

APLIKASI NANOTEKNOLOGI DALAM INDUSTRI HASIL HUTAN (Application Of Nanotechnology In Forest Products Industry)

Kurnia Wiji Prasetyo

¹Peneliti Pusat Penelitian Biomaterial Lembaga Ilmu Pegetahuan Indonesia

Abstrak: Penggunaan serat alam untuk komposit, disamping banyak keuntungan, dalam beberapa hal masih ada tantangan yang perlu diselesaikan. Serat alam mempunyai sifat *hydrophilic*, jika dikombinasikan dengan matrik polimer yang mempunyai sifat *hydrophobic* akan mengurangi kekuatan komposit yang dihasilkan. Untuk mengatasi hambatan di atas maka bisa dilakukan dengan penambahan *coupling agent* pada matrik dan memperbaiki metode proses yang diterapkan. Nanoteknologi didefinisikan sebagai ilmu dan teknik yang mencakup desain, sintesis dan karakterisasi serta aplikasi bahan yang setidaknya terorganisir dalam satu dimensi pada skala nanometer atau spemilyar meter. Nanoteknologi merupakan manipulasi material yang berukuran ≤ 100 nm dan setidaknya termasuk kedalam kategori satu dimensi dimana sifat fisik, kimia dan biologinya secara fundamental berbeda dengan *bulk material*.

Kata Kunci: Nanoteknologi, Serat, Komposit

I. PENDAHULUAN

Nanoteknologi didefinisikan sebagai ilmu dan teknik yang mencakup desain, sintesis dan karakterisasi serta aplikasi bahan yang setidaknya terorganisir dalam satu dimensi pada skala nanometer atau spemilyar meter. Nanoteknologi merupakan manipulasi material yang berukuran ≤ 100 nm dan setidaknya termasuk kedalam kategori satu dimensi dimana sifat fisik, kimia dan biologinya secara fundamental berbeda dengan *bulk material*.

Meskipun teknologi ekstraksi kristal selulosa dari serat alami belum sempurna, hal ini memungkinkan isolasi nanofiber dengan diameter antara 5-80 nm melalui perlakuan kimia-mekanis. Kajian mengenai persiapan selulosa nanokomposit telah dimulai oleh kelompok peneliti CERMAV-CNRS, Grenoble, Prancis sekitar tahun 1994. Mereka mempersiapkan nanokomposit dengan teknik *solution casting* dari berbagai matriks dan

nannoreinforcement dalam media cair (Oksman *et al* 2006). *Nanoreinforcement* yang digunakan yaitu straw, tunicin, chitin, sugar beet dan sebagaunya. Mereka berhasil mengembangkan nanokomposit dengan dispersi yang seragam dan secara signifikan mampu memperbaiki kekuatan mekanis pada kandungan *reinforcement* yang rendah. Satu kekurangan dari selulosa *wishker* yaitu sulit didispersi secara seragam didalam medium non polar karena sifatnya yang polar. Namun hasil temuan dari kelompok peneliti ini telah menemukan pelarut organik alkyldimethylchlorosilanes yang dapat mengatasi permasalahan tersebut. Pendekatan lainnya melalui pencampuran surfaktan dengan selulosa *wishker* dalam suspensi cair diikuti dengan *freeze-drying* dan *redispersing* dalam pelarut organik.

Beberapa industri yang memanfaatkan bahan ini diantaranya industri otomotif, kemasan dan furniture. Pada tahun 1990, ide baru ini dieksplorasi mengenai nanokomposit berbahan alami dan ramah lingkungan dari selulosa

nanofiber dan biopolimer. Produk yang dihasilkan memiliki sifat rigiditas yang bagus, kuat dan tahan terhadap suhu tinggi. Ukuran serat merupakan hal penting dalam bio-nanokomposit ini untuk menghasilkan kekuatan seperti pada kristal selulosa murni. Secara teoritis nilai modulus elastisitas rantai selulosa sebesar 250 GPa, sedangkan *bulk natural fiber* memiliki modulus elastisitas 10 GPa.

