

PEMBUATAN SERAT NANO KITOSAN TANPA BEADS MELALUI PENAMBAHAN PVA DAN HDA

PREPARING CHITOSAN NANO FIBER WITHOUT BEADS BY MEANS OF PVA AND HDA ADDITION

Hermawan Judawisastra*, Wiwin Winiati**, Prisa Annisa Ramadhianti***

* Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara,
Institut Teknologi Bandung, Ganesa 10 Bandung 40132

** Balai Besar Tekstil, Jl. Jendral A Yani 390, Bandung 40272
Telp. (022) 7206214, Fax. (022) 7271288 E-mail : winiati@bdg.centrin.net.id

*** Alumni Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara,
Institut Teknologi Bandung, Ganesa 10 Bandung 40132

Tanggal diterima : 7 Nopember 2012, direvisi : 22 Nopember 2012, disetujui terbit : 5 Desember 2012

ABSTRAK

Serat nano kitosan telah berhasil dibuat melalui penambahan *polyvinyl alcohol* (PVA), dengan permasalahan pada kadar kitosan diatas 50% berat dengan derajat deasetilasi kitosan di bawah 70%, pembentukan butiran (*beads*) masih terjadi sepanjang serat nano kitosan/PVA. Penelitian ini dilakukan untuk membuat serat nano tanpa *beads* yang berbahan dasar kitosan dengan derajat deasetilasi lebih kecil dari 70%. Pembuatan serat nano kitosan dilakukan melalui penambahan polimer PVA dan surfaktan kationik *Hexadecylamine* (HDA). Sintesis kitosan dilakukan melalui deasetilasi kitin dari kulit udang windu selama 4 jam. Kajian literatur yang mendalam pada pembuatan serat nano kitosan/PVA dilakukan dengan analisis mengenai hubungan antara derajat deasetilasi kitosan dengan jumlah PVA yang diperlukan untuk membuat serat nano tanpa *beads*. Larutan dengan variasi rasio kitosan/PVA/HDA dibuat dan diproses menjadi serat nano kitosan/PVA/HDA melalui proses *electrospinning*. Karakterisasi serat nano dilakukan untuk menentukan morfologi dan diameter serat nano dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Suatu persamaan untuk menentukan kadar PVA yang diperlukan dalam membuat serat nano kitosan/PVA tanpa *beads* telah diperoleh. Namun, penambahan PVA saja tidak akan efektif dalam mengurangi jumlah *beads* pada serat nano kitosan. Penambahan HDA pada larutan kitosan/PVA efektif menghilangkan *beads* serat nano berbahan dasar kitosan (kadar kitosan 60% berat) dengan derajat deasetilasi 65%. Serat nano kitosan tanpa *beads* dengan derajat deasetilasi 65% dapat dibuat melalui proses *electrospinning* dengan penambahan PVA sebesar 40% berat larutan dan penambahan HDA 1×10^{-6} mol/L.

Kata kunci: serat nano, *electrospinning*, kitosan, PVA, HDA.

ABSTRACT

Chitosan nanofiber has been successfully made by using addition of polyvinyl alcohol (50%). However, there are problems for making nanofiber from chitosan content above 50% weight and deacetylation degree of chitosan below 70%. Beads forming still occur along chitosan/PVA nano fiber. This research is carried out to make chitosan-based beadless nanofiber with deacetylation degree below 70%. The chitosan nanofiber was made using addition of PVA polymers and Hexadecylamine (HDA) cationic surfactant. Chitosan was synthesized from chitin deacetylation for 4 hours. Literature research in chitosan/PVA nanofiber forming was done by analyzing the correlation between chitosan degree of deacetylation and amount of PVA needed to make the beadless nanofiber. Several solution with different chitosan/PVA/HDA ratio was made and electrospun to produce chitosan/PVA/HDA nanofiber. Scanning Electron Microscope (SEM) was used to examine the morphology and diameter of produced nanofibers. A formula to determine amount of PVA needed to make beadless chitosan/PVA nanofiber was developed. However, the addition of solely PVA was not effective in reducing beads of chitosan nanofiber. The addition of HDA into chitosan/PVA solution was proven eliminating beads on chitosan based (60%wt) nanofiber with 65% degree of deacetylation effectively. The beadless chitosan nanofiber has been successfully made using electrospinning process with addition of PVA 40%wt and HDA 1×10^{-6} mol/L.

Key words: nanofiber, *electrospinning*, chitosan, PVA, HDA.

