

PEMBUATAN SERAT NANO MENGGUNAKAN METODE ELECTROSPINNING

Oleh: Tatang Wahyudi, Doni Sugiyana

Balai Besar Tekstil
Jl. A. Yani No. 390 Bandung Telp. 022.7206214-5 Fax. 022.7271288
E-mail: texirdti@bdg.centrin.net.id

Tulisan diterima : 28 Maret 2011, Selesai diperiksa : 10 Mei 2011

ABSTRAK

Dalam penelitian ini telah dilakukan pembuatan serat nano (*nanofiber*) menggunakan metode *electrospinning* dari material polimer: polivinil alkohol (PVA), *chitosan* dan nilon-6. Optimasi proses pembuatan serat nano dilakukan dengan mempelajari pengaruh jenis polimer, konsentrasi polimer dan parameter operasi *electrospinning* (tegangan listrik dan jarak antara *spinneret* – kolektor) terhadap struktur dan morfologi serat nano. Proses *electrospinning* dengan menggunakan PVA 15 % dengan rentang tegangan listrik 15 – 20 kV dan rentang jarak *spinneret* – kolektor 10 – 12 cm menghasilkan morfologi serat nano yang tidak kontinyu dengan diameter antara 70 – 150 nm. Proses *electrospinning* dengan menggunakan bahan baku polimer larutan *chitosan* 2 % dalam asam asetat tidak dapat menghasilkan formasi fiber. Proses *electrospinning* menggunakan larutan nilon-6 20 % pada kondisi optimum tegangan listrik 20 kV dan jarak *spinneret* – kolektor 10 cm menghasilkan serat nano yang kontinyu dengan diameter berkisar antara 100 – 350 nm.

Kata kunci: *nanofiber; PVA; chitosan; nilon 6; electrospinning*

ABSTRACT

In this study, synthesis of nanofiber by using electrospinning from polymer materials: polyvinyl alcohol (PVA), chitosan and nylon-6 has been carried out. Optimization of nanofibers synthesis was performed by investigating effect of polymer types, polymer concentration and operational parameters of electrospinning (electric potential and spinneret – collector gap) to the structure and morphology of nanofibers. Electrospinning process by using PVA 15% with electric potential 15 – 20 kV and spinnerete – collector gap 10 – 12 cm, produced non continuous nanofibers morphology at diameter ranging from 70 – 150 nm. Electrospinning process by using chitosan 2% was not able to produce fiber formation. Electrospinning process by using nylon-6 20% at optimized electric potential 20 kV and spinnerete – collector gap 10 cm produced continuous nanofibers with diameter ranging from 100 – 350 nm.

Keywords: *nanofibers; PVA; chitosan; nilon 6; electrospinning*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan nanoteknologi yang sangat pesat dalam beberapa dekade terakhir ini telah memberikan dampak terhadap perkembangan berbagai industri, termasuk industri tekstil. Aplikasi nanoteknologi dalam industri tekstil dapat menghasilkan produk yang bersifat lebih fungsional. Salah satu material tekstil yang dihasilkan dengan menggunakan prinsip nanoteknologi adalah serat nano (*nanofiber*). Serat nano dalam dunia tekstil didefinisikan sebagai serat yang memiliki diameter sebesar 100 – 500 nm⁽¹⁾. Dengan keunggulan sifat-sifat yang dimilikinya seperti luas permukaan yang tinggi, struktur berpori dan tingkat modulus elastisitas, nanofiber dilaporkan dapat diaplikasikan secara efektif untuk bidang medis, filtrasi, kain pelindung (*protective fabrics*) dan lain-lain⁽²⁻⁵⁾.

Pada dasarnya pembuatan serat nano dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti teknik pemintalan serat multikomponen, *melt blowing* dan

electrospinning. Dari ketiga metode pembuatan serat tersebut, untuk saat ini *electrospinning* merupakan teknik yang cukup sederhana namun mampu menghasilkan serat nano dengan rentang ukuran paling kecil yakni 0,04 – 2 mikron⁽⁶⁾.

