

PROSES PEMBUATAN SERAT SELULOSA BERUKURAN NANO DARI SISAL (*Agave sisalana*) DAN BAMBU BETUNG (*Dendrocalamus asper*)

Subyakto, Euis Hermiati, Dede Heri Yuli Yanto, Fitria,
Ismail Budiman, Ismadi, Nanang Masruchin, Bambang Subiyanto

UPT Balai Litbang Biomaterial LIPI, Jl Raya Bogor KM 46, Cibinong, 16911
Telp: 021-87914511 Fax: 021-87914510, subyakto@biomaterial-lipi.org

Naskah diterima Tanggal : 17 Oktober 2009

PROCESS DEVELOPMENT TO PRODUCE CELLULOSE NANOFIBERS FROM SISAL (*Agave sisalana*) AND BETUNG BAMBOO (*Dendrocalamus asper*)

ABSTRACT

*Lignocellulosic natural fibers originated from renewable resources such as wood and non wood (bamboo, sisal, kenaf, ramie, abaca, coconut coir, etc.) are abundantly available on the earth. These fibers can be processed further into nano size cellulose microfibrils which have diameter less than 100 nm. Nanofibers have unique characteristics such as very high strength, large surface to volume ratio and high porous mesh. So nanofibers are very promising materials to be use in composites, automotive, pulp and paper, electronics, and other industries. Many methods have been developed to produce nanofibers from wood or non wood resources, basically how to fibrillate the fibers into nano size. Mostly they use mechanical treatments using refiner, grinder, high pressure homogenizer, or other methods such as using ultrasonic or enzymatic. In this research, development process to produce cellulose nanofibers from sisal (*Agave sisalana*), betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) was tried. Fibers were processed to produce pulps. The pulps were processed using a stone refiner for several times. The resulted fibers were further processed in a mixer (ultra turrax) for 2 hours at speed of 24000 rpm. Fibers were observed with a Scanning Electron Microscope (SEM) to make sure that the diameter size was reached to nano size. Other process are treated fibers with disc refiner and processed further in high pressure homogenizer was also done. Result shown that using the above processes, nano size fibers with diameter less than 100 nm could be produced. For the next research other method to produce nanofibers such as using ultrasonic will be conducted. Research on the utilization of nanofibers as reinforcement of composites for automotive components is going on.*

Keywords : *nanofibers, cellulose, sisal, bamboo, mechanical treatments*

INTISARI

Lignoselulosa yang berasal dari kayu dan nonkayu (bambu, sisal, kenaf, rami, abaka, sabut kelapa, dan lain-lain) merupakan bahan yang sangat melimpah keberadaannya di muka bumi. Bahan serat ini dapat diproses lebih lanjut menjadi mikrofibril selulosa yang mempunyai diameter kurang dari 100 nm. Serat nano mempunyai sifat-sifat yang khas seperti sangat kuat, rasio permukaan terhadap volume yang besar dan sangat *porous*. Sifat-sifat tersebut membuat serat nano merupakan bahan yang sangat menjanjikan untuk industri komposit, bahan otomotif, pulp dan kertas, elektronik, dan industri lainnya. Banyak metoda telah dikembangkan untuk memperoleh serat nano dari bahan kayu maupun nonkayu, yang pada prinsipnya adalah bagaimana menguraikan serat menjadi ukuran nano. Kebanyakan metoda yang digunakan adalah perlakuan mekanik seperti menggunakan *refiner*, *grinder*, *high pressure homogenizer*; gelombang ultrasonik; atau metoda lain menggunakan enzim. Pada penelitian ini digunakan serat dari daun sisal (*Agave sisalana*) dan batang bambu (*Dendrocalamus asper*). Setelah proses pulping, pulp sisal atau bambu kemudian difibrilasi dengan *stone refiner*. Selanjutnya, diproses lanjut menggunakan *ultra turrax* selama 2 jam pada kecepatan 24000 rpm. Serat yang dihasilkan diamati dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui diameter serat sudah berukuran nano. Disamping itu digunakan juga *disc refiner* dilanjutkan dengan *high pressure homogenizer* untuk proses fibrilasi. Dari proses ini telah berhasil diperoleh ukuran serat bambu dan serat sisal dengan diameter lebih kecil dari 100 nm. Untuk penelitian selanjutnya akan digunakan teknik *ultrasonic* untuk proses fibrilasi serat. Penelitian *nanofiber* sebagai penguat komposit untuk aplikasi komponen otomotif sedang dilakukan.

Kata kunci: serat nano, selulosa, sisal, bambu, pengolahan mekanik.

PENDAHULUAN

Serat alam berlignoselulosa yang berasal dari sumber daya alam terbarui seperti kayu dan non-kayu (bambu, sisal, kenaf, rami, dan lain-lain) merupakan bahan baku terbesar ketersediaannya di muka bumi. Sebagai komponen penguat di dalam material komposit, serat alam ini mempunyai keunggulan antara lain sifatnya yang dapat diperbarui, dapat didaur ulang serta dapat terbiodegradasi di lingkungan (Zimmermann *et al.*, 2004). Selain itu, serat alam mempunyai sifat mekanik yang baik dan lebih murah dibandingkan dengan serat sintetik. Dilain pihak serat alam memiliki kelemahan terutama kemudahannya menyerap air, kualitas yang tidak seragam, serta memiliki kestabilan yang rendah terhadap panas (Oksman *et al.*, 2003).