PENDAHULUAN

Ultrafine fibers (nano fiber) merupakan serat dengan rentang diameter nanometer hingga beberapa mikrometer yang pada umumnya dibuat dengan menggunakan metode *electrospinning*.^{1,2} Salah satu aplikasi serat nano (*nano fiber*) adalah tekstil medik berbentuk *non-woven mats*,³ yang biokompatibel, luas area yang tinggi, dan ukuran pori kecil (30 – 150 Å),³ untuk aplikasi seperti *scaffold* pada rekayasa jaringan,⁴ *wound dressing* (perban untuk luka),⁵ dan kapsul pada *drugs delivery system*.⁶

Studi pembuatan *ultra fine fibers* dari biopolimer untuk aplikasi bidang biomedik telah banyak dilakukan.^{1,2,4,5,7,8} Hal ini berkaitan dengan sifat biokompatibilitas dan biodegradabilitas yang baik, sifat hidrofilik yang tinggi, dan reaksi *immune* yang relatif rendah sehingga memudahkan terjadinya *cell adhesion* dan *proliferation*.^{1,4,5} Kitosan merupakan salah satu jenis biomaterial yang telah dikembangkan untuk pembuatan serat nano dengan metode *electrospinning*.^{1,8} Kitosan dipilih karena memiliki sifat biokompatibilitas dan biodegradabilitas tinggi serta bersifat polikationik yang dapat mengikat protein dengan mudah.^{1,5,8}

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pembuatan serat nano kitosan dibuat dengan menggunakan kitosan yang memiliki derajat deasetilasi tinggi (di atas 70%),^{9,10,11} dan dengan penambahan polimer lain seperti polyethylene oxide (PEO),⁶ polyvinyl alcohol (PVA),⁹ dan polyvinyl pyrrolidone (PVP).⁸ Penelitian terbaru berhasil membuat serat nano berbahan dasar kitosan dengan derajat deasetilasi rendah (65%) melalui penambahan PVA minimum sebesar 40% berat larutan. Namun penelitian tersebut memperlihatkan bahwa serat nano kitosan/PVA yang dihasilkan belum sempurna. Diameter serat yang diperoleh tidak homogen, bentuk butiran (*beads*) masih terbentuk sepanjang serat. *Beads* harus dihilangkan karena akan mengurangi luas permukaan serat dalam penggunaannya.

Beads pada serat nano kitosan dapat terjadi akibat kompetisi antara perubahan viskositas dan konduktifitas larutan selama proses *electrospinning*.^{12,13} Metode terkini untuk menghilangkan *beads* telah berhasil diterapkan pada pembuatan serat nano polistirena melalui peningkatan konduktifitas larutan dengan penambahan surfaktan ionik pada larutan polimer.¹⁴ Beberapa contoh surfaktan ionik adalah *dodecyltrimethyl-ammonium bromide* (DTAB), *tetrabutyl-ammonium chloride* (TBAC) dan *Hexadecylamine* (HDA).^{14,15}

Penelitian kali ini dilakukan untuk membuat serat nano *beads* yang berbahan dasar kitosan dengan derajat deasetilasi lebih kecil dari 70%. Pembuatan serat nano kitosan dilakukan melalui penambahan polimer PVA dan surfaktan kationik HDA.

METODE

Sintesis Kitosan

Sintesis kitosan dilakukan melalui deasetilasi kitin dari kulit udang windu (*Penaeus monodon*). Proses deasetilasi dilakukan dengan cara mereaksikan kitin dengan larutan NaOH (500 g NaOH dalam 1 L air) dengan perbandingan massa 1:25 pada suhu 120°C selama 4 jam. Kemudian dibilas hingga pH netral dan dikeringkan pada temperatur 105°C.

Derajat deasetilasi kitosan ditentukan melalui perbandingan absorbansi gugus asetamida terhadap gugus hidroksida pada karakterisasi *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR). Alat FTIR yang digunakan adalah Perkin Elmer FT/IR-4200 type A dengan serial number B012261018. Derajat Deasetilasi (DD) dihitung menggunakan Persamaan 1. A_{1655}/A_{3450} adalah perbandingan nilai absorbansi gugus fungsi asetamida pada bilangan gelombang 1655 cm⁻¹ dan gugus fungsi hidroksida pada bilangan gelombang 3450 cm⁻¹.

$$DD = \{1 - [(A_{1655}/A_{3450}) \times (1/1,33)]\} \times 100 \dots (1)$$

Kajian Literatur Pembuatan Serat Nano Kitosan Tanpa Beads Dengan Penambahan PVA

Pengkajian serat nano kitosan dengan penambahan PVA dilakukan dari hasil penelitian sebelumnya,¹² dan pengkajian literatur lain.^{9,10} Dari berbagai penelitian ini dilakukan analisis lebih lanjut mengenai hubungan antara derajat deasetilasi kitosan dengan jumlah PVA yang diperlukan untuk membuat serat nano tanpa *beads*. Dari hasil kajian ini ditentukan pula kadar kitosan dan PVA yang diperlukan, untuk membuat serat nano berbahan dasar kitosan tanpa *beads*.