II. NANOKOMPOSIT DAN BIO-NANOKOMPOSIT

Nanokomposit merupakan suatu produk komposit yang dibuat dengan menggunakan material yang berukuran nano (partikel nano/nano *filler*) yang diikat dengan matriks polimer (Dalmas *et al*, 2006). Nanokomposit digambarkan sebagai dua fase bahan dimana fase pertama setidaknya dalam satu dimensi nanometer (1–100 nm) dan biasanya menghasilkan komposit dengan sifat yang superior. Pada umumnya partikel nano tersebut disatukan dengan menggunakan matrik polimer seperti nilon, polipropilena, polistirena, poliurethane, dll. Metode persiapannya biasanya *solution casting*, *in situ polymerization*, atau *melt compounding*. Keunggulan dari produk ini yaitu memiliki sifat termal dan mekanis yang bagus, dapat didaur ulang dan memiliki berat yang lebih ringan dibanding dengan komposit konvensional (Oksman *et al* 2006). (Menurut Schmidt *et al*, 2002), penggolongan nanokomposit berdasarkan dimensi nanofillernya dikelompokkan menjadi tiga yaitu:

- *Zero-dimentional (nanoparticle)*
- *One-dimentional (nanofiber)*

- *Two-dimentional (nanolayer)*
- *Three-dimentional (interpenetrating network)*

Sifat material nanokomposit dipengaruhi oleh karakteristik *filler* dan matriksnya. Karakteristik *filler* diantaranya adalah faktor geometri (bentuk, ukuran, aspek rasio), karakteristik mekanikal intrinsik (modulus atau fleksibilitasnya), *surface properties (specific surface area dan surface treatment)* (Kamel, 2007). Tipe matriks polimer yang digunakan dan kemungkinan pengaruh *nanofiller* pada mikrostrukturnya serta sifat intrinsik juga merupakan parameter yang berperan dalam menentukan sifat komposit.

Bio-nanokomposit didefinisikan sebagai komposit yang terbuat dari kombinasi beberapa bahan hayati; salah satu komponennya memiliki ukuran berkisar 1-100 nm untuk menghasilkan kinerja yang sinergi dari komposit tersebut. Nanokomposit akan dikategorikan dalam nanoteknologi apabila komposit yang dihasilkan merefleksikan keunggulan nanomaterial yaitu kinerja yang meningkat secara signifikan (Berglund 2004). Nanokomposit merupakan bidang yang masih cukup baru di Indonesia bahkan di dunia sekalipun, apalagi nanokomposit yang seluruhnya terbuat dari bahan terbarukan (*renewable*). Permasalahan besar yang sedang dihadapi dunia saat ini adalah pengurangan pemakaian minyak bumi dan mengatasi permasalahan limbah. Kedua permasalahan tersebut mendasari perkembangan nanoteknologi, yaitu teknologi dengan menggunakan material yang berukuran nano. Selanjutnya para

peneliti mencoba untuk menuju ke nanoteknologi yang berkelanjutan (*sustainability*) dengan menggunakan bahan-bahan yang terbaharukan, seperti penggunaan sumber daya hutan dan limbah agro industri untuk membuat suatu nanokomposit material yang ringan dan kinerja yang lebih baik. Struktur tumbuhan atau kayu terdiri dari polimer karbohidrat dan tersusun dari serat selulosa. Serat selulosa ini tersusun dari mikrofibril dalam ukuran nano yang memiliki kekuatan struktur yang sangat tinggi. Mikrofibril terdiri atas bagian amorf dan terkristal, bagian yang terkristal dinamakan *nanowhisker*. Topik yang sekarang menjadi obyek penelitian baik dikalangan lembaga penelitian maupun industri di dunia adalah cara menghasilkan mikrofibril ini dengan efisien. Saat ini para peneliti telah berhasil memadukan antara nanofibril yang dihasilkan dari bahan hayati dengan polimer alam sehingga menghasilkan suatu komposit yang berkelas nano-material (Zimmermann et al. 2004, Nakagaito dan Yano 2005, Nakagaito et al. 2005, Iwamoto et al. 2005, Favier et al. 1995).