Electrospinning merupakan suatu proses pembuatan serat nano yang efisien dengan memanfaatkan pengaruh medan listrik dalam menghasilkan pancaran (*jet*) larutan atau lelehan polimer bermuatan listrik. Serat nano polimer terbentuk karena pada proses tersebut terjadi penguapan pelarut secara simultan. Beberapa keuntungan metode *electrospinning* terletak pada peralatannya yang relatif sederhana dan biayanya yang cukup efisien. Pada prinsipnya mekanisme pembuatan serat dengan *electrospinning* adalah dengan cara mendorong larutan polimer yang diberi tegangan listrik tinggi menggunakan pompa syringe hingga membentuk butir/tetes larutan pada ujung kapiler *spinnerete*. Butir/tetes larutan polimer yang

telah terinduksi muatan listrik tersebut dibawah pengaruh medan listrik akan meloncat atau bergerak ke arah elektroda dengan muatan berlawanan sambil disertai proses penguapan pelarut polimer, sehingga yang tertinggal pada pelat pengumpul (*collecting plate*) hanya serat polimernya saja^(1-5,7). Berbagai jenis serat nano dapat dihasilkan dari berbagai jenis polimer baik polimer alam maupun polimer sintetis. Serat nano dari suatu bahan polimer dibuat dan diteliti oleh banyak para peneliti umumnya dikarenakan memiliki sifat serta karakteristik seperti luas permukaannya yang tinggi, ukuran pori yang kecil dan kemungkinannya untuk dibentuk struktur tiga dimensi sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai media filtrasi, serat optik, sistem penghantaran obat (*drug delivery*) dalam dunia farmasi, *tissue scaffolds* dalam dunia medis, dan pakaian/tekstil pelindung (*protective clothing*). F. Dotti dan kawan-kawan (2007) telah meneliti sifat permukaan serat nano yang berhubungan dengan sistem filtrasi dari polimer Polietilen oksida (PEO), Polivinil alkohol (PVA) dan nilon 6. Serat nano yang dihasilkan dilaporkan memperlihatkan sifat permeabilitas ketiga jenis polimer tersebut dengan efektifitas yang tinggi untuk sistem filtrasi udara dan cairan. Serat hasil *electrospinning* juga dapat diaplikasikan dalam bidang biomedis antara lain sebagai pembalut luka, penghantaran obat. Salah satu bahan polimer yang digunakan adalah *chitosan*. *Chitosan* memiliki karakteristik seperti biodegradability, biocompatibility, tidak toksik, dapat mempercepat pertumbuhan jaringan sel pada luka dan anti bersifat antibakteri⁽¹¹⁾.

Berdasarkan hal – hal tersebut, dalam penelitian ini dipelajari pembuatan nanofiber dari beberapa jenis polimer yaitu: polivinil alkohol (PVA), *chitosan* dan nilon 6. Bahan polimer tersebut dipilih disamping memiliki sifat dan bidang aplikasi yang telah disebutkan di atas, juga ketersediaannya cukup banyak dengan harga yang relatif murah. Bahkan sumber bahan baku untuk pembuatan *chitosan* yakni limbah dari hasil perikanan cukup melimpah berupa kulit udang dan kepiting yang saat ini di lapangan hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak ikan. Pemanfaatan limbah hasil perikanan tersebut dengan cara mengolahnya menghasilkan *chitosan* sudah barang tentu dapat meningkatkan nilai tambah dengan nilai ekonomi lebih tinggi. Pada penelitian ini pembuatan serat nano PVA, *chitosan* dan nilon6 dilakukan dengan menggunakan alat *electrospinning* produksi dalam negeri dengan cara mengoptimalkan variabel proses seperti tegangan listrik dan jarak *spinneret* – kolektor. Karakterisasi serat nano yang dihasilkan dilakukan dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM).

2. METODOLOGI

2.1. Bahan dan Peralatan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah polivinil alkohol (Aldrich), *chitosan* hasil sintesis, nilon-6 (Aldrich), asam asetat (Merck), asam formiat (Merck) dan aquadest.

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *electrospinning* (spesifikasi alat pada Tabel 1) beserta aksesorisnya (*nozzle, syringe, selang silikon, kaca pembesar, dsb.*). Penelitian dilakukan di laboratorium kimia tekstil dan laboratorium lingkungan Balai Besar Tekstil.

2.2. Persiapan Pembuatan Larutan Polimer

2.2.1. Larutan PVA

Dalam penelitian ini larutan polivinil alkohol (PVA) dibuat pada konsentrasi 15 %. Larutan dibuat dengan melarutkan 15 gram PVA dalam aquades dan diaduk perlahan dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 80°C kemudian diencerkan sampai volume 100 mL.