Pembuatan Larutan Kitosan/PVA/HDA

Larutan kitosan/PVA dibuat dengan cara melarutkan 7 gram kitosan dalam asam asetat 2% berat dan 7 gram PVA dalam air.^{10,11,12,16,17} Kedua larutan tersebut kemudian dicampurkan dengan perbandingan berat larutan kitosan terhadap larutan PVA sebesar 70/30 dan 60/40. Surfaktan kationik HDA kemudian ditambahkan kepada dua jenis larutan tersebut, sehingga diperoleh tiga jenis larutan seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tiga jenis larutan Kitosan/PVA/HDA

No.	% Berat Kitosan/PVA		HDA
	Kitosan	PVA	
1	70%	30%	2x10 ⁻⁶ mol/L
2	60%	40%	2x10 ⁻⁶ mol/L
3	60%	40%	1x10 ⁻⁶ mol/L

Pembuatan Serat Nano dengan *Electrospinning*

Pembuatan serat nano dilakukan di Balai Besar Tekstil Bandung dengan mesin *electrospinning* yang dirakit dengan persetujuan antara Balai Besar Tekstil dan P.T. Eltexindo Mandiri. Material kolektor (*collector plate*) yang digunakan adalah aluminium foil. Larutan ditempatkan pada tabung jarum suntik 10 mL (*syringe* No. 10) dengan diameter jarum 0,8 mm (*Gauge* 21) yang merupakan diameter efektif.^{9,10,11,12} Larutan Kitosan/PVA/HDA dialirkan ke ujung jarum dengan bantuan pompa yang menghasilkan laju alir 0,1 mL/jam dengan waktu maksimum 30 menit. Jarak ujung jarum suntik ke kolektor yang digunakan adalah 15 cm. Tegangan yang digunakan adalah 15 kV. Tiga jenis serat nano kitosan dibuat dengan bahan dasar larutan campuran berat kitosan/PVA/HDA dengan kode 70/30/2, 60/40/2, 60/40/1

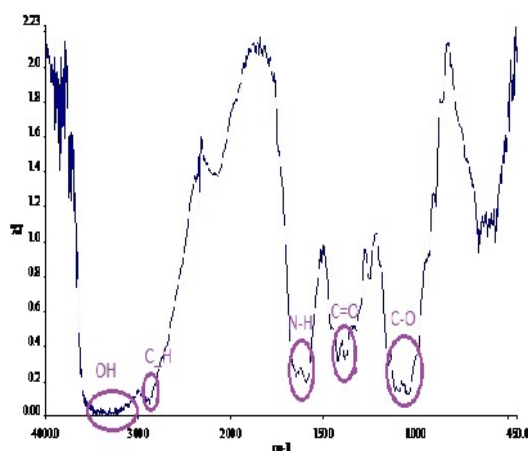
Karakterisasi Serat Nano

Penentuan morfologi dan diameter serat nano dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Alat yang digunakan adalah Philips XL-20 dan JEOL JSM-6510/LV/A/LA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Sintesis Kitosan

Gambar 1 memperlihatkan hasil karakterisasi FTIR kitosan yang telah dibuat dengan waktu deasetilasi 4 jam dengan puncak-puncak yang merepresentasikan gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam kitosan.¹⁸

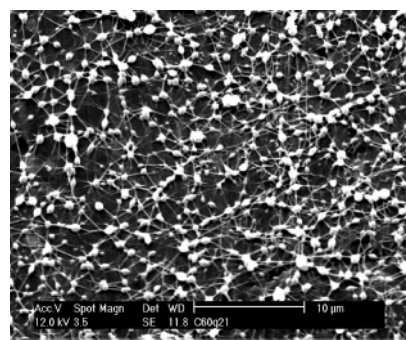


Gambar 1. FTIR spektra larutan kitosan

Hasil perhitungan berdasarkan hasil FTIR dan Persamaan 1 menunjukkan bahwa larutan kitosan tersebut memiliki derajat deasetilasi sebesar 65%. Menurut literatur,¹⁸ kopolimer dengan derajat deasetilasi lebih besar dari 50% dinyatakan sebagai kitosan.

