunakan SEM. Pada Gambar terlihat bahwa partikel TiO<sub>2</sub> tersebar dalam bentuk *spherical* dengan ukuran kurang dari (<) 100 nm dan cenderung teraglomerasi. Secara umum, proses pembentukan partikel nano terjadi melalui beberapa tahapan mekanisme. Proses sintesis partikel monodispersi terbagi menjadi dua tahap utama yaitu tahap *nukleasi* (pengintian) dan tahap pertumbuhan. Pada tahap pengintian terjadi pembentukan inti partikel yang kemudian menjadi tempat bergabungnya partikel-partikel lainnya dalam inti tersebut. Tahapan ini akan bergantung pada sistem reaksi dan parameter-parameter yang mengontrol reaksi tersebut. Dengan banyaknya inti TiO<sub>2</sub> yang terbentuk, maka laju tumbukan (*collision*) dan penyatuan (*coalescence*) akan meningkat.

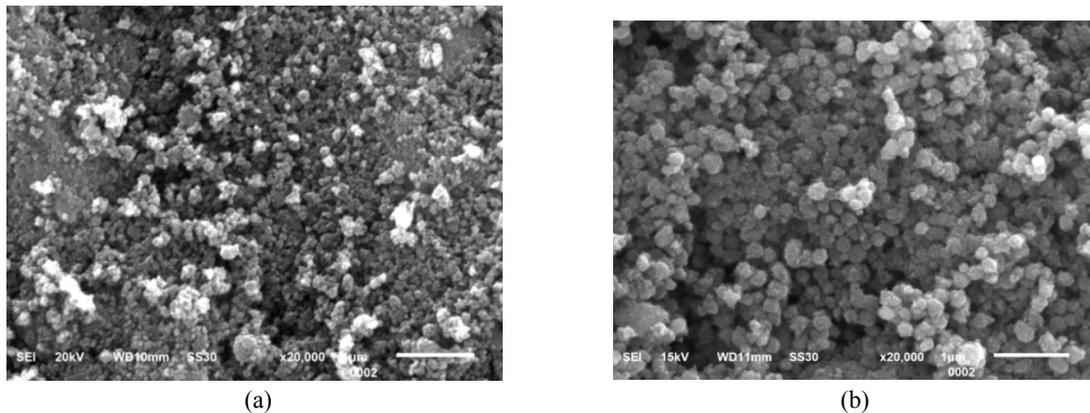
Penyatuan (*coalescence*) merupakan reaksi penggabungan antar partikel, sampai terbentuk partikel yang berbentuk bulat (*spherical*).<sup>5</sup> Adanya aglomerasi dan *coalescence* juga diakibatkan adanya

pegaruh interaksi antar partikel-partikel yang terbentuk. Pada Gambar 1, morfologi pada konsentrasi TiO<sub>2</sub> 0,3M, terlihat bahwa distribusi partikel lebih seragam untuk diberikan templat kemudian dilihat morfologi dari partikelnya. Gambar 2 menunjukkan hasil karakterisasi menggunakan SEM untuk 0,3 M TiO<sub>2</sub> yang telah diberi penambahan templat kanji 1 %.

Pemberian templat dimaksudkan agar cetakan pada temperatur yang tinggi akan lepas dan memberikan bentuk sesuai dengan morfologinya. Kanji (*starch*) disintesis dari tepung singkong pada suhu 100°C, 120°C dan 140°C.<sup>4</sup> Pada sintesis dengan suhu 120°C, diperoleh kanji berbentuk *spherical*, hal ini terjadi pada material semikonduktor ZnO adanya *starch* sebagai templat yang dilakukan pada temperatur kalsinasi 500°C selama 2 jam menunjukkan bentuk yang *spherical* dan seragam.<sup>6</sup> Proses sintesis yang dilakukan dengan menggunakan prekursor TiCl<sub>4</sub>, yang dilarutkan dengan air dan digabungkan dengan kanji sebagai templat, dengan adanya proses kalsinasi pada suhu tinggi 500°C, kanji sebagai templat akan lepas, sehingga morfologi dari kanji akan ditempati oleh TiO<sub>2</sub> sehingga memberikan morfologi yang berbentuk *spherical* yang ditunjukkan pada Gambar 2(b).



