

# Karakteristik Film Komposit PVA-Pulp Putih Akasia Terfibrilasi (*Characteristics of the Composite Film of PVA-Fibrillated Acacia Bleached Pulp*)

Firda A Syamani, Wida B Kusumaningrum

UPT Balai Litbang Biomaterial-LIPI, Jl. Raya Bogor KM. 46 Cibinong-Bogor 16911

*Corresponding author:* firda.syamani@biomaterial.lipi.go.id (Firda A Syamani)

## Abstract

In the present experiments, the fibrillated bleached pulp of acacia (*Acacia mangium*) was used as reinforcing filler in the poly vinyl alcohol (PVA) matrix resin. Fibrillation processes of the pulp involved the use of disc refiner, ultraturax (UT) and ultrasonicator (US). The composite film of PVA and 1% fibrillated pulp was prepared through film casting method. The morphology of fibrillated pulp was observed under SEM and the tensile properties (i.e. tensile strength, elongation at break and Young's modulus) of the composites were determined by the use of universal testing machine (UTM). It was found that 30 cycles disc refining of the pulp proceeded with 10 min US treatment resulted in a fiber diameter of approximately 8.35  $\mu\text{m}$ . PVA and fibrillated bleached pulp composites was transparent with thickness and density of 0.07-0.19 and 1.1-1.3  $\text{g cm}^{-3}$ , respectively. The Young's modulus of the composites with 30 cycles disk refining of the pulp was much higher (122.7  $\text{Nm m}^{-2}$ ) compared to that of pure PVA film (66.4  $\text{Nm m}^{-2}$ ). The tensile strength of PVA and fibrillated bleached pulp composites and pure PVA was unchanged.

**Key words:** *Acacia mangium*, film casting, mechanical fibrillation, mechanical properties, morphology

## Pendahuluan

Isu gerakan ramah lingkungan mendorong upaya untuk mencari alternatif material yang bersumber dari bahan terbarukan atau bahan yang tidak merusak lingkungan. Salah satu polimer ramah lingkungan yang dikembangkan adalah polivinil alkohol (PVA), yaitu polimer yang dihasilkan bukan dari minyak bumi tetapi dari gas alam. PVA merupakan polimer larut air sintetis yang paling banyak diproduksi (Ramaraj 2007). Penggunaan PVA cukup berkembang dan meliputi bidang yang luas karena sifatnya yang *biodegradable*, *biocompatible*, berkekuatan tarik tinggi, tahan terhadap bahan kimia dan ringan (Cheng *et al.* 2007). Menurut Flieger *et*

*al.* (2003), pemanfaatan polimer PVA berkembang dalam berbagai penggunaan, misalnya untuk komponen otomotif, kemasan dan bidang medis. PVA bersifat tidak beracun terhadap tubuh manusia sehingga dapat dikembangkan untuk pembuatan selongsong obat, benang operasi, dan sistem pemberian obat terkendali, sedangkan pemanfaatan PVA sebagai kemasan atau komponen otomotif memerlukan penambahan agen penguat atau modifikasi untuk memperbaiki sifat mekanis produk yang dihasilkan.

Penelitian mengenai komposit dengan matriks PVA diperkuat fibril selulosa telah dilakukan oleh Zimmermann *et al.* (2004). Fibril selulosa diperoleh dari

pulp sulfit yang difibrilasi secara mekanis menggunakan *ultraturrax* atau secara kimia menggunakan asam sulfat 10% selama 16 jam pada suhu 60 °C. Sedlarik *et al.* (2006) memanfaatkan laktosa dan kalsium laktat dari limbah peternakan untuk meningkatkan sifat kekuatan dan kekakuan komposit PVA. Bhatnagar dan Sain (2005), menghasilkan komposit dengan sifat kekakuan dan MOE yang tinggi karena diperkuat nano-selulosa dari serat flax, hemp, pulp kraft dan rutabaga yang diproses dengan perlakuan kimia dan mekanis. Cheng *et al.* (2007) menerangkan bahwa PVA dengan penambahan *regenerated cellulose (Lyocell)* yang diisolasi dengan teknik ultrasonikasi, menunjukkan sifat mekanis yang lebih baik. Penelitian Cheng *et al.* (2009) selanjutnya adalah memperkuat PVA dengan *micro-crystalline cellulose*.