Hasil Kajian Literatur Pembuatan Serat Nano Kitosan/PVA

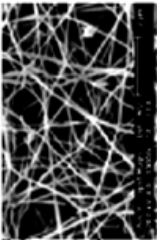
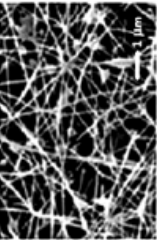
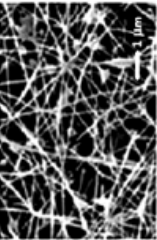
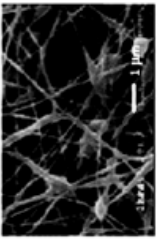
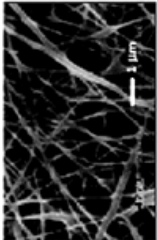
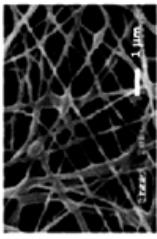
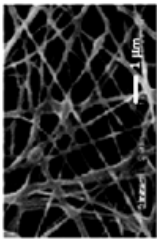
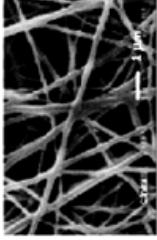
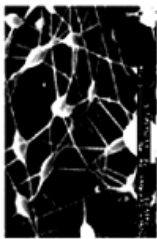
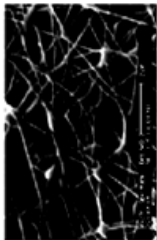
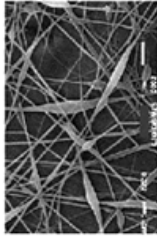
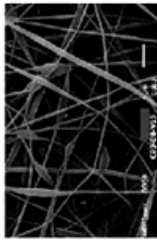
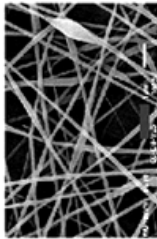
Gambar 2 memperlihatkan hasil penelitian terbaru sebelumnya,¹² yang menunjukkan bahwa dengan proses *electrospinning* pada tegangan 15kV, diameter jarum 0,8 mm dan jarak 15 cm, serat nano berbahan dasar kitosan dengan derajat deasetilasi 65 % berhasil dibuat melalui penambahan PVA minimum sebesar 40% berat larutan. Serat nano kitosan yang dihasilkan tersebut memiliki diameter rata-rata sekitar 130nm, namun masih memiliki *beads* sampai dengan penambahan PVA 80% berat larutan seperti dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Gambar 3 juga memperlihatkan perbandingan serat nano kitosan/PVA yang dibuat dengan parameter proses *electrospinning* yang serupa, namun dengan variasi derajat deasetilasi kitosan (65%, 80% dan 94%) dan variasi penambahan larutan PVA.^{9,10,12}



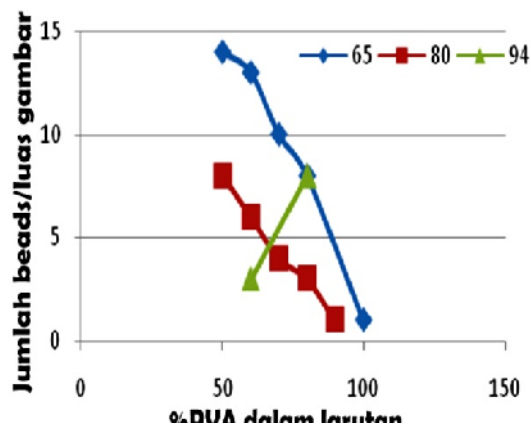
Gambar 2. Serat nano kitosan/PVA 60/40 yang masih memiliki *beads*.¹²

Hasil evaluasi jumlah *beads* terhadap variasi penambahan PVA dan variasi derajat deasetilasi ditampilkan pada Gambar 4. Semakin tinggi jumlah PVA yang terkandung pada larutan akan memudahkan serat nano terbentuk sekaligus menurunkan jumlah *beads* yang terbentuk (Gambar 3 dan 4). Penurunan jumlah *beads* juga terjadi dengan penggunaan larutan kitosan dengan derajat deasetilasi yang semakin tinggi (Gambar 3 dan 4). Anomali yang terjadi pada serat nano kitosan dengan derajat deasetilasi 94% kemungkinan diakibatkan oleh waktu spinning yang berbeda.