Tingginya tingkat penebangan hutan akibat meningkatnya penggunaan kayu sebagai bahan baku berbagai industri perkerajinan menyebabkan perlunya mengganti serat alam dari kayu dengan serat alam non-kayu untuk bahan penguat (*reinforced material*). Serat alam non-kayu memiliki keuntungan dibandingkan dengan kayu diantaranya adalah kemudahan dipanen dalam waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan pohon kayu, serta kemudahannya dibudidayakan. Selain itu pemanfaatan limbah-limbah hasil pertanian serta hasil industri pasca panen merupakan solusi tersendiri bagi pemenuhan bahan penguat. Selain dikarenakan masih mengandung serat yang sangat tinggi juga biasanya sedikit sekali mengandung lignin karena telah terbuang pada proses pasca panen. Proses ini sangat menguntungkan untuk menghasilkan bahan penguat.

Sisal (*Agave sisalana*) merupakan tanaman yang hanya tumbuh di daerah tropis dan subtropis. Serat sisal diekstraksi dari daunnya. Satu tanaman sisal memproduksi sekitar 200-250 daun dimana satu daun terdiri dari 1000-1200 bundel serat. Dari 100 kg daun sisal, serat yang dihasilkan dari daun tersebut sekitar 3-4 kg (rendemen 3-4%). Berdasarkan berat kering, serat sisal terdiri dari 54-66% selulosa, 12-17% hemiselulosa, 7-14% lignin, 1% pektin, dan 1-7% abu. Serat sisal berupa bundel mempunyai panjang 1-1,5 m dan diameter 100-300 μm . Sisal mempunyai serat yang keras, kasar, sangat kuat dan berwarna putih kekuningan. Kerapatan serat 1,3-1,5 g/cm^3 , kekuatan tarik serat 510-635 N/mm^2 , dan modulus tarik 9,4-22,0 GPa (Dahal *et al.*, 2003).

Serat sisal banyak digunakan untuk tali, tali kapal, tali pancing. Di seluruh dunia setiap tahun diproduksi sekitar 314 ribu ton serat sisal, terutama oleh Tanzania dan Brazil.

Bambu betung (*Dendrocalamus asper*) adalah jenis bambu yang kuat, tingginya bisa mencapai 20-30 m dan diameter batang 8-20 cm. Bambu betung banyak digunakan untuk bahan bangunan rumah maupun jembatan. Bambu betung bisa dipanen pada umur 3-4 tahun dengan produksi sekitar 8 ton/ha. Dimensi serat bambu betung adalah: panjang 3,78 mm, diameter 19 μm , lebar lumen 7 μm , tebal dinding sel 6 μm (Dransfield dan Widjaja, 1995). Kerapatan serat bambu 0,8 g/cm^3 , kekuatan tarik 441 MPa, modulus tarik 35,9 GPa (Okubo *et al.*, 2004). Komponen kimia bambu betung adalah: holoselulosa 53%, pentosan 19%, lignin 25%, abu 3% (Dransfield dan Widjaja, 1995).

Penelitian serat alam non kayu sebagai bahan penguat polimer telah banyak diteliti. Serat sisal telah dimanfaatkan sebagai bahan otomotif di Afrika Selatan, serat kelapa di Brazil, dan serat abaka di Philipina. Kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh ukuran diameter serat (Zimmermann *et al.*, 2004). Semakin besar diameter serat maka semakin rendah nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) dan modulus elastisitas (*modulus of elasticity* MOE), demikian pula sebaliknya. Misalnya serat berbentuk pulp mempunyai MOE 10 GPa dan kekuatan tarik 100 MPa. Sedangkan kalau berbentuk struktur kristalnya (mikrofibril selulosa dalam rantai molekul yang tersusun rapi) memiliki modulus elastisitas (MOE) sekitar 130-250 GPa dan kekuatan tarik 0,8-1 GPa. Sifat ini menyamai serat aramid yang dikenal sebagai serat sintesis yang sangat kuat. Selulosa dengan morfologi yang baru ini mulai dikembangkan oleh Turbak *et al.* (1983) yang sekarang dikenal sebagai MFC (*Micro Fibrillated Cellulose*). MFC adalah selulosa dari pulp yang sudah mengalami proses *refiner* dan *homogenizer* sampai ukurannya berskala nano. Pembuatannya dari pulp melalui proses mekanik yaitu proses penguraian (*refining*) dan homogenisasi tekanan tinggi (*high-pressure homogenization*), dan menghasilkan selulosa yang memiliki luas permukaan yang besar. Pembuatannya selama ini berasal dari selulosa kayu dan pemanfaatannya baru terbatas pada bahan aditif dalam makanan, cat, kosmetik dan produk medis. Padahal MFC dapat pula dibuat dari serat alam non kayu seperti sisal dan bambu. Dengan perlakuan yang lebih sederhana

dapat dihasilkan serat dalam skala nano (*bio-nano fiber*). *Bio-nano fiber* ini dapat juga dimanfaatkan sebagai bahan penguat pada polimer dengan MOE dan kekuatan tarik yang jauh lebih baik daripada serat biasa. Hal ini dikarenakan perbandingan diameter dengan panjang serat menjadi lebih kecil sehingga kekuatan *tensile* dan MOE jauh lebih meningkat.