Tabel 1. Spesifikasi alat *electrospinning*

No.	Aspek	Spesifikasi
1	Material	PVC, acrylic, steel plate. Hard powder chemical resistance coating.
2	Power Supply	Rentang tegangan output : 0 - 40 KV Arus listrik : 0 – 110 μ A
3	Daya	1500 W (220 VAC)
4	Dimensi	168 cm x 98 cm x 75 cm
5	Berat kotor	250 kg
6	Exhaust fan	Kapasitas : 100 m ³ /jam Filter : High Efficiency Particulate Air (HEPA)
7	Sumber radiasi	Inframerah, ultraviolet
8	Kecepatan rotasi	10 – 300 cm/min.
9	Spinneret	Bahan : Stainless steel dan Teflon. Lubang : 1, 3, 5, and 9 buah
10	Jenis kolektor	Pelat (W100 mm, L 200 mm), drum (150 mm, L 200 mm) , disk (50 mm, L 5mm dan rod (4 mm, L 200 mm).

2.2.2. Larutan Chitosan⁽⁸⁾

Bahan baku *chitosan* dalam penelitian ini diperoleh melalui pembuatan dari limbah kulit udang (*crustaceae*). Tahapan pembuatan *chitosan* meliputi: isolasi chitin, proses deproteinasi, proses dekalsinasi dan proses deasetilasi chitin. Isolasi chitin dilakukan dengan mencuci kulit udang hingga bersih dengan air dan dijemur hingga kering. Proses deproteinasi dilakukan dengan merendam 50 gram kulit udang yang telah dikeringkan dalam 2 liter larutan NaOH 1% b/v sambil dipanaskan pada temperatur 80 °C dan diaduk sesering mungkin selama 1 jam, selanjutnya ditiriskan dan dicuci. Kulit udang yang telah mengalami proses deproteinasi kemudian didekalsinasi dengan direndam dalam larutan HCl 3% v/v sambil dipanaskan pada temperatur 50 °C dan diaduk sesering mungkin selama 1 jam, kemudian ditiriskan dan dicuci. Proses deasetilasi dilakukan dengan merendam kulit udang yang telah mengalami proses dekalsinasi dalam 1,5 liter larutan NaOH 50 % b/v mendidih sambil sesekali diaduk selama 2 jam.

Kemudian chitosan yang diperoleh ditiriskan dan cuci kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 40-50 °C⁽⁸⁾. Dalam penelitian ini digunakan larutan chitosan dengan kadar chitosan sebesar 2 %. Larutan tersebut dibuat dengan melarutkan 2 gram chitosan dalam asam asetat (50 – 90 %) hingga volume 100 mL, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga chitosan larut.

2.2.3. Larutan Nilon-6

Larutan nilon-6 dengan konsentrasi 20% dibuat dengan melarutkan 20 gram nilon-6 dalam 100 mL asam formiat sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan pada temperatur 80°C secara perlahan hingga nilon larut sempurna.

2.3. Proses Electrospinning

Proses pembuatan serat nano (*nanofiber*) dilakukan dengan menggunakan peralatan *electrospinning* (Gambar 1). Tahap awal proses adalah memasukkan larutan polimer ke dalam *syringe* bervolume 10 mL, kemudian larutan dialirkan melalui selang silikon menuju *spinneret*. Pada saat larutan polimer mengalir ke dalam selang hingga ujung *spinneret* harus dipastikan tidak terdapat gelembung udara yang terperangkap dalam selang silikon. Ujung logam *spinneret* kemudian dihubungkan dengan kutub positif sumber listrik tegangan tinggi dengan cara mengencangkan ulir yang terdapat pada penyangga *spinneret* tersebut. Lembaran aluminium foil diletakkan di atas kutub negatif yang berada di bawah *spinneret* dan digunakan sebagai kolektor serat nano yang terbentuk selama proses *electrospinning* berlangsung.

Pengamatan yang dilakukan terhadap parameter *electrospinning* yang berpengaruh pada pembentukan serat nano meliputi: konsentrasi larutan polimer, jarak *spinneret* terhadap kolektor dan tegangan listrik yang digunakan. Tegangan listrik yang digunakan dalam percobaan ini 15 – 20 kV dan jarak antara *spinneret* dengan kolektor 10 – 12 cm. Proses *electrospinning* dilakukan pada temperatur ruangan dan berlangsung selama 30 – 60 menit hingga terbentuk lapisan serat nano pada aluminium foil.