Penurunan jumlah *beads* yang terbentuk pada serat nano kitosan/PVA dapat terjadi akibat peningkatan viskositas larutan kitosan, akibat penambahan kadar PVA atau penggunaan derajat deasetilasi kitosan yang semakin tinggi.^{12,13} Peningkatan viskositas menunjukkan terjadinya peningkatan massa molekul relatif dari polimer dalam larutan, yang akan meningkatkan ketahanan tarik polimer, sehingga dalam proses *electrospinning* kemampuan larutan polimer membentuk serat tanpa *beads* semakin meningkat.^{12,19, 20}

Perbandingan Berat Kitosan/PVA Derajat Deasetilasi Kitosan	50/50	40/60	30/70	20/80	10/90	0/100
94%. ⁹						
80%. ¹⁰						
65%. ¹²						

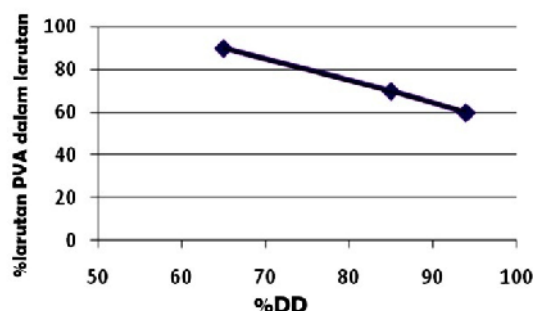
Gambar 3. Perbandingan serat nano Kitosan/PVA hasil *electrospinning* dengan variasi derajat deasetilasi kitosan.^{9,10,12}



Gambar 4. Perbandingan jumlah beads / 40µm² area evaluasi serat nano terhadap derajat deasetilasi kitosan (65%, 80%, 94%)

Pembuatan Serat Nano Kitosan/PVA Tanpa Beads

Berdasarkan kajian literatur,^{9,10,12} dapat diperoleh hubungan derajat deasetilasi kitosan dengan jumlah PVA yang diperlukan untuk membentuk serat nano tanpa *beads* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pembuatan seluruh serat nano kitosan pada Gambar 5 diperoleh melalui proses *electrospinning* dengan tegangan 15 kV, diameter jarum 0,8 mm, dan jarak ujung jarum suntik ke kolektor 15 cm.



Gambar 5. Kadar larutan PVA minimum terhadap derajat deasetilasi kitosan untuk membentuk serat nano kitosan/PVA tanpa beads. [Hasil Modifikasi Literatur 9,10,12]

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin rendah derajat deasetilasi yang digunakan, maka semakin tinggi jumlah larutan PVA yang harus ditambahkan ke dalam larutan kitosan. Dengan pendekatan linier, untuk memperoleh serat nano kitosan tanpa *beads*, jumlah PVA yang harus digunakan (% berat PVA) terhadap kitosan dengan derajat deasetilasi tertentu (%DD) dapat diperkirakan dari persamaan berikut:

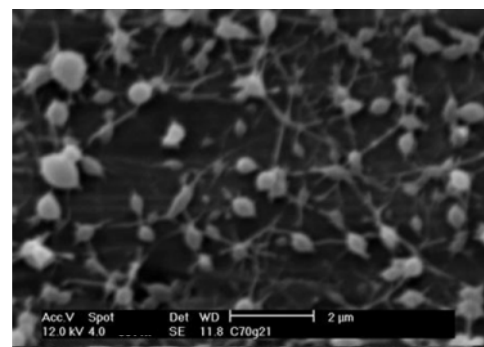
$$\% \text{ PVA} = -1,0287 (\% \text{DD}) + 157 \dots \dots \dots (2)$$

Dari persamaan ini diketahui bahwa untuk mendapatkan serat nano berbahan dasar kitosan (berat larutan kitosan lebih besar dari 50% berat larutan) harus digunakan kitosan dengan derajat deasetilasi lebih dari 105% yang mana tidak mungkin dicapai. Jika digunakan derajat deasetilasi kitosan komersial tertinggi sebesar 97%, untuk membentuk serat nano tanpa *beads* dibutuhkan penambahan larutan PVA 53% berat (atau larutan kitosan < 50%).²¹ Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada tegangan 15 kV, diameter jarum 0,8 mm, dan jarak ujung jarum suntik ke kolektor 15 cm, tidak akan diperoleh serat nano berbahan dasar kitosan (berat larutan kitosan > 50%) tanpa *beads*.