Serat berukuran nano ini merupakan material baru yang dapat digunakan sebagai bahan penguat pada polimer (Suryanegara *et al.*, 2009). Aplikasinya dapat ditambahkan pada polimer untuk membuat komposit untuk otomotif (Marsh, 2003, Suddell dan Evans, 2005), elektronik, bahan bangunan, serta alat-alat rumah tangga. Dengan penambahan *bio-nanofiber* ke dalam polimer dapat meningkatkan kualitas komposit meliputi kekuatan tarik dan MOE, dapat menahan energi yang cukup keras sehingga aman untuk produk bumper otomotif dan tentunya lebih murah serta ramah lingkungan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh produk serat alam berukuran nano dari serat alam non kayu seperti sisal dan bambu sebagai bahan penguat pada polimer.

BAHAN DAN METODA

Bahan

Serat sisal (*Agave sisalana*) diperoleh dari daerah Blitar, Jawa Timur dan bambu betung (*Dendrocalamus asper*) diperoleh dari daerah Bogor, Jawa Barat. Proses *pulping* sisal dan bambu dilakukan dengan kombinasi proses mekanis dan kimiawi. Karakterisasi terhadap serat yang dihasilkan dianalisa menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Metoda

1. Pembuatan Pulp dari Sisal

Serat sisal dipotong-potong sepanjang sekitar 2 cm, kemudian 250 gram (berat kering oven) serat dimasak dengan larutan NaOH 2.5% (1:10) selama 2 jam. Setelah itu, sisal yang sudah lunak dipisahkan dari cairan pemasaknya, dan dicuci hingga pH netral. Partikel sisal kemudian digiling menggunakan *beater Hollander* selama 90 menit. Penggilingan dilanjutkan dengan menggunakan *stone refiner*

sebanyak lima kali. Pulp yang dihasilkan disimpan dalam *freezer*.

2. Pembuatan Pulp dari Bambu Betung

Bambu betung segar dipotong-potong sepanjang 1 meter, kemudian dikuliti dan dibelah dua. Potongan bambu dipipihkan menggunakan *bamboo crusher* sebanyak 10 kali, kemudian dipotong-potong sepanjang sekitar 5 cm. Sebanyak 250 gram (berat kering oven) partikel bambu dimasak dengan larutan NaOH 2.5% (1:10) selama 2 jam. Setelah itu, bambu yang sudah lunak dipisahkan dari cairan pemasaknya, dan dicuci hingga pH netral. Partikel bambu kemudian digiling menggunakan *beater Hollander* selama 90 menit. Penggilingan dilanjutkan dengan menggunakan *stone refiner* sebanyak lima kali. Pulp yang dihasilkan disimpan dalam *freezer*.

3. Pembuatan Mikrofibril Selulosa (MFC) dengan *Stone Refiner* dan *Ultra Turrax*

Pulp diproses dengan alat *stone refiner* pada konsentrasi 4% sebanyak 5 kali siklus. Serat dijadikan ukuran nano fiber menggunakan alat *Ultra turrax (dispersing machine)* selama 2 jam pada kecepatan 24000 rpm. Sebanyak 5 g pulp yang sudah diproses dengan *stone refiner* dimasukkan ke dalam 300 ml aquades dan diproses dengan *Ultra turrax*.

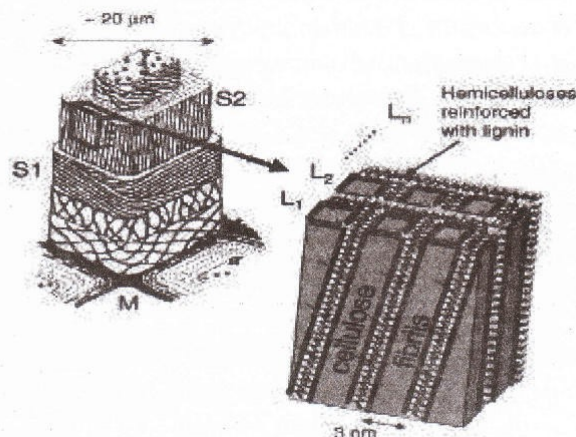
4. Pembuatan Mikrofibril Selulosa (MFC) dengan *Disc Refiner* dan *Homogenizer*

Disamping menggunakan *stone refiner*, juga digunakan *disc refiner* untuk meningkatkan derajat fibrilasi pulp sebelum diproses lebih lanjut dengan *high pressure homogenizer*. Pada pulp sisal, proses dengan *disc refiner* dilakukan sebanyak 7 kali siklus kemudian dilanjutkan dengan *high pressure homogenizer* sebanyak 60 kali siklus. Hasilnya dianalisa dengan *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FE-SEM).