2.4. Karakterisasi Serat Nano

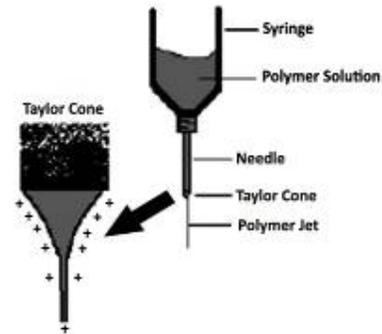
Struktur dan morfologi serat nano yang dihasilkan dari proses *electrospinning* dikarakterisasi dengan menggunakan *scanning electron microscope/ SEM* (JEOL, JSM 6360 LA).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Persiapan larutan polimer

Berdasarkan beberapa referensi, keberhasilan pembentukan serat nano dengan *electrospinning* sangat dipengaruhi oleh viskositas larutan polimer yang digunakan^(1,7). Viskositas larutan polimer yang akan diinjeksikan pada *electrospinning* harus cukup tinggi, secara visual larutan tampak seperti *gel*. Untuk menentukan viskositas larutan polimer yang tepat untuk dapat

menghasilkan serat nano secara optimal, secara sederhana diindikasikan dengan terbentuknya *Taylor Cone* di ujung *spinneret* saat *electrospinning* (Gambar 2)^(7,9).



Gambar 1. Pembentukan *Taylor Cone* di ujung *spinneret*⁽⁷⁾

Dalam penelitian ini kadar larutan polimer optimum yang digunakan adalah 15 % b/v untuk PVA, mengingat secara visual larutan polimer tersebut tampak larutan cukup kental. Sedangkan untuk larutan nilon-6 dan larutan *chitosan* merujuk pada hasil penelitian peneliti terdahulu, yakni masing-masing sebesar 2 % dan 20 %⁽⁹⁻¹¹⁾. Pada konsentrasi melebihi jumlah tersebut, larutan polimer yang digunakan relatif sulit mengalir dalam *spinneret* mengingat proses *electrospinning* dalam penelitian ini hanya mengandalkan gaya gravitasi.

Sebagai percobaan awal, dilakukan proses *electrospinning* dengan larutan polivinil alkohol (PVA) dengan konsentrasi yang tidak ditentukan namun cukup kental, untuk mendapatkan gambaran awal hasil serat nano yang akan diperoleh. Alat *electrospinning* yang digunakan memiliki sistem vertikal di mana kolektor berada di bagian bawah sehingga jet larutan polimer bergerak dari atas ke bawah. Larutan PVA diinjeksikan ke dalam *spinneret* kemudian *electrospinning* dioperasikan pada tegangan 20 kV dan jarak *spinneret*-kolektor 10 cm. Hasil *electrospinning* (Gambar 3) menunjukkan bahwa serat nano PVA dapat terbentuk dan secara visual berbentuk selaput tipis berwarna putih. Dari percobaan awal, dapat disimpulkan alat *electrospinning* yang digunakan dalam penelitian ini mampu menghasilkan serat nano.