**Gambar 1.** Morfologi TiO<sub>2</sub> nanopartikel tanpa penambahan templat kanji konsentrasi (a) 0,3 M, (b) 0,5M dan (c) 1,0 M pada temperatur 500°C



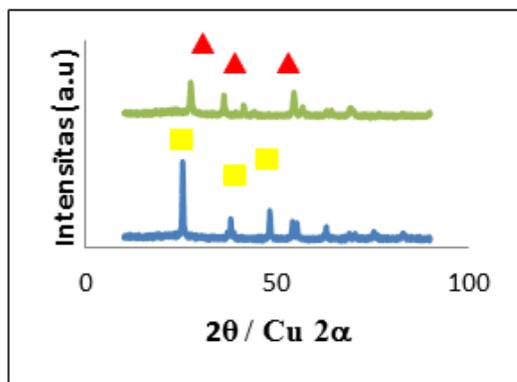
**Gambar 2.** Morfologi TiO<sub>2</sub> Nanopartikel konsentrasi 0,3M dengan penambahan templat kanji (a) tanpa penambahan templat, dan (b) dengan templat kanji

### Karakterisasi Menggunakan XRD

Analisa XRD dilakukan pada konsentrasi 0,3 M tanpa pemberian templat kanji dan dengan templat kanji, dengan hasil disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Ukuran kristal pada tiga puncak utama dan Fasa Kristal pada konsentrasi  $\text{TiO}_2$  0,3 M

Orientasi	Ukuran kristal	
	tanpa templat kanji	dengan templat kanji
(100)	19 nm	11 nm
(101)	15 nm	13 nm
(102)	18 nm	7 nm
Fasa kristal	Anatase 100 %	Rutile 100 %



■  $\text{TiO}_2$  Anatase      ▲  $\text{TiO}_2$  Rutile

**Gambar 3.** Hasil XRD

■ tanpa templat kanji  
▲ dengan templat kanji

Dengan bantuan analisis Xpowder, melalui Gambar 3 dapat diketahui bahwa telah terbentuk  $\text{TiO}_2$  dengan struktur polikristalin, yang ditunjukkan dengan adanya puncak-puncak  $\text{TiO}_2$  pada orientasi dibidang (100), (101) dan (102). Untuk Fasa kristal, pada sampel yang diberi templat sampel A-2 cenderung terbentuk fasa *rutile*, sedangkan pada sampel A1 yang tidak diberi perlakuan templat, fasa kristal yang terbentuk adalah Anatase 100 %. Hal ini kemungkinan karena kanji sebagai polimer alam memiliki kandungan amilose antara 72% dan 82% sedangkan amilopektin berkisar antara 18% dan 28%. Polimer amilose memiliki struktur molekul yang planar sedangkan amilopektin mempunyai struktur rantai yang bercabang. Dengan digunakannya kanji sebagai templat yang pada temperatur kalsinasi yang tinggi templat akan lepas sehingga tempat/cetakannya tersebut digunakan oleh partikel untuk tumbuh. Dengan adanya templat, maka partikel

nano akan terbentuk sesuai dengan ukurannya, dengan distribusi ukuran yang terkontrol pada produk akhir. Pada umumnya, templat akan mengintroduksi semikonduktor kedalam pori dari material mesopori yang mampu menghasilkan nanopartikel yang lebih seragam dengan kontrol ukuran dan distribusi yang bagus. Fasa kristal rutile yang terbentuk sangat baik digunakan untuk UV *blocking*, untuk fasa kristal anatase umumnya digunakan untuk proses fotokatalisis.<sup>8</sup>

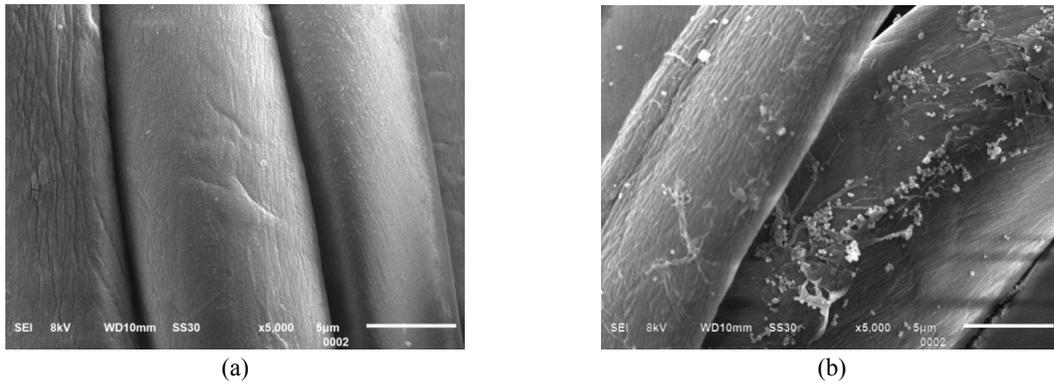
### Karakterisasi SEM dan FTIR pada bahan Kapas