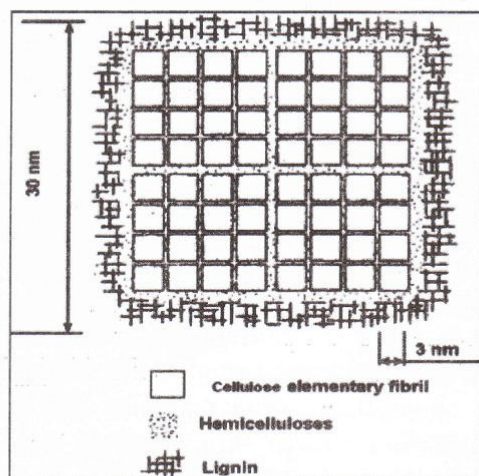
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 merupakan model mikrofibril selulosa yang disampaikan oleh Fratzl dan Weinkamer (2007) dan diperjelas oleh John dan Thomas (2008) pada Gambar 2. Mereka menyatakan bahwa *fiber cell wall* merupakan

senyawa komposit alam (selulosa nanokomposit), dimana selulosa sebagai penguat dengan matriksnya adalah gabungan lignin dan hemiselulosa. Nano-struktural dari susunan selulosa, hemiselulosa dan lignin terbaru dibahas secara detail oleh Terashima *et al.* (2009).



Gambar 1. Model Mikrofilbril Selulosa pada Dinding Sel Serat (Sumber: Fratzl dan Weinkamer 2007)



Gambar 2. Mikrofilbril Selulosa (Sumber: John dan Thomas 2008)

Dengan memperhatikan model di atas, selulosa nanokomposit diilustrasikan dengan ukuran lebar berkisar 10-50 nm. Tantangan untuk memperoleh mikrofilbril selulosa adalah proses disintegrasi sehingga didapatkan mikrofilbril selulosa dengan menggunakan energi yang rendah, karena selama ini proses yang digunakan masih memerlukan energi yang tinggi (mekanik dan kimia) dan dengan harapan tidak terlalu banyak selulosa yang terdegradasi. Perlakuan mekanik antara lain menggunakan

high pressure homogenizer (Turbak *et al.*, 1983), *stone grinder* (Taniguchi and Okamura, 1998), *ultrasonic* (Zhao *et al.*, 2007), *microfluidizer* (Zimmermann *et al.*, 2004) serta dengan penambahan metode *cryocrushing* (perlakuan pada suhu di bawah 0°C) pada saat proses *refining* (Chakraborty *et al.*, 2005). Sebelum perlakuan mekanik, dilakukan perlakuan kimia terlebih dahulu dengan pemanfaatan asam atau basa untuk proses pelunakan. Paakko *et al.* (2007) menyebutkan bahwa hidrolisa asam pada perlakuan kimia akan menghasilkan mikrofilbril selulosa dengan *aspect ratio* (*length/diameter*) yang rendah, dimana *aspect ratio* sangat berperan pada kekuatan mekanis terutama jika mikrofilbril selulosa digunakan pada biokomposit, untuk itu Paakko *et al.* (2007) mengembangkan hidrolisa dengan bantuan enzim *endoglucanase* yang diikuti dengan perlakuan mekanik dengan *high pressure homogenizer*.

Pada penelitian ini, kami mengembangkan mikrofilbril selulosa dari proses *pulping* soda dari bahan non kayu yaitu serat sisal dan serat bambu dengan perlakuan mekanik menggunakan perpaduan *stone refiner* dan *ultra turrax*. Digunakan juga kombinasi perlakuan *disc refiner* dan *high pressure homogenizer*.

Proses Pulping

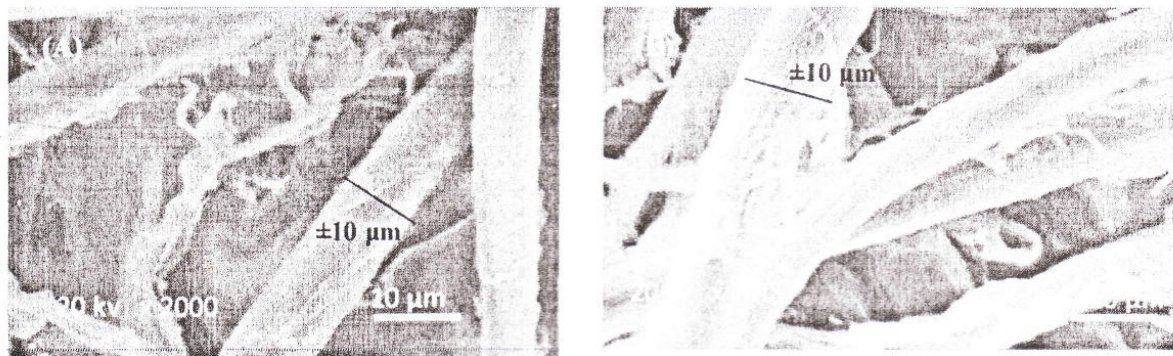
Rendemen dari proses *pulping* dapat dilihat pada Tabel 1. Dapat dilihat bahwa rendemen pulp dari sisal lebih besar dibandingkan dengan bambu.

Tabel.1 Rendemen dari Proses Pulping.