III. MATERIAL UNTUK BIO-NANOKOMPOSIT

Material bio-nanokomposit merupakan kombinasi satu, dua dan

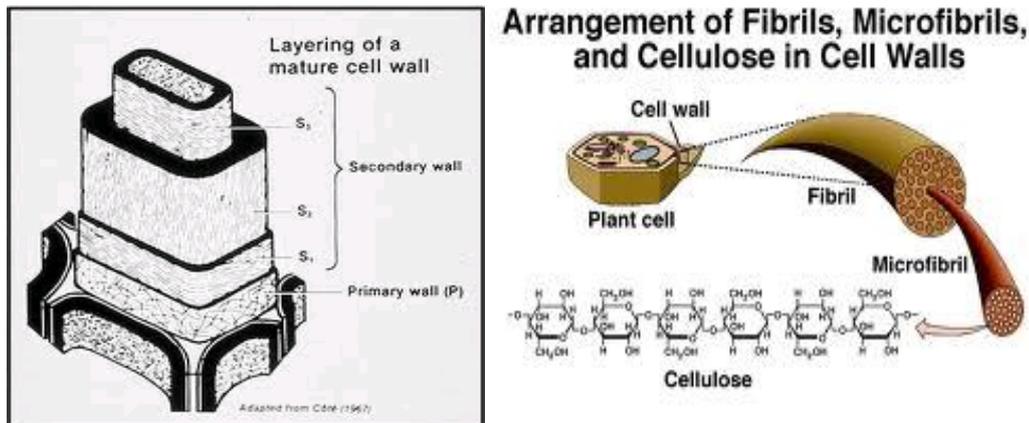
tiga dimensional material dengan campuran material amorf pada skala nanometer. Penggunaan bahan berlignoselulosa yang berasal dari sumberdaya terbaharukan sebagai penguat dalam matriks polimer komposit memberikan beberapa keuntungan. Bila dibandingkan dengan inorganik *filler*, keuntungan dari lignoselulosa diantaranya: bersifat *renewable*, ketersediaannya melimpah, *nonfood agricultural based economy*, konsumsi energinya rendah, murah, kekuatan dan modulusnya tinggi, memiliki *surface* yang reaktif untuk *grafting* dengan gugus tertentu.

A. Sumber

Pada prinsipnya semua bahan yang mengandung selulosa dapat dipakai sebagai sumber nanomaterial. Sumber bahan baku sebagai material dalam bio-nanokomposit dikelompokkan menjadi:

1. Kayu sebagai sumber struktur nano selulosa

Kayu merupakan material yang tersusun atas selulosa (40-50%), hemiselulosa dan lignin. Keberadaan kayu sebagai bahan berlignoselulosa ini berpotensi untuk dikembangkan menjadi produk bio-nanokomposit.



Gambar 1. Struktur dinding sel kayu (Sumber: sci.waikato.ac.nz/Des. 2010) dan struktur fibril, microfibril dan selulosa dalam dinding sel (Sumber: bio.miami.edu/Des. 2010)

2. Tanaman pertanian

Bahan yang bersumber dari tanaman pertanian diantaranya wheat straw, potato tuber, flax, sugar beet pulp, hem, sisal, agave, bambu, singkong, kenaf, tandan kosong kelapa sawit, nanas, kelapa, banana rachis, soybean stock, cotton.

3. Selulosa hewan

Hewan laut memiliki mantel yang mengandung microfibril selulosa atau tunicin yang melekat dalam matriks protein. Setelah deproteinisasi dan hidrolisis asam, tunicin terurai dalam bentuk *whisker* yang memiliki panjang beberapa mikron (Kamel 2007).

4. Selulosa bakteri

Selulosa juga dihasilkan dari sekresi secara ekstraseluler oleh beberapa jenis bakteri. Selulosa bakteri diproduksi oleh jenis *Acetobacter* yang dibiakkan dalam media kultur yang mengandung karbon dan nitrogen. Selulosa yang dihasilkan ini memiliki kekuatan dan kemurnian struktur yang tinggi. Struktur ini dalam bentuk *pellicle* yang

tersusun secara acak dari fibril yang berbentuk pita, lebarnya kurang dari 100 nm membentuk bundle berdiameter 2-4 nm. Mikro fibril selulosa bakteri memiliki kerapatan 1600 kg/m³. Sebagai informasi tambahan struktur ini cukup porus, 3 dimensi, mampu menahan air dan biokompatibel (Kamel 2007). Pemanfaatan terkini dari bakteri selulosa meliputi *dietary food, medical pads for skin burns, reinforcement in high-strength papers, binding or thickening agents, and diaphragms of lectoracoustic transducers.*