Gambar 2. Alat *Electrospinning* yang digunakan dalam penelitian



Gambar 3. Serat nano PVA hasil percobaan awal electrospinning

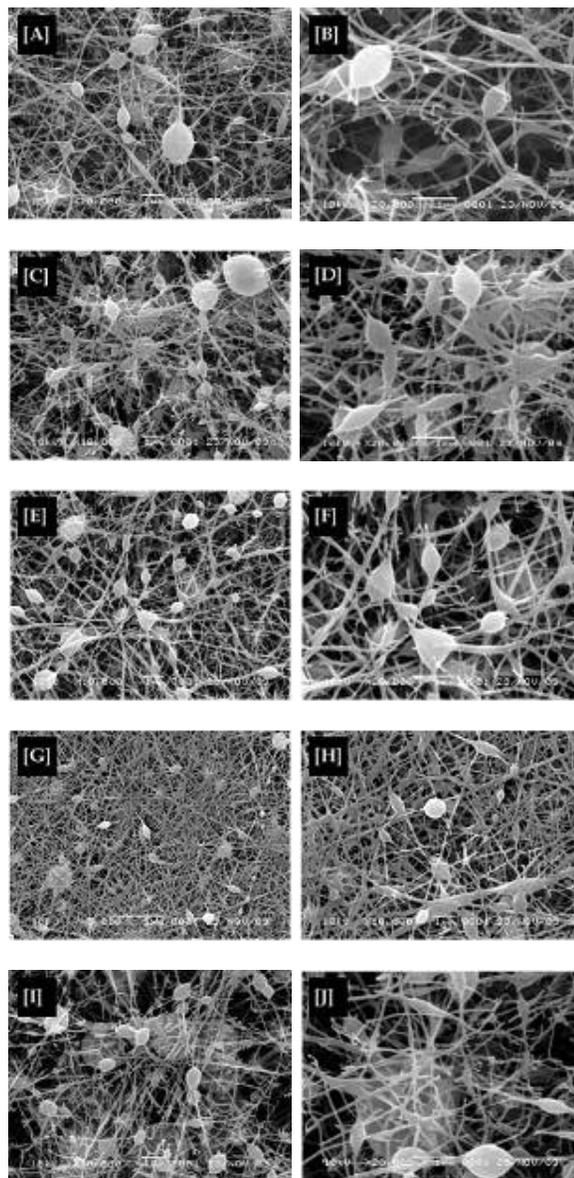
3.2. Serat Nano polivinil alkohol (PVA)

Dalam proses *electrospinning* telah dilakukan pengamatan terhadap pengaruh beberapa variabel proses yaitu jarak spinneret-kolektor dan tegangan listrik yang digunakan terhadap struktur dan morfologi serat nano yang dihasilkan. Jarak *spinneret*-kolektor divariasikan antara 8 – 12 cm, sedangkan tegangan listrik divariasikan antara 10 – 15 KV. Hasil *electrospinning* larutan PVA dengan berbagai variasi jarak *spinneret*-kolektor dan tegangan listrik yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar. 4(a-b) dan Gambar 4 (c-d) adalah hasil pemotretan menggunakan SEM serat nano yang dihasilkan dari proses *electrospinning* larutan PVA 15% b/v dalam pelarut air menggunakan tegangan listrik 15 kV dan jarak spinneret yang berbeda yakni masing-masing 10 cm dan 12 cm. Dari Gambar 4 (a-d) tampak bahwa proses *electrospinning* pada tegangan listrik 15 kV berhasil menghasilkan serat yang berukuran nanometer yang bentuknya tidak kontinyu, hal ini merupakan konsekuensi dari tidak konsistennya aliran polimer yang terjadi. Serat yang terbentuk terlihat tidak kontinyu berdiameter antara 70 -150 nm, di samping itu di antara serat terdapat gumpalan polimer PVA yang tidak berhasil ditarik oleh medan listrik, keadaan ini diduga karena tidak seimbang antara laju alir dengan tegangan listrik yang digunakan. Laju alir larutan polimer diperkirakan terlalu cepat keluar dari lubang *spinneret* sehingga menyebabkan terjadinya dorongan terhadap Taylor cone larutan PVA dan akhirnya jatuh menetes, dimana kejadian ini terjadi secara berulang. Pada percobaan ini laju alir larutan polimer agak sulit dikendalikan dikarenakan pengaliran larutan polimer tersebut secara gravitasi. Dari pengamatan Gambar 4 terlihat bahwa perpanjangan jarak spinneret terhadap kolektor semakin sering terjadinya pemutusan serat yang terbentuk.

Gambar 4 (e-j) memperlihatkan serat PVA yang terbentuk sebagai hasil proses *electrospinning* dengan kondisi tegangan listrik yang ditingkatkan dari 15 kV menjadi 20 kV. Dari pengamatan gambar foto SEM tersebut tampak didominasi oleh serat yang terbentuk dengan diameter kira-kira 150 nm. Bentuk serat tetap terputus-putus dengan mengandung tetesan larutan polimer yang tidak

berhasil ditarik oleh medan listrik. Perubahan jarak spinneret terhadap kolektor menjadi 12 cm (tegangan listrik tetap 20 kV) menghasilkan serat dengan diameter lebih kecil kira-kira 70 – 140 nm sebagaimana terlihat pada Gambar 4 (i-j).