Bahan	Rendemen Pulp Basah (%)	
	Basis Basah	Basis Kering
Bambu Betung	94	40
Sisal	234	61

Proses Stone Refiner

Setelah perlakuan kimia dengan proses perlakuan alkali, pulp kemudian difibrilasi dengan *beater Hollander*. Proses perlakuan mekanik selanjutnya adalah menggunakan *stone refiner*. Dari analisa SEM (Gambar 3) didapatkan ukuran fiber masih berkisar 10-20 μm. Pengamatan morfologi serat bambu dan



Gambar 3. Foto SEM Morfologi Serat Setelah Proses *Stone Refiner* 5 Kali (A) Bambu (B) Sisal

sisal memperlihatkan bahwa serat sisal cenderung kasar. Kekasaran pada permukaan serat diakibatkan terlarutnya senyawa-senyawa amorphous seperti wax, pektin, hemiselulosa dan lignin (Bisanda, 2000). Li *et al.* (2007) menyebutkan proses perlakuan alkali menyebabkan dua efek pada serat, pertama meningkatkan kekasaran yang akan meningkatkan mekanik *interlock* antar serat ataupun dengan matriks pada komposit, kedua, meningkatkan tereksposnya gugus-gugus hidroksil pada permukaan serat, sehingga gugus reaktif ini akan mudah untuk membentuk ikatan kimia dengan adanya senyawa lain.

Proses mekanik dengan *stone refiner* belum menghasilkan diameter serat < 100 nm. Perlakuan mekanik selanjutnya adalah dengan menggunakan alat *ultra turax* dengan kecepatan 24000 rpm untuk proses fibrilasi serat.

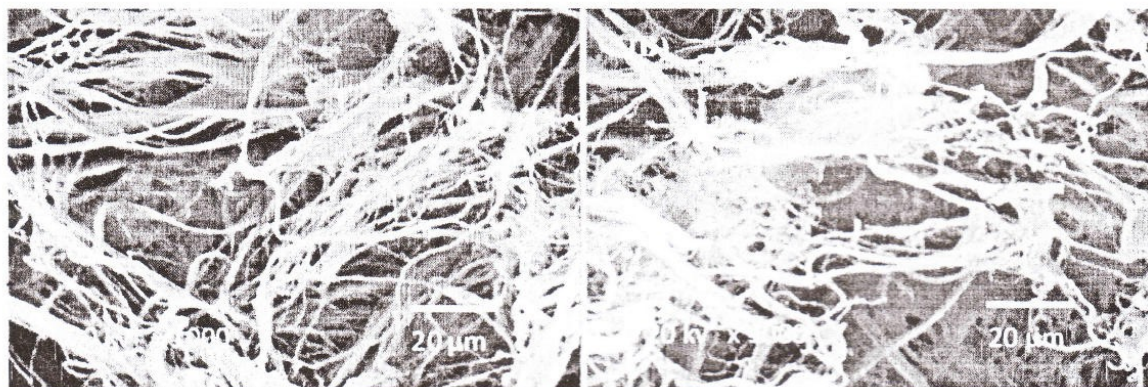
Proses Ultra Turax

Proses perlakuan fibrilasi selama 2 jam menggunakan alat *ultra turax* menghasilkan serat dapat terfibrilasi sempurna, namun hasilnya masih berkisar ± 400 nm (80%) sedangkan sisanya adalah *nano fiber*. Hal ini dibuktikan dengan terbentuknya *gel* (koloid)

serat dari masing masing *fiber*. Untuk lebih detail, dapat dilihat analisis Gambar 4 yang memperlihatkan observasi SEM dari hasil proses *ultra turax*.

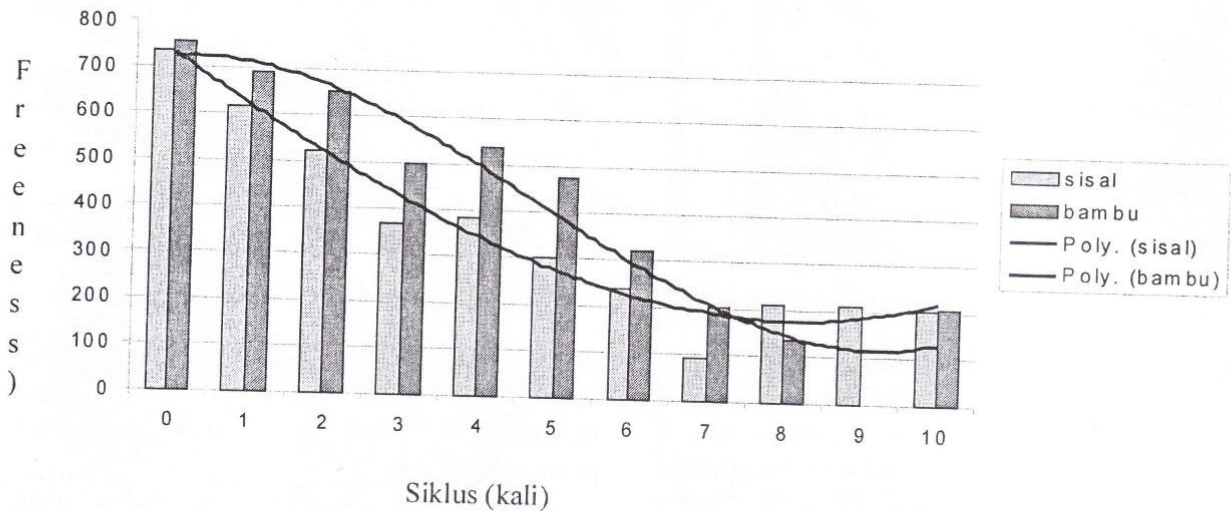
Proses fibrilasi yang sempurna akan mengeliminasi bagian serat yang lemah yang dapat menjadi inisiator terjadinya *crack* (Nakagaito *et al.*, 2004) jika selulosa nanofibril tersebut digunakan pada komposit, disamping luas permukaan yang sangat besar menjamin gugus reaktif untuk menginisiasi ikatan kimia. Menurut Alemdar dan Sain (2008) dalam ukuran nano, analisa menggunakan TGA (*Thermogravimetric Analysis*) menunjukkan bahwa proses ini dapat meningkatkan stabilitas thermal jika dibandingkan serat masih dalam ukuran mikro. Kelemahan proses *refining* secara mekanik menurut Henriksson *et al.* (2007) antara lain kerusakan struktur selulosa mikrofibril dengan berkurangnya berat molekul, derajat kristalinitas atau bahkan terdegradasi seluruhnya