Di Indonesia, akasia (*Acacia mangium Willd*) telah dipilih sebagai salah satu jenis tanaman favorit untuk Hutan Tanaman Industri (HTI) pulp. Tanaman ini mudah mengadaptasi lingkungan, sehingga mendapat prioritas untuk dikembangkan dalam pembangunan HTI. Luas areal hutan tanaman akasia di Indonesia dilaporkan mencapai 67% dari total luas areal hutan tanaman akasia di dunia (FAO 2002). Rimbawanto (2002) dan Barry *et al.* (2004) melaporkan bahwa sekitar 80% dari areal hutan tanaman di Indonesia yang dikelola oleh perusahaan negara dan swasta terdiri dari akasia. Sekitar 1,3 juta ha hutan tanaman akasia telah dibangun di Indonesia dan ditujukan sebagai bahan baku pulp (Departemen Kehutanan 2003).

Ketersediaan pulp akasia dan potensi pemanfaatannya dalam produk komposit melandasi penelitian memanfaatkan pulp akasia putih terfibrilasi untuk memperkuat komposit dengan matriks polivinil

alkohol (PVA) ini. Proses fibrilasi dilakukan secara mekanis menggunakan *disk refiner* dan *ultraturrax*, dan secara fisis menggunakan ultrasonikator. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh metode proses dan waktu fibrilasi pulp putih akasia terhadap sifat mekanis komposit PVA-pulp akasia.

### Bahan dan Metode

Dalam penelitian ini, pulp putih kering akasia direndam dalam air (0,4% b/v) selama 24 jam sebelum digiling 30 kali sirkulasi menggunakan *disc refiner*. Fibrilasi pulp menggunakan *ultraturrax* dan ultrasonikator dilakukan terhadap pulp dengan konsistensi 0,04% (b/v). Fibrilasi tunggal dengan *ultraturrax* dan ultrasonikator dilakukan masing-masing selama 20, 40, dan 60 menit, sedangkan fibrilasi gabungan dengan *ultraturrax* yang kemudian dilanjutkan dengan ultrasonikator dilakukan selama 10-10 menit (10 menit dengan *ultraturax* dilanjutkan dengan 10 menit menggunakan ultrasonikator), 20-20 menit, dan 30-30 menit. Fibrilasi dengan *ultraturrax* dilakukan menggunakan *ultraturrax IKA25* pada kecepatan putar 8000 rpm, sedangkan fibrilasi dengan ultrasonikator dilakukan menggunakan *ultrasonic homogenizer OMNI OR-400* pada tingkat energi (*power level*) 40% dengan jarak antara pemindai dan permukaan larutan sejauh 3 cm.

Film komposit PVA dan pulp dibuat dengan metode *film casting*. Kadar pulp di dalam komposit adalah 1% dari berat kering PVA. Pencampuran antara *pulp slurry* dan PVA dilakukan pada suhu 80 °C dengan kecepatan putar pengadukan 200 rpm selama 1 jam, dilanjutkan dengan pencampuran pada suhu 40 °C dengan kecepatan putar pengadukan 100 rpm selama 2 jam. Campuran PVA dan

pulp akasia dituang ke dalam cetakan berukuran (15x10) cm<sup>2</sup> dan dikeringkan pada suhu ruang selama 24 jam untuk menghilangkan gas akibat pengadukan. Komposit yang dihasilkan kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu 45 °C selama 24 jam. Setelah kering, komposit PVA dipotong berukuran (10x2,54) cm<sup>2</sup> untuk pengujian selanjutnya.

Sifat mekanis komposit (kekuatan tarik, regangan dan modulus elastisitas) ditentukan berdasarkan ASTM D882-02 (ASTM 2002) menggunakan kecepatan *crosshead* 50 mm per menit. Morfologi serat terfibrilasi dianalisis dengan SEM.