B. Ukuran

Mikro fibril didefinisikan sebagai serat selulosa yang berdiameter 0.1-1 µm dengan panjang 5-50 µm (Chakraborty *et al.*, 2006), sedangkan nanofibril sekurang-kurangnya berukuran serupa tapi dengan skala nanometer (1-100 nm). Sementara *small fibrils* yang diisolasi dari serat alami biasanya memiliki rentang diameter dibawah 100 nm dan beberapa

diantaranya diatas 0,1 μm . Mikro/nanofibril diisolasi dari serat alami memiliki sifat mekanis tinggi, sehingga akhir-akhir ini menjadi fokus perhatian bagaimana membuat mikro/nanofibril dan bagaimana mengkombinasikannya dengan polimer untuk menghasilkan produk nanokomposit (Berglund, 2005; Herrick, 1983; Turbak, 1983).

Mikrofibril selulosa biasanya digambarkan sebagai komponen kristalin dari rantai selulosa yang memiliki diameter berkisar antara 3,5-38 nm (Chakraborty *et al* 2005).

Chakraborty *et al* (2005) menyatakan bahwa dimensi mikrofibril pada kayu sekitar 5-10 nm dan memiliki lebar 20-25 nm dan tersusun atas *fibril elementer* yang lebarnya sekitar 10 nm. Serat selulosa merupakan *bundle* dari fibril elementer dimana molekul selulosa stabil secara lateral melalui ikatan hidrogen diantara gugus hidroksilnya. Mikrofibril terdiri atas wilayah selulosa monokristalin dan amorf. Sifat dari kristalin selulosa disajikan pada Tabel 1 (Sumber: Oksman *et al*, 2006)

Tabel 1. Sifat kristalin selulosa

Property	Cellulose crystallites
Length (nm)	300-2000
Diameter (nm)	5-20
Aspect ratio (L/d)	20-60
Tensile strength (MPa)	10,000
E-modulus (GPa)	150

IV. PEMBUATAN NANOMATERIAL DAN BIO-NANOKOMPOSIT

A. Pembuatan nanomaterial

Beberapa teknik pembuatan yang dipakai dalam menghasilkan nanomaterial antara lain:

1. Mechanical diminution

Menggunakan proses *refining and high pressure homogenizing*. Contoh alat homogenizer untuk membuat mikrofibril selulosa disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Homogenizer untuk membuat MFC



Gambar 3. Alat Ultra turrax T 25 (*dispersing machine*).

2. Chemical diminution

- Hidrolisis asam

Perlakuan dengan asam kuat efektif untuk memecah daerah amorf selulosa, selanjutnya pemisahan selulosa berukuran nano dilakukan dalam suspensi. Hidrolisis dilakukan dengan menggunakan asam sulfur. Suspensi ditambah dengan air deionisasi selanjutnya disentrifugasi pada putaran 6000 rpm selama 10 menit untuk mendapatkan selulosa dan mengurangi cairan asam. Hasil endapan dicuci hingga mencapai pH netral (Kamel 2007).

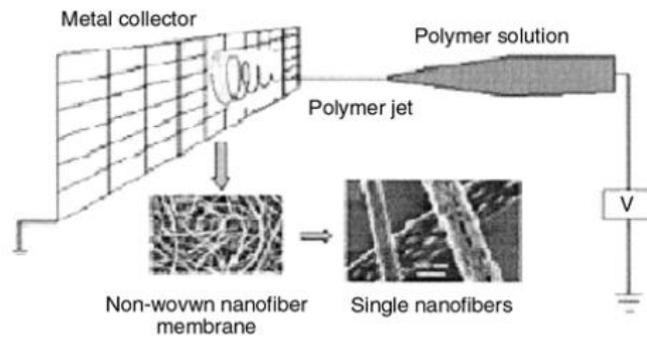
- Perlakuan dengan enzim

Melalui perlakuan enzimatik dengan menggunakan enzim selulase diharapkan dapat menyerang bagian amorf selulosa. Menurut Henriksson *et al* (2007), Janardhnan dan Sain (2006) dilaporkan bahwa perlakuan enzimatik lebih mudah memisahkan material dalam mikrofibril selulosa kemudian lebih memungkinkan diperoleh ukuran partikel selulosa yang lebih kecil.