Dari hasil proses *stone refiner* dan *ultra turax* didapatkan ukuran berkisar ± 400 nm; karena itu pada tahap selanjutnya digunakan alat *disc refiner* untuk menggantikan *stone refiner*.

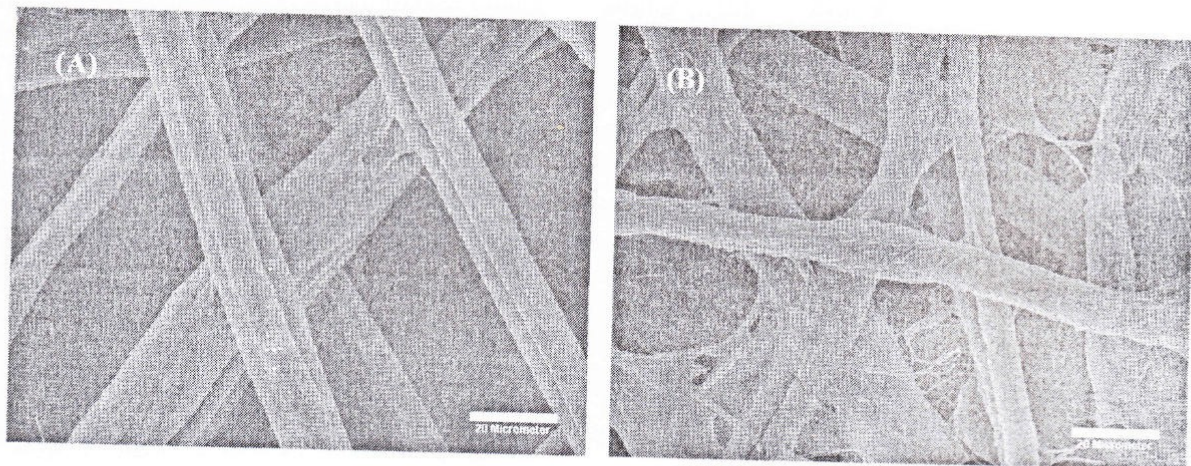


Gambar 4. Foto SEM Morfologi Serat Setelah Proses *Ultra Turax* 2 Jam (A) Bambu (B) Sisal

Proses Disc Refiner



Gambar 5. Freeness dari Pulp Sisal dan Bambu Setelah Diproses dengan Disc Refiner.

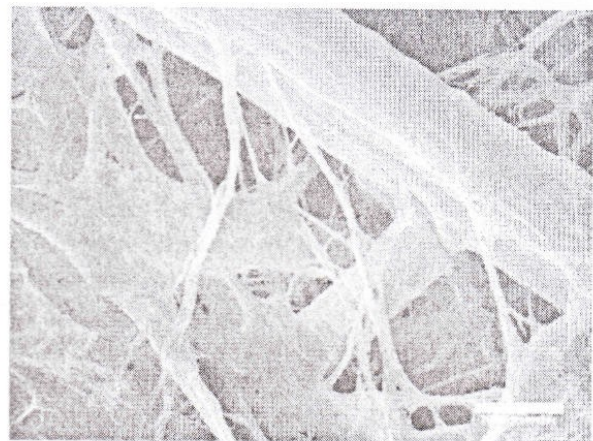


Gambar 6. Pulp Serat Sisal Sebelum Disc Refining (A), dan Setelah 7 Siklus Refining (B).

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa dengan semakin banyak diproses dalam *disc refiner* maka serat pulp menjadi semakin halus. Untuk serat sisal optimum pada pemrosesan sebanyak 7 kali, sedangkan untuk serat bambu sebanyak 8 kali. Karena itu pengamatan dengan SEM dilakukan pada serat sisal setelah 7 kali proses, dan serat bambu pada 8 kali proses. Hasilnya disajikan pada Gambar 6 untuk serat sisal dan Gambar 7 untuk serat bambu.

Seperti hasil pengujian *freeness*, maka dari hasil SEM dapat dilihat bahwa setelah diproses dalam *disc refiner* maka serat menjadi lebih banyak yang terurai. Hasil dari *disc refiner* ini akan diproses lebih lanjut dengan alat *high pressure homogenizer* untuk mendapatkan *micro fibril cellulose* (MFC) berukuran nano.