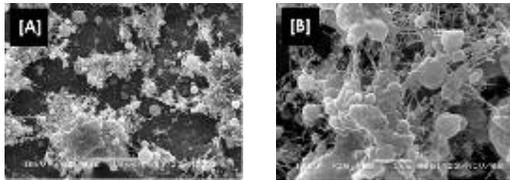


Gambar 4. Foto SEM nanofiber PVA 15 %:

- [a] Tegangan listrik 15 kV, jarak 10 cm, perbesaran 10.000x;
- [b] Tegangan 15 kV, jarak 10 cm, perbesaran 20.000x;
- [c] Tegangan listrik 15 kV, gap 12 cm. perbesaran 10.000x;
- [d] Tegangan 15 kV, jarak 12 cm, perbesaran 20.000x;
- [e] Tegangan 20 kV, jarak 8 cm, perbesaran 10.000x;
- [f] Tegangan 20 kV, jarak 8 cm, perbesaran 20.000x;
- [g] Tegangan 20 kV, jarak 11 cm, perbesaran 5.000x;
- [h] Tegangan 20 kV, jarak 11 cm, perbesaran 10.000x;
- [i] Tegangan 20 kV, jarak 12 cm, perbesaran 10.000x;
- [j] Tegangan 20 kV, jarak 12 cm, perbesaran 20.000x.

3.3. Serat Nano *Chitosan*

Gambar 5(a-b) menunjukkan hasil foto SEM hasil *electrospinning* larutan *chitosan* 2% b/v dalam asam asetat 90%. Gejala yang terjadi pada saat proses *electrospinning* *chitosan* berlangsung adalah sulitnya terbentuk *Taylor cone* pada ujung *spinneret*. Aliran jet yang terjadi berupa tetesan cepat ke arah kolektor. Hasil foto SEM memperlihatkan bahwa meskipun diameter serat nano yang terbentuk kurang dari 70 nm namun jumlahnya tidak signifikan, hasil *electrospinning* lebih dominan berupa gumpalan. Dapat disimpulkan bahwa proses *electrospinning* dari polimer *chitosan* dalam percobaan ini tidak dapat membentuk formasi serat nano yang ideal.



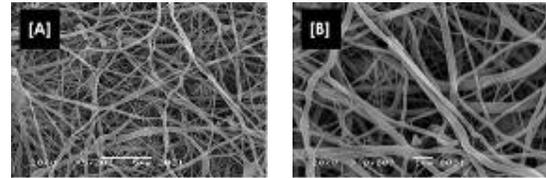
Gambar 5. Foto SEM *chitosan* 2%, tegangan 20 kV, jarak *spinneret*-kolektor 12 cm

[A] perbesaran 5.000x;
[B] perbesaran 10.000x

Tidak terbentuknya formasi serat nano *chitosan* dapat dijelaskan karena sifat larutan *chitosan* yang memiliki viskositas dan tegangan permukaan yang tinggi. Sifat larutan tersebut dipengaruhi oleh struktur D-glukosamin yang terdapat dalam *chitosan* yang memiliki kristalinitas serta memiliki kemampuan melakukan ikatan hidrogen yang tinggi sehingga larutan *chitosan* lebih bersifat menyerupai suatu polielektrolit kationik. Larutan dengan konsentrasi yang cukup tinggi dengan viskositas yang cukup rendah menyebabkan serat nano sulit dibuat melalui proses *electrospinning*.

3.4. Serat Nano Nilon-6

Serat nano dari proses *electrospinning* menggunakan larutan nilon-6 dengan konsentrasi 20% dalam asam formiat diperlihatkan pada Gambar 6(a-b). Konsentrasi 20% merupakan konsentrasi minimal nilon-6 untuk menghasilkan viskositas yang cukup agar dapat dilakukan proses *electrospinning*, hal ini didasarkan pada pengamatan secara visual pada saat proses *electrospinning* tersebut berlangsung dimana telah memperlihatkan terjadinya *Taylor cone* pada ujung *spinneret*. Sedangkan konsentrasi larutan nilon-6 di bawah 20% tidak memperlihatkan gejala demikian sehingga larutan nilon-6 mudah menetes dari ujung *spinneret*. Tampak bahwa serat yang dihasilkan cukup uniform dengan ukuran kira-kira antara 100 – 350 nm.