Gambar 4a dan 4b masing-masing memperlihatkan hasil analisa SEM untuk bahan kapas yang tidak diberi perlakuan  $\text{TiO}_2$  dan yang diberi perlakuan  $\text{TiO}_2$  dengan kitosan sebagai *crosslinking*. Pada Gambar 4a terlihat morfologi kapas yang bersih, sedangkan pada Gambar 4b kapas yang diberi perlakuan  $\text{TiO}_2$ -kitosan sudah terimobilisasinya  $\text{TiO}_2$  ke dalam bahan. Untuk mengkonfirmasi adanya imobilisasi tersebut, dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR, dengan hasil disajikan pada Gambar 5.

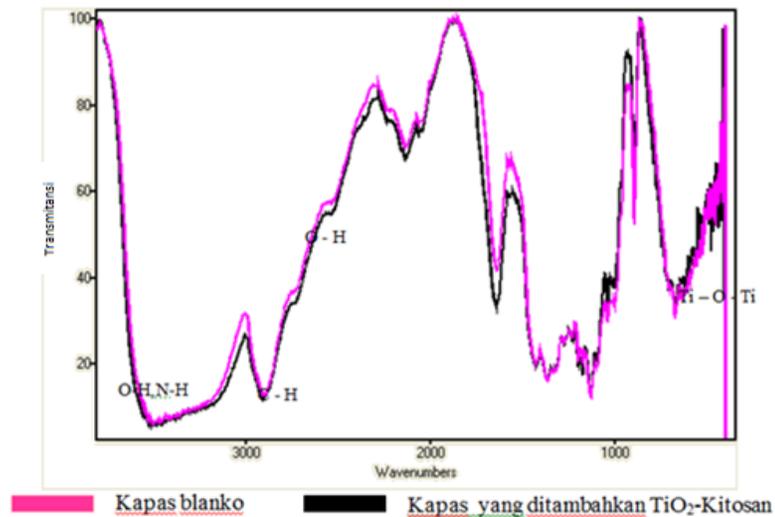
Berdasarkan hasil karakterisasi dengan FTIR, diketahui bahwa gugus-gugus fungsi pada permukaan kapas dengan partikel nano diantaranya adalah :

- gugus O-H, gugus ini memiliki daerah penyerapan sinar inframerah pada bilangan gelombang sekitar  $3000\text{-}3700\text{ cm}^{-1}$ , yang pada Gambar 5 terlihat pada bilangan gelombang  $3489,23\text{ cm}^{-1}$ , hal ini mengindikasikan adanya gugus OH dari senyawa kitosan dan bahan kapas.
- gugus N-H memiliki daerah penyerapan sinar infra merah pada bilangan gelombang sekitar  $3500\text{-}2900\text{ cm}^{-1}$ . Adanya gugus ini membuktikan adanya kitosan di dalam sampel karena pada setiap struktur kitosan akan mengandung gugus NH yang berasal dari senyawa amina yang terikat pada strukturnya.
- gugus O-H hidrogen bonded carboxylic acid, gugus ini memiliki daerah penyerapan sinar infra merah pada panjang gelombang sekitar  $2538,32\text{ cm}^{-1}$ .

Pada pengujian FTIR, puncak serapan Ti-O-Ti tidak terdeteksi karena FTIR hanya mendeteksi gugus-gugus organik, sementara Ti-O-Ti merupakan logam anorganik yang akan terlihat puncak serapannya pada panjang gelombang sekitar  $< 1000\text{ cm}^{-1}$ . Berdasarkan referensi puncak serapan untuk logam-logam anorganik menunjukkan bahwa puncak serapan Ti-O-Ti pada puncak serapan  $511\text{ cm}^{-1}$ .<sup>7</sup> Adanya  $\text{TiO}_2$  yang terimobilisasi pada bahan kapas, ketika terkena cahaya matahari maka elektron akan tereksitasi menyebabkan elektron berada pada pita konduksi  $\text{TiO}_2$  dan menghasilkan elektron yang bermuatan negative ( $e^-$ ) dan hole yang bermuatan positif ( $h^+$ ) disebut sebagai semikonduktor *photo-excitation state*, hal ini dapat berfungsi sebagai Anti UV (*UV Blocking*).