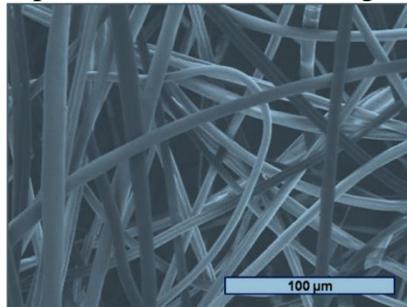
3. Dissolution

- Solvent treatment

Oksman *et al* (2006) melaporkan inovasi pemakaian pelarut untuk mengembangkan mikrokristalin selulosa lebih memungkinkan untuk pemisahan dalam nanofiber. Sistem pelarutnya yaitu N-dimethylacetamid (DMAc) dan Lithium chlorida (LiCl). Beberapa peneliti melaporkan *electro-spinning of cellulose solution* sebagai salah satu cara menghasilkan serat selulosa. Terdapat 3 komponen dasar dalam *electro spinning* yaitu sumber tenaga listrik, tabung kapiler dengan pipet atau jarum berukuran kecil, dan *metal collecting screen*. Teknik *electro-spinning* mencakup ekstrusi kuat konsentrasi larutan polimer dari jarum logam karena pengaruh kuat arus induksi medan listrik. Gambar 4 memperlihatkan skema diagram polymer nanofiber dengan menggunakan *electro-spinning*. Gambar 5 menunjukkan serat selulosa asetat yang diproduksi dengan *electro-spinning*.



Gambar 4. Skema pembuatan nanofiber dengan metode *electro-spinning*



Gambar 5. Serat selulosa asetat yang dihasilkan dengan metode *electro-spinning*

- Ionic liquid
Gindl dan Keckes (2005) memisahkan mikrokristalin selulosa dengan menggunakan ionic liquid. Sui *et al* (2008) membuat selulosa nanofiber dan nanopartikel dengan menggunakan penyemprotan ionic liquid larutan selulosa.

B. Pembuatan bio-nanokomposit

Tahap-tahap pembuatan bio-nanokomposit yang sudah dilakukan dalam penelitian di UPT BPP Biomaterial-LIPI sejak tahun 2007-2009 oleh Subyakto dkk. yaitu:

Pembuatan pulp dari serat alam

Proses pulping serat alam misalnya sisal dan bambu dilakukan dengan kombinasi proses mekanis dan kimiawi kemudian diputihkan (*bleaching*). Pemutihan pulp dilakukan untuk menghilangkan kandungan lignin pada serat sehingga akan diperoleh kadar selulosa yang lebih tinggi. Proses pemasakan dan

pemutihan serat adalah sebagai berikut:

a. Pemasakan serat sisal (*Agave sisalana*)

Contoh serat yang digunakan adalah serat sisal. Serat sisal, panjang sekitar 3-5 cm, dengan kadar air 12,61% dimasak menggunakan proses kraft dengan kadar alkali aktif 20% dan sulfiditas 30%. Larutan pemasak terdiri dari NaOH 18,06% (terhadap berat kering bahan baku) dan Na₂S 7,55% (terhadap berat kering bahan baku), dengan rasio bahan dan larutan pemasak 1:5. Pemasakan dilakukan selama 1,5 jam (menuju 160 °C) dan 1,5 jam (pada 160 °C). Setelah itu pulp dihaluskan dengan refiner sebanyak dua kali.

b. Pemutihan pulp sisal (*Agave sisalana*)

Pemutihan pulp sisal dilakukan dalam tiga tahap. Pada tahap pertama pemutihan dilakukan menggunakan Cl₂ sebanyak 2,14% dengan konsentrasi suspensi pulp

3,5%, pH 2,52, pada suhu kamar selama 60 menit. Pada tahap ke dua digunakan NaOH 1,5% dengan konsentrasi suspensi pulp 10%, pH 10,70 pada suhu 70 °C selama 90 menit. Pada tahap ke tiga digunakan larutan hipoklorit 4% dengan konsentrasi suspensi pulp 10%, pH 5,50, pada suhu 40 °C selama 180 menit.