Dari Gambar 6 dan 7 dapat dilihat bahwa fibrilasi menggunakan *disc refiner* lebih efektif jika dibandingkan dengan *stone refiner* (Gambar 3). Kemungkinan hal ini disebabkan oleh bentuk



Gambar 7. Pulp Serat Bambu Sebelum *Disc Refining* (A), Dan Setelah 8 Siklus *Refining* (B).

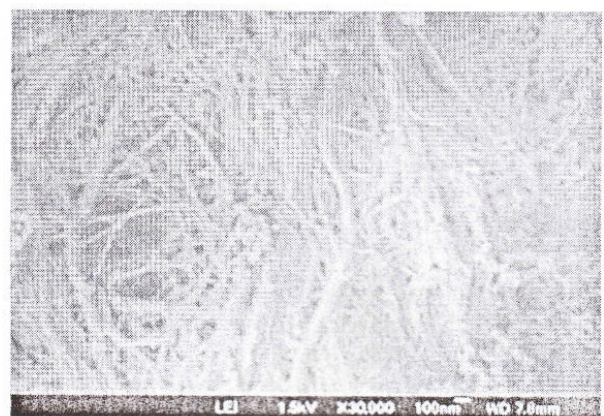
permukaan batu gerinda dari alat *stone refiner* yang digunakan pada penelitian ini kurang cocok untuk proses fibrilasi serat sampai berukuran sangat kecil (nano). Disamping itu pada penelitian ini tidak dilakukan perlakuan kimia yaitu permurnian selulosa dari sisal dan bambu yang digunakan. Abe *et al.* (2007) dengan menggunakan *stone grinder* (buatan Masuko Corp. Japan) bisa menghasilkan selulosa *nanofiber* dari kayu pinus radiata dengan ukuran diameter serat rata-rata 15 nm tanpa kesulitan. Pada penelitian tersebut, serbuk kayu (60 mesh) diberi perlakuan bahan kimia yaitu untuk mengekstraksi larutan (dengan toluen:etanol= 2:1), penghilangan lignin (dengan larutan *sodium chlorite*) dan pelarutan hemiselulosa (dengan *potassium hydroxide*). Hasilnya berupa selulosa murni dengan kadar α -selulosa lebih dari 85% yang kemudian larutan 1%-nya diproses dengan *grinder* pada kecepatan 1500 rpm. *Grinder* tersebut mempunyai bentuk batu gerinda yang khusus sehingga dapat menghasilkan mikrofibril selulosa berukuran nano.

Proses High Pressure Homogenizer

Hasil pulp sisal yang diproses dengan *disc refiner* sebanyak 7 kali kemudian dilanjutkan dengan *high pressure homogenizer* sebanyak 60 kali yang diamati dengan *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FE-SEM) disajikan pada Gambar 8. Dengan proses di atas maka dapat dilihat bahwa ukuran diameter serat sudah dibawah 100 nm.

Serat untuk dapat diproses dalam alat *homogenizer*, diperlukan konsentrasi yang sangat rendah sehingga rendemen yang

dihasilkan sangat kecil. Hal ini serupa dengan hasil penelitian Seydibeyoglu dan Oksman (2008) dimana dari konsentrasi larutan yang dipakai (0.025, 0.05, 0.1 and 0.2%), konsentrasi 0.025% adalah konsentrasi yang paling mudah untuk diproses dalam alat *homogenizer*. Hal ini disebabkan serat dapat menyebabkan *nozzle* kecil dalam *homogenizer* tersumbat dan akhirnya alat tidak dapat dioperasikan. Perlakuan awal terhadap serat sebelum masuk dalam alat *homogenizer* sangatlah diperlukan, seperti yang dilakukan oleh Henriksson *et al.* (2007) dengan menambahkan 0.02% berat enzim endoglucanase, enzim ini meningkatkan *swelling* pada *fiber cell wall* sehingga pada akhirnya akan mudah untuk disintegrasi dengan perlakuan mekanik. Dampak dari pemanfaatan enzim dan perlakuan mekanik terhadap serat yang dihasilkan adalah berkurangnya panjang serat serta *fine* yang berlebihan.