Gambar 6. Foto SEM serat nano nilon-6 20%, tegangan 20 kV, jarak *spinneret*-kolektor 10 cm

[A] perbesaran 5.000x;
[B] perbesaran 10.000x

Diskontinuitas serat nano dalam penelitian ini banyak dipengaruhi oleh sistem gravitasi yang diterapkan pada proses *electrospinning*. Dalam penelitian selanjutnya perlu diterapkan sistem laju alir larutan *electrospinning* yang kontinu dengan menggunakan pompa, sehingga tidak akan terjadi diskontinuitas injeksi. Selain itu, mengingat banyaknya faktor – faktor lain yang berpengaruh maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, sehingga serat nano yang dihasilkan memiliki karakter yang lebih baik lagi sesuai dengan bidang aplikasinya. Dalam hal pembuatan serat nano dari polimer *chitosan*, tampak diperlukan pencampuran dengan jenis polimer lain agar diperoleh serat yang lebih kontinu.

4. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan proses *electrospinning* terhadap beberapa larutan polimer diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat nano dari beberapa senyawa polimer telah dapat disintesis dengan *electrospinning*. Kondisi proses *electrospinning* dipengaruhi oleh konsentrasi dan viskositas larutan polimer, jarak *spinneret* – kolektor dan tegangan listrik yang digunakan.
2. Proses *electrospinning* dengan polivinil alkohol (PVA) 15% menggunakan tegangan listrik 15 – 20 kV dan jarak *spinneret* 10 - 12 cm menghasilkan serat nano yang bersifat tidak kontinu dengan rentang diameter antara 70 – 150 nm.
3. Hasil *electrospinning* larutan *chitosan* 2% b/v dalam asam asetat 90% tidak memperlihatkan formasi ideal nanofiber, bentuk hasil *electrospinning* masih berupa gumpalan. Hal ini dipengaruhi sifat larutan *chitosan* yang bersifat menyerupai polielektrolit dengan viskositas yang tinggi, sehingga konsentrasi yang ideal untuk proses *electrospinning* belum dapat diperoleh.
4. Proses *electrospinning* larutan nilon-6 dengan konsentrasi 20% dalam asam formiat dengan kondisi operasi jarak *spinneret* – kolektor 10 cm dan tegangan listrik 20 kV menghasilkan nanofiber yang kontinu dengan diameter berkisar 100 – 350 nm.

5. SARAN

Perlu dilakukan upaya perbaikan terhadap alat *electrospinning* yang ada dengan cara pemasangan pompa syring dengan kecepatan sangat rendah, sehingga kontinuitas serat nano yang dihasilkan menjadi lebih terjaga, tidak terputus-putus serta pembentukan butir gumpalan (*beads*) dapat diminimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Subbiah T. et.al, Electrospinning of Nanofiber, *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, 96, 557-569.
2. Mohan A.(2002), *Formation and Characterization of Electrospun Nonwoven web*, *Textile Management and Technology*, North Carolina State University.
3. Dotti F. et al, Electrospun Porous Mats for High Efficiency Filtration, *Journal of Industrial Textile*, 2007, 37, 151-162.
4. Qian L. et.al, Application of Nanotechnology for High Performance Textiles, *Journal of Textile and Apparel Technology and Management*, 2004, 4,1, 1-7.
5. Piras et al, New Multicomponent Bioerodible Electrospun Nanofibers for Dual-controlled Drug Release, *Journal of Bioactive and compatible Polymers*, 2008, 23, 423, 423-443. (www.fibre2fashion.com).
6. Queen H., *Electrospinning Chitosan-Based Nanofibers for Biomedical Application*, North Carolina State University, 2006.
7. Winiati W., Saeful I., Pembuatan Benang Bedah dari Limbah Crustaceae, *Jurnal Riset Industri*, Desember 2006.
8. Jeon Y.K et al, Electrospinning of Chitosan/PVA Solution Dissolved in Deionized Water, *Applied Chemistry*, 2007, 11, 2, 345-348
9. Dhamalaksmi M., Jog J.P., Preparation and Characterization of Electrospun Fibers of Nylon 11, *Express Polymer Letters*, 2008, 2, 8, 540-545
10. Panboon S., *Electrospinning of Polyvinyl Alcohol/Chitosan Fibers for Wound Dressing Application*, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, 2005.