**Gambar 4.** Analisa Morfologi Kapas dengan Penambahan  $\text{TiO}_2$  Nanopartikel Menggunakan SEM  
 (a) Kapas yang tidak diberi perlakuan  $\text{TiO}_2$ ,  
 (b) Kapas yang diberi perlakuan  $\text{TiO}_2$



**Gambar 5.**Spektrum Kain yang Diberi Perlakuan  $\text{TiO}_2$

## KESIMPULAN

Partikel  $\text{TiO}_2$  telah berhasil disintesa dengan metoda sol-gel berbasis air dengan ukuran kurang dari 100 nm. Penambahan amoniak dan pH basa pada saat sintesis dapat mempercepat terjadinya pengendapan, menghasilkan ukuran partikel yang kecil dan cenderung beraglomerasi. Penambahan kanji sebagai templat pada saat sintesis akan membentuk partikel lebih seragam dan *spherical* dengan ukuran partikel 170 – 200 nm dengan fasa kristal yang terbentuk yaitu rutile. Partikel  $\text{TiO}_2$  fasa *rutile* dapat dijadikan sebagai bahan kimia untuk aplikasi Anti UV pada bahan tekstil.

Aplikasi dari serbuk partikel nano  $\text{TiO}_2$  berdasarkan karakterisasi morfologi *Scanning Electron Microscope* (SEM), dengan konsentrasi 0,3M telah berhasil masuk dan terimobilisasi dalam bahan Kapas dengan penambahan kitosan sebagai

zat pengikat silan. Dengan karakterisasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), ditunjukkan terdeteksinya puncak serapan  $511 \text{ cm}^{-1}$  yang memperlihatkan adanya gugus Ti-O-Ti, puncak serapan  $3489 \text{ cm}^{-1}$  untuk gugus O-H dan N-H, serta puncak serapan pada bilangan gelombang  $3425 \text{ cm}^{-1}$  dan  $2546,04 \text{ cm}^{-1}$  untuk kitosan.

## PUSTAKA

- Lee D.S., Liu T.K., (2002), Preparation of  $\text{TiO}_2$  Sol Using  $\text{TiCl}_4$  as a Precursor, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 25, 121-131.
- Sivakumar S.A., Vigneswaran C., and Ramachandran T., (2012), Influence of nano titanium dioxide finish, prepared by sol-gel technique, on ultraviolet protection for cotton

- fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 41, 259-167
- <sup>3</sup> Benedix R., Dehn F., (2000), Application of titanium dioxide photo catalyst to create self cleaning, *Build Material*, Vol.5 No.7, 157-168.
  - <sup>4</sup> Zhang G., Shen X., and Yang, (2011), Facile Synthesis of Monodisperse Porous ZnO Spheres by Soluble Starch-Assisted Method and Their Photocatalytic Activity, *The Journal Physical Chemistry*, 115, 7145 - 7152.
  - <sup>5</sup> Charbonneau C., Gauvin R., Demopoulos G.P., (2008), Nucleation and growth of self-assembled nanofibre-structure rutile (TiO<sub>2</sub>) particles via controlled forced hydrolysis of titanium tetrachloride solution, *Journal of Crystal Growth*, 312, 86 - 94.
  - <sup>6</sup> Zhu Y.H., and Pan. N., (2004), Studying Mechanisms of Titanium Dioxide as Ultraviolet-Blocking Additive for Films and Fabrics by an Improved Scheme, *J.App. Poly.Sci.*, 92, 3201-3210
  - <sup>7</sup> Mo S.D., Ching W.Y., (1995), Electronic and Optical Properties of Three Phases of Titanium Dioxide: Rutile, Anatase and Brookite, *Phy., Rev. B.*, 13023 - 13032
  - <sup>8</sup> Juengsuwattananon, Jaroenworoluck K., Panyathanmapon A., Jinawath S, Supthina, S., (2007), Effect of Water and Hydrolysis Catalyst on the Crystal Structure of Nanocrystalline TiO<sub>2</sub> powder Prepared by Sol-Ge Method, *Inter Science*, (a) 204, No.6, 1751-1756.
  - <sup>9</sup> Trotman, (1984), *Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres sixth edition*, A Wiley Interscience Publication, New York, halaman 47.
  - <sup>10</sup> Setiawati T., Amalia I., Sulistioso G., dan Wisnu A., (2006), Sintesis Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub> Dan Analisis Sifat Fotokatalisnya. *EBN- BATAN*
  - <sup>11</sup> Calister W.D., (2007), *Material Science and Engineering - An Introduction*. Department of Metallurgical Engineering The University of Utah
-