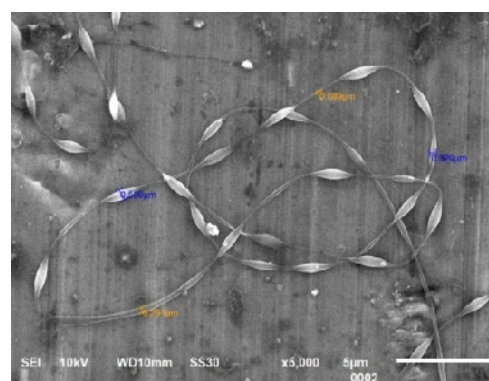
Hal ini sesuai dengan literatur,¹³ yang menyatakan bahwa metode menghilangkan beads larutan dengan cara meningkatkan viskositas larutan, dalam kajian ini melalui penambahan PVA dan peningkatan derajat deasetilasi kitosan, merupakan cara yang tidak efektif.

Pengaruh Penambahan HDA Dalam Pembuatan Serat Nano Kitosan/PVA Tanpa Beads

Hasil pembuatan serat nano berbahan dasar kitosan (berat kitosan di atas 50 %) dengan derajat deasetilasi rendah (65%) dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7. Pada ke dua gambar tersebut, dapat dilihat pula perbandingan antara serat nano kitosan/PVA tanpa dan dengan penambahan HDA.



a. Tanpa penambahan HDA ¹²



b. Dengan penambahan HDA

Gambar 6. Perbandingan serat nano kitosan/PVA 70/30 tanpa dan dengan penambahan HDA 2x10⁻⁶ mol/L

Serat nano berbahan dasar kitosan berhasil dibuat melalui penambahan PVA dan HDA dengan diameter sekitar 200nm. Penambahan HDA sebanyak 2×10^{-6} mol/L pada larutan kitosan/PVA dengan rasio berat 70/30 tidak berhasil menghilangkan *beads* serat nano (Gambar 6). Penambahan HDA sebanyak 1×10^{-6} mol/L terbukti berhasil menghilangkan *beads* serat nano berbahan dasar kitosan (rasio berat kitosan/PVA sebesar 60/40), seperti terlihat pada Gambar 7.

Dari persamaan 2 telah diketahui bahwa penambahan PVA tidak akan efektif dalam mengurangi jumlah *beads* serat nano kitosan dengan derajat deasetilasi rendah. Viskositas kitosan dengan derajat deasetilasi 65% terlampau rendah untuk ditingkatkan dengan penambahan PVA. Selain itu terjadi kompetisi antara kenaikan viskositas dan penurunan konduktivitas larutan akibat penambahan PVA.^{12,13}

Penambahan surfaktan kationik HDA akan sedikit meningkatkan viskositas dan menurunkan tegangan tarik permukaan larutan kitosan/PVA. Namun, penambahan HDA akan meningkatkan konduktivitas larutan kitosan/PVA secara signifikan. Hal ini akan memperbesar tegangan yang mampu diterima oleh larutan dan meningkatkan proses peregang serat dalam proses *electrospinning*. Peningkatan proses peregang akan membuat serat cair teregang lebih cepat dan homogen tanpa sempat membentuk *beads*.¹³ Hal ini yang membuat penambahan HDA sebesar 1×10^{-6} mol/L berhasil menghilangkan *beads* serat nano berbahan dasar kitosan (rasio berat kitosan/PVA : 60/40) dengan derajat deasetilasi rendah (65%). Namun pada rasio berat larutan kitosan/PVA : 70/30, penambahan HDA masih belum mampu meningkatkan kemampuan larutan untuk menghasilkan serat nano kitosan tanpa *beads*.