Gambar 8. FE -SEM Serat Sisal yang Tidak Diputihkan (*Unbleached*) Setelah Diproses dengan *High Pressure Homogenizer*.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini, telah berhasil dikembangkan metode pembuatan serat selulosa bambu dan sisal berdiameter nano (lebih kecil dari 100 nm). Hanya saja proses yang dikembangkan ini masih menghasilkan serat berukuran nano dalam jumlah yang sangat kecil. Disarankan penelitian lebih lanjut yaitu untuk mendapatkan serat berukuran nano dalam jumlah yang lebih banyak, dengan menggunakan cara lain seperti dengan teknik *ultrasonic* untuk proses fibrilasi serat. Disamping perlakuan mekanis (fisik) perlu dilakukan perlakuan dengan bahan kimia pada pulp untuk memperoleh selulosa murni sehingga proses pembuatan mikrofibril selulosa berukuran diameter nano dapat dilakukan dengan lebih mudah dan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan penelitian yang didanai dari Program Kompetitif LIPI tahun 2007-2009. Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bpk. Wawan Kartiwa Haroen- BPPK, Bandung; Ibu Endang-Puslit Biologi-LIPI, Cibinong atas bantuan kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, K., Iwamoto, S., Yano, H. 2007. Obtaining Cellulose Nanofibers with a Uniform Width of 15 nm from Wood. *Biomacromolecules* 8(10), 3276-3278.
- Alemdar, A., Sain, M. 2008. Biocomposites from Wheat Straw Nanofibers: Morphology, Thermal and Mechanical Properties. *Composites Science and Technology* 68: 557-565
- Bisanda, E.T.N. 2000. The Effect of Alkali Treatment on the Adhesion Characteristics of Sisal Fibers. *Applied Composite Materials* 7: 331-339
- Chakraborty, A., Sain, M., Kortschot, M. 2005. Cellulose Microfibrils: A novel Method of Preparation using High Shear Refining and Cryocrushing. *Holzforschung*, 59: 102-107
- Dahal, K.R., Utomo, B.I., Brink, M. 2003. Agave sisalana Perrine. In: Brink, M. and Escobin, R.P. (Editors): *Plant Resources of South-East Asia No 17. Fibre Plants*. Prosea Foundation, Bogor, Indonesia. pp. 68-75.
- Dransfield, E., Widjaja, E.A. 1995. *Bamboo*. Prosea Foundation, Bogor, Indonesia.
- Fratzl, P., Weinkamer, R. 2007. Nature's Hierarchical Materials. *Progress in Materials Science* 52: 1263-1334
- Henriksson, M., Henriksson, G., Berglund, L.A., Lindstrom, T. 2007. An Environmentally Method for Enzyme Assisted Preparation of Microfibrillated Cellulose (MFC) Nanofibers. *European Polymer Journal*, 43: 3434-3441
- John, M.J., Thomas, S. 2008. Biofibres and Biocomposites: Review. *Carbohydrate Polymers* 71: 343-364
- Li, X., Tabil, L.G., Panigrahi, S. 2007. Chemical Treatment of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: Review. *Journal Polymer Environment*, 15: 25-33.
- Marsh, G. 2003. Next Step for Automotive Materials. *Materialstoday*, April 2003, Elsevier Science Ltd. pp. 36-43.
- Nakagaito, A. N., Yano, H. 2004. The Effect of Morphological Changes from Pulp Fiber Towards Nano Scale Fibrillated Cellulose on the Mechanical Properties of High Strength Plant Fiber Based Composites. *Applied Physics A78*: 547-552
- Oksman, K., Skrifvas, M., Selin, J.F. 2003. Natural Fibers as Reinforcement in Polylactid Acid (PLA) Composites. *Composites Science Technology*, 63: 1317-1324
- Okubo, K., Fujii, T., Yamamoto, Y. 2004. Development of Bamboo-based Composites and Their Mechanical Properties. *Composites Part A* 35: 377-383
- Paakko, M., Ankerfors, M., Kosonen, H., Nykanen, A., Ahola, S., Osterberg, M., Ruokolainen, J., Laine, J., Larsson, P.T., Ikkala, O., Lindstrom, T. 2007. Enzymatic Hydrolysis Combined with Mechanical Shearing and High-Pressure Homogenization for Nanoscale Cellulose Fibrils and Strong Gels. *Biomacromolecules*, 8: 1934-1941
- Seydibeyoglu, M.O., Oksman, K. 2008. Novel Nanocomposites Based on Polyurethane and Micro Fibrillated Cellulose. *Composites Science and Technology* 68: 908-914

- Suddell, B.C. and Evans, W.J. 2005. Natural Fiber Composites in Automotive Applications. In: Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites (Eds.: Mohanty, Misra, Drzal). CRC Press. Pp. 231-260.
- Suryanegara, L., Nakagaito, A.N., Yano, H. 2009. The Effect of Crystallization of PLA on the Thermal and Mechanical Properties of Microfibrillated Cellulose – Reinforced PLA Composites. *Composites Science and Tehcnology* 69: 1187-1192.
- Taniguchi, T., Okamura, K. 1998. New Films Produced from Microfibrillated Nature Fibres. *Polymer International*, 47: 291-294
- Terashima, N., Kitano, K., Kojima, M., Yoshida, M., Yamamoto, H., Westermarck, U. 2009. Nanostructural Assembly of Cellulose, Hemicellulose and Lignin in the Middle Layer of Secondary Wall of Ginkgo Tracheid. *Journal Wood Science*, DOI:10.1007/s10086-009-1049-x
- Turbak, A.F., Snyder, F.W., Sandberg, K.R. 1983. Microfibrillated Cellulose, A New Cellulose Product: Properties, Uses and Chemical Potential. *Journal of Applied Polymer Science : Applied Polymer Symposium*, 37: 815-827
- Zhao, H.P., Feng, Q.X. 2007. Ultrasonic Technique for Extracting Nanofibers from Nature Materials. *Applied Physics Letters*, 90: 073112
- Zimmermann, T., Pohler, E., Geiger, T. 2004. Cellulose Fibrils for Polymer Reinforcement. *Advanced Engineering Science*, 6(9): 754-761
-