Pembuatan mikrofibril selulosa (MFC) ukuran nano dari serat alam
Pembuatan MFC ukuran nano fiber dengan menggunakan alat *disc refiner* (Gambar 6.) dan dilanjutkan dengan alat *High Pressure*

Homogenizer (Gambar 7). Telah dilakukan pembuatan serat nano untuk serat sisal yang belum diputihkan (*unbleached*), kemudian diamati dengan Field Emission Scanning Electron Microscope (FE SEM): JSM-6700F, JEOL Ltd. (Gambar 8). Pengamatan dengan FE SEM dilakukan di Laboratory of Active Biobased Materials, Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, Jepang. Pengamatan serat bambu dengan alat Atomic Force Microscope (AFM) juga telah dilakukan.



Gambar 6. Alat *disc refiner*



Gambar 7. Alat *high pressure homogenizer*

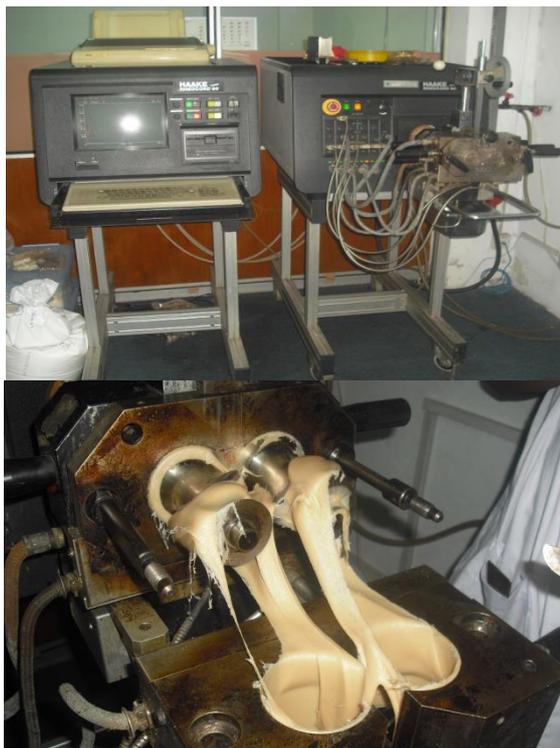


Gambar 8. Alat *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FE SEM)

Pembuatan contoh uji bio-nanokomposit

Pembuatan komposit dengan MFC sisal dan bambu (dari pulp yang telah diputihkan) berukuran mikro telah dilakukan. Untuk mengetahui proses pembuatan bio-komposit dengan proses *injection molding* menggunakan serat bambu dan sisal dengan matriks PLA, maka telah dilakukan penelitian dengan serat ukuran mikro karena serat ukuran nano belum tersedia dalam jumlah banyak. Untuk satu kali proses *injection molding* dibutuhkan pelet sebanyak 1000 gram. Sedangkan kapasitas alat Homogenizer untuk pembuatan MFC berukuran nano hanya sekitar 0,025 gram per hari. Pembuatan komposit dari serat bambu atau sisal dengan matriks PLA dengan komposisi serat / PLA = 10/90, 20/80, dan 30/70; dengan penambahan triacetin 7% dari berat komposit. Proses pembuatan serat – PLA dilakukan dengan metode “basah”. PLA dengan triacetin diaduk dalam beaker glass menggunakan motor pengaduk dengan dichloromethane sebagai pelarut sampai larut sempurna. Serat

alam ditambahkan ke dalam larutan tadi secara bertahap. Pengadukan dilanjutkan sampai matriks polimer dan serat teraduk homogen. Setelah pengadukan selesai dilanjutkan dengan pengeringan, larutan tersebut dituangkan ke dalam baki dan dikeringkan pada suhu ruang selama satu hari. Setelah kering, bahan dipotong kecil kecil kemudian dikeringkan lagi menggunakan oven selama 6 jam pada suhu 60°C. Kemudian bahan diproses dengan sebuah mixer (Laboplasto-Mill) yang dilengkapi dengan *twin roller blade* pada suhu 170°C dan 60 rpm selama 20 menit (Gambar 9). Setelah itu campuran dibuat pelet dengan alat pelletizer pada suhu 170°C (Gambar 10). Untuk setiap komposisi dibuat pelet sebanyak 1000 g sesuai dengan kapasitas minimum mesin *injection molding*. Pelet diproses lebih lanjut untuk dibuat contoh uji dengan alat “*injection molder*” (Gambar 11). Pada alat *injection molder* ini dipasang cetakan yang berbentuk contoh uji standar ASTM yaitu untuk pengujian *flexural (bending)*, *tensile*, dan *hardness* (Gambar 12).