KESIMPULAN

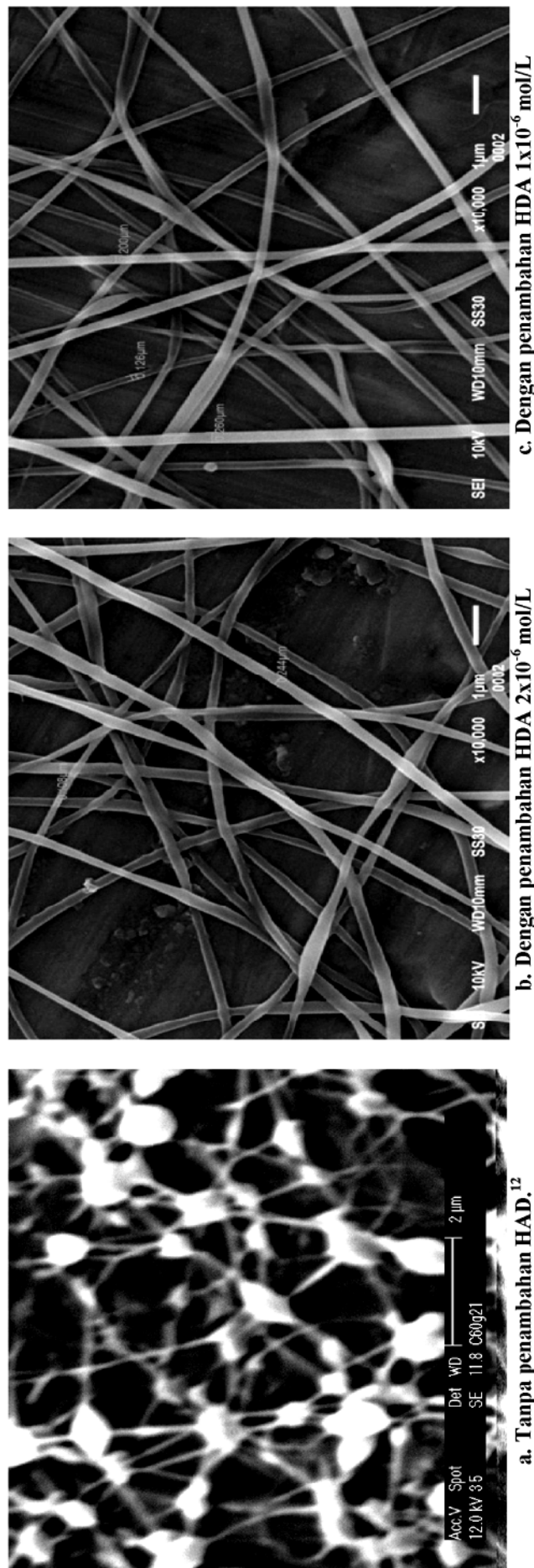
Untuk membuat serat nano kitosan/PVA tanpa *beads*, kadar PVA yang diperlukan dapat ditentukan melalui persamaan: % PVA = $-1,0287 (\%DD) + 157$. Persamaan ini berlaku pada penggunaan tegangan 15 kV, diameter jarum 0,8 mm, dan jarak ujung jarum suntik ke kolektor 15 cm. Namun, penambahan PVA akan mengurangi efek penggunaan kitosan dan tidak akan efektif dalam mengurangi jumlah *beads*, terutama pada serat nano kitosan dengan derajat deasetilasi rendah. Hal ini disebabkan oleh terjadinya kompetisi antara kenaikan viskositas dan penurunan konduktivitas larutan akibat penambahan PVA

Penambahan surfaktan kationik HDA terbukti efektif menghilangkan *beads* serat nano berbahan dasar kitosan (rasio berat kitosan/PVA: 60/40) dengan derajat deasetilasi rendah (65%). Serat nano kitosan tanpa *beads* dengan derajat deasetilasi 65% dapat dibuat melalui proses *electrospinning* dengan penambahan PVA sebesar 40% berat larutan dan penambahan HDA sebesar 1×10^{-6} mol/L. Serat

nano kitosan yang dihasilkan memiliki diameter sekitar 200nm.