## Hasil dan Pembahasan

### Karakteristik morfologi serat

Kandungan lignin dan selulosa kayu teras akasia adalah 28,62 dan 50,13% (Haroen & Dimiyati 2006). Penulis ini juga melaporkan bahwa panjang serat, diameter serat, lumen dan tebal dinding sel serat akasia berturut turut adalah 0,98 mm, 15,08 µm, 12,49 µm dan 2,84 µm. Dalam penelitian ini, pulp putih akasiadifibrilasi secara mekanis menggunakan *disk refiner* untuk mengurai bundel fibril selulosa dari dinding serat. Setelah penggilingan sebanyak 10 putaran, diameter serat akasia ditemukan berukuran sekitar 12,1 µm. Penggilingan diteruskan sampai 30 putarandan dilanjutkan dengan perlakuan ultrasonikasi selama 10 menit menghasilkan serat berdiameter 8,35 µm (Syamani *et al.* 2010). Gambar 1 menunjukkan pulp putih akasia yang telah digiling sebanyak 30 putaran.

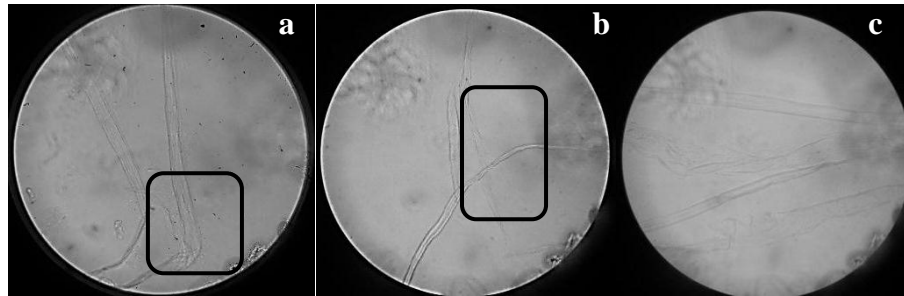
Penggunaan *disk refiner* memaksa *pulp slurry* melewati celah antara piringan rotor dan stator. Permukaan piringan

tersebut tersusun dari batangan dan lekukan sehingga *pulp slurry* akan mengalami tekanan yang berulang. Perlakuan mekanis tersebut menyebabkan perubahan pada morfologi pulp, memperbanyak gugus reaktif akibat peningkatan luas permukaan (Nagakaito & Yano 2004). Namun metode penggilingan cenderung menyebabkan kerusakan pada struktur mikrofibril karena penurunan derajat kristalinitas atau kegagalan untuk menghasilkan disintegrasi pulp yang diinginkan (Henriksson *et al.* 2007). Namun penggilingan perlu dilakukan sebelum proses fibrilasi lebih lanjut karena penggilingan menyebabkan fibrilasi pada permukaan luar serat pulp dengan pengupasan lapisan eksternal dinding sel secara bertahap (lapisan P dan S1) dan menyebabkan lapisan S2 tersingkap.



Gambar 1 Pulp putih akasia setelah penggilingan 30 putaran.

Dari Gambar 2a terlihat bahwa dengan *ultraturrax* disintegrasi serat dimulai dari ujung serat, sedangkan dengan ultrasonik (Gambar 2b) disintegrasi serat terjadi pada permukaannya. Gambar 2c menunjukkan bahwa kombinasi antara perlakuan *ultraturrax* dan ultrasonik dalam fibrilasi serat pulp menghasilkan disintegrasi serat yang lebih intens.



Gambar 2 Serat akasia terfibrilasi, pembesaran 400x (a) *ultraturrax* 60 menit, (b) ultrasonik 60 menit, (c) *ultraturrax*-ultrasonik 30-30 menit.

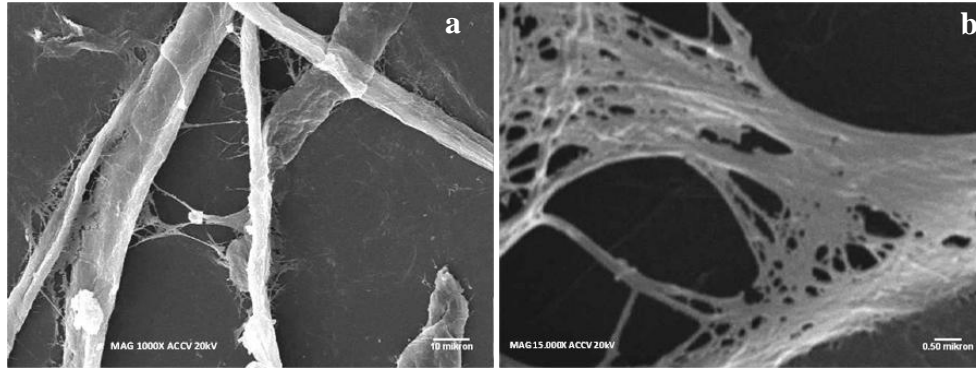
Ultrasonik merupakan metode untuk memperkecil ukuran partikel dalam dispersi dan emulsi yang telah terkembang. Peralatan ultrasonik digunakan untuk menghasilkan dispersi dan emulsi *slurry* berukuran nano karena berpotensi menyebabkan terjadinya de-agglomerasi. Ultrasonik dengan intensitas tinggi digunakan dalam pengolahan cairan seperti pencampuran, emulsifikasi, dispersi, deagglomerasi atau penggilingan. Ketika cairan dikenakan gelombang ultrasonik dengan intensitas tinggi, gelombang suara yang menyebar ke dalam media cairan menyebabkan pemampatan (pada tekanan tinggi) dan peregangan (pada tekanan rendah) secara berulang, pada laju yang dipengaruhi oleh frekuensi (Hielscher 2005).

Selama siklus tekanan rendah, gelombang ultrasonik intensitas tinggi menimbulkan gelembung-gelembung hampa udara berukuran kecil dalam cairan. Ketika gelembung-gelembung tadi mencapai suatu volume di mana gelembung tidak dapat lagi menyerap energi, maka gelembung akan pecah dan menyebabkan peningkatan tekanan sehingga terjadi siklus tekanan tinggi. Fenomena tersebut dinamakan *cavitation*. Partikel berukuran besar akan menjadi kecil karena pembelahan melalui benturan antar partikel atau

pecahnya gelembung di permukaan cairan (Hielscher 2005).

Proses fibrilasi serat pulp dengan gelombang ultrasonik dapat dijelaskan dengan efek *acoustic cavitation* pada gelombang ultrasonik frekuensi tinggi dengan terbentuk dan pecahnya gelembung mikro dalam media cairan. Pecahnya gelembung mikro secara tiba-tiba menyebabkan terbentuknya gelombang kejut dan mikrojet pada permukaan serat pulp, menyebabkan erosi di permukaan sehingga serat akan terurai pada arah aksial. Benturan gelombang ultrasonik dapat memecah ikatan antar serat yang umumnya merupakan ikatan yang cukup lemah seperti ikatan *van der waals*. Dengan demikian proses disintegrasi serat pulp oleh ultrasonik terjadi dengan mekanisme erosi, di mana agregat berukuran kecil akan terkikis dari permukaan agregat berukuran besar.

Proses fibrilasi menggunakan ultraturrax memberikan tekanan geser pada arah aksial serat yang menyebabkan disintegrasi serat pulp yang terjadi secara bertahap. Terlihat pada Gambar 3, bahwa setelah penggilingan 30 putaran, ultraturrax 30 menit dan ultrasonik 30 menit, pulp putih akasia terfibrilasi menjadi fibril dengan diameter yang lebih kecil.



Gambar 3 Fibrilasi pulp akasia terputihkan setelah refiner 30x, *ultraturrax* 30 menit dan ultrasonik 30 menit, (a) pembesaran 1000x, (b) pembesaran 15000x.

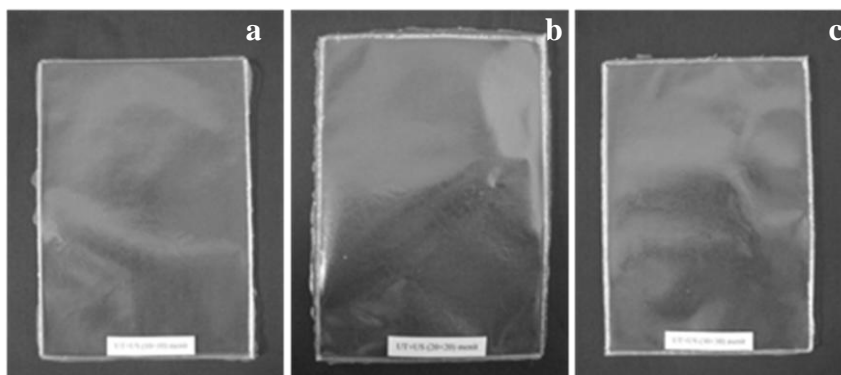
### Karakteristik fisik komposit

Komposit PVA dan pulp putih akasia terfibrilasi membentuk film transparan, dengan ketebalan bervariasi antara 0,07-0,19 mm dan kerapatan bervariasi antara 1,1-1,3 g cm<sup>-3</sup>. Penampakan komposit PVA dan pulp putih akasia dengan kombinasi perlakuan fibrilasi terlihat pada Gambar 4.

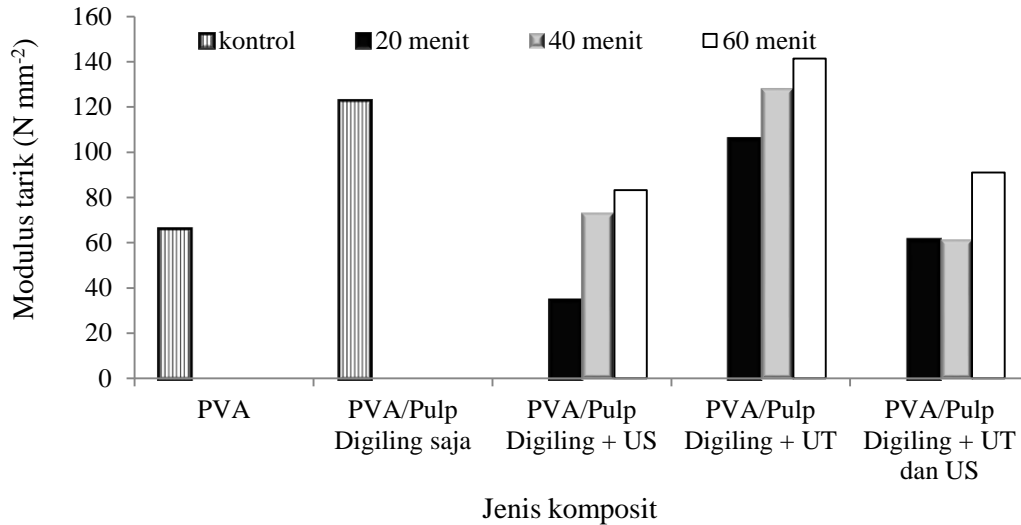
Modulus tarik dan kekuatan tarik dari komposit PVA dan pulp putih akasia disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Modulus tarik dari komposit PVA dan pulp putih akasia yang digiling 30 putaran lebih tinggi (122,7 Nm mm<sup>-2</sup>) dari pada modulus tarik lembaran PVA (66,4 Nm m<sup>-2</sup>). Tetapi kekuatan tarik

lembaran PVA (17,5 Nm mm<sup>-2</sup>) dapat dikatakan tidak berbeda dengan kekuatan tarik komposit PVA-pulp putih akasia yang difibrilasi (17,3 Nm mm<sup>-2</sup>). Hal tersebut menunjukkan bahwa pulp yang digiling belum dapat berfungsi sebagai penguat dalam komposit PVA, tetapi dapat meningkatkan kekakuan pada komposit yang dihasilkan.