Gambar 9. Alat mixer Laboplastomill.



Gambar 10. Alat *pelletizer* untuk membuat pelet



Gambar 11. Mesin *injections molding* untuk membuat contoh uji



Gambar 12. Contoh uji yang dihasilkan dari mesin *injection molding*

Pengujian sampel bio-nanokomposit:

Pengujian untuk flexural (*bending*) dan *tensile strength* dilakukan dengan alat Universal Testing Machine (Gambar 13)

berdasarkan standar ASTM D790 (*bending*) D638 (*tensile*). Selain itu dilakukan juga uji kekerasan (*hardness*) berdasarkan standar ASTM.



Gambar 13. Alat uji Universal Testing Machine (UTM)

V. PENUTUP

1. Nanoteknologi akan menjadikan suatu teknik dan ilmu pengetahuan untuk memanipulasi dan secara sistematis mengeliminasi formasi acak yang menentukan sifat, kinerja dan *serviceability* dari bio-nanokomposit.
2. Nanoteknologi akan menjadi suatu batasan baru sehingga perlu adanya pemahaman mengenai sintesis, struktur maupun sifat yang berhubungan dengan nanokomposit dalam

rangka mengembangkan polimer nanokomposit dan bio-nanokomposit lebih lanjut dalam rangka menghasilkan bahan yang memiliki kekuatan mekanis, kekakuan dan keuletan tinggi untuk bahan structural yang ke depannya bisa diaplikasikan dalam *Forest Product Technology* secara paripurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, K., Iwamoto, S., Yano, H. 2007. Obtaining cellulose

- nanofibers with a uniform width of 15 nm from wood. *Biomacromolecules*, August 28, 2007.
- Chakraborty Ayan; Mohini Sain and Mark Kortschot. 2005. Cellulose microfibrils: A novel method of preparation using high shear refining and cryocrushing. *Holzforschung*, Vol. 59, pp. 102–107
- Florent, D., Laurent Chazeau, Catherine Gauthier, Jean-Yves Cavaille, Re´my Dendievel. 2006. Large deformation mechanical behavior of flexible nanofiber filled polymer nanocomposites. *Polymer* 47 (2006) 2802–2812
- Gindl, W; Keckes, J. 2005. All cellulose nanocomposite. *Polymer* 46(23): 10221-10225
- Hube, M.A; Orlando, J.R; Lucian, A.L; Mohini Sain. 2008. Cellulose Nanocomposite: Review. *BioResources* 3(3): 929-980
- Ifuku, S., Nogi, M., Abe, K., Handa, K., Nakatsubo, F., Yano, H. 2007. Surface modification of bacterial cellulose nanofibers for property enhancement of optically transparent composite: dependence on acetyl-group DS. *Biomacromolecules*, 8: 1973-1978.
- Iwamoto, S., Nakagaito, N.A., Yano, H., Nogi, M. 2005. Optically transparent composites reinforced with plant fiber-based nanofibers. *Applied Physics A* 81: 1109-1112.
- Iwatake, A., Nogi, M., Yano, H. 2008. Cellulose nanofiber-reinforced polylactic acid. *Composites Science and Technology* 68:2103-2106.
- Janardhnan, S; Sain, M. 2006. Isolation of cellulose microfibrils - an Enzymatic approach. *Biores* 1(2): 176-188
- Karina, M., Onggo, H., Dawam, A.H., Syampurwadi, A. 2008. Effect of oil palm empty fruit bunch fiber on the physical and mechanical properties of fiber glass reinforced polyester resin composites. *Journal of Biological Science* 8(1):101-106.
- Karina, M., Onggo, H., Syampurwadi, A. 2007. Physical and mechanical properties of natural fibers filled polypropylene composites and its recycles. *Journal of Biological Science* 7(2):393-396.
- Karina, M., Onggo, H., Syampurwadi, A., Okamoto, T. 2005. Natural fiber – polypropylene composites. *Proc. 6th International Wood Science Symposium, JSPS – LIPI, Bali*, p. 48.