DAFTAR PUSTAKA

- Pillai, C. K. S., Sharma, C. P. 2009. Electrospinning of chitin and chitosan nanofibres. *Trends Biomater. Artif. Organs*, Vol 22(3): 179-201.
- Frieze, S. De. 2009. The effect of temperature and humidity on electrospinning. *J Mater Sci* (2009) 44:1357-1362.
- Jia J., Duan, Y., Wang, S., et al. 2007. Preparation and characterization of Antibacterial silver-containing nanofibers for wound dressing applications. *Journal of US-China Medical Science*, ISSN1548-6648, USA. Feb. 2007, Volume 4, No.2 (Serial No.27).
- Reis, C. C., TuzlaKoglu, Y., Baas, E., et al. 2007. Influence of porosity and fibre diameter on the degradation of chitosan fibre-mesh scaffolds and cell adhesion. *J Mater Sci: Mater Med* 18:195-200, DOI 10.1007/s10856-006-0681.
- Lee, E. H., Uyama, H., Kwon, O. H., et al. 2009. Fabrication of ultrafine fibers of poly(c-glutamic acid) and its derivative by electrospinning. *Polym. Bull.* 63:735-742, DOI 10.1007/s00289-009-0112-5.
- Kriegel, C., Kit, K. M., Mc Clements, D. J., et al. 2009. Influence of Surfactant Type and Concentration on Electrospinning of Chitosan-Poly(Ethylene Oxide) Blend Nanofibers. *Food Biophysics* 4:213-228, DOI 10.1007/s11483-009-9119-6.
- Xu, Xiongli, Zhou, Meihua. 2008. Antimicrobial Gelatin Nanofibers Containing Silver Nanoparticles. *Fibers and Polymers*, Vol.9, No.6: 685-690.
- MA, G. P., Yang, D. Z., Chen, B. L., et al. 2010. Preparation and characterization of composite fibers from organic-soluble chitosan and poly-vinylpyrrolidone by electrospinning. *Front. Mater. Sci. China*, 4(1): 64-69, DOI 10.1007/s11706-010-0012-5.
- Zhang, Y., Huan, X., Duan, B., et al. 2007. Preparation of electrospun chitosan/poly(vinyl alcohol) membranes. *Colloid Polym Sci* 285:855-863, DOI 10.1007/s00396-006-1630-4.
- Panboon, M. S. S. 2005. *Electrospinning of Poly(vinyl alcohol)/chitosan Fibers for Wound Dressing Applications*. King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, ISBN 974-19-0476-2.
- Sajeev, U. S., et al. 2008. Control of nanostructures in PVA, PVA/chitosan blends and PCL through electrospinning. *Indian Academy of Science, Bull. Mater. Sci.*, Vol. 31, No. 3: 343-351.
- Wiwini Winiati, Hermawan Judawisastra, Prisa Annisa Ramadhianti. 2012. Pembuatan Serat Nano dengan Bahan Dasar Kitosan dan PVA. *Proceeding Diseminasi Hasil Litbang Tekstil 2012: Development of Textile and Textile Products Based on Energy Efficiency and Natural Resources*, Hotel Horison Bandung 28 Juni 2012, BBT, 2012, 205-213.
- P.J. Brown, K. Stevens. 2009. *Nanofibers and Nanotechnology in Textiles*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK. 96-98.



Gambar 7. Perbandingan serat nano kitosan/PVA 60/40 tanpa dan dengan penambahan HDA

- ¹⁴ Lin, Tong, Wang, Hongxia, Wang, Huimin and Wang, Xungai. 2004, Charge effect of cationic surfactants on the elimination of fibre beads in the electrospinning of polystyrene, *Nanotechnology*, vol. 15: 1375-1381.
- ¹⁵ Elisabeth PERDU-DURAND, Nicole GASC, Jean-Pierre CRAVEDI. 2006. Hexadecylamine biotransformation rates in carp and rainbow trout liver subcellular fractions. *ERASM Final Report*, Toulouse, France, July 2006. 1-14.
- ¹⁶ Geng, X., Kwon, O. H., Jang, J. 2004. Electrospinning of chitosan dissolved in concentrated acetic acid solution. *Biomaterials* 26. 5427-5432.
- ¹⁷ El Hefian, E. A., Nasef, M. M., Yahaya, A. H. 2011. Preparation and Characterization of Chitosan /Poly (Vinyl Alcohol)Blended Films: Mechanical, Thermal and Surface Investigations. ISSN: 0973-4945; CODEN ECJHAO *E-Journal of Chemistry*, 8(1), 91-96.
- ¹⁸ Khor, E. 1996, *Chitin:Fulfilling a Biomaterial's Promise*, Elsevier Science, Singapore, Chapter 1, 2-6.
- ¹⁹ Ramakrishna, S., Fujihara, K. 2005. *An introduction to electrospinning and nanofibers*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., London, UK. Chapter 3. 90-116.
- ²⁰ Klossner, R.R., Queen, H.A., Coughlin, A.J., et.al., 2008, Correlation of Chitolsan's Rheological Properties and Its ability to Electrospin, *Biomacromolecules*. Vol. 9. 2947-2953.
- ²¹ Kang, Y. M., Lee, B. N., Ko, J. H., et al. 2010. In Vivo Biocompatibility Study of Electrospun Chitosan Microfiber for Tissue Engineering. *Int. J. Mol. Sci.* 2010, Vol. 11, 4140-4148; doi: 10.3390/ijms 11104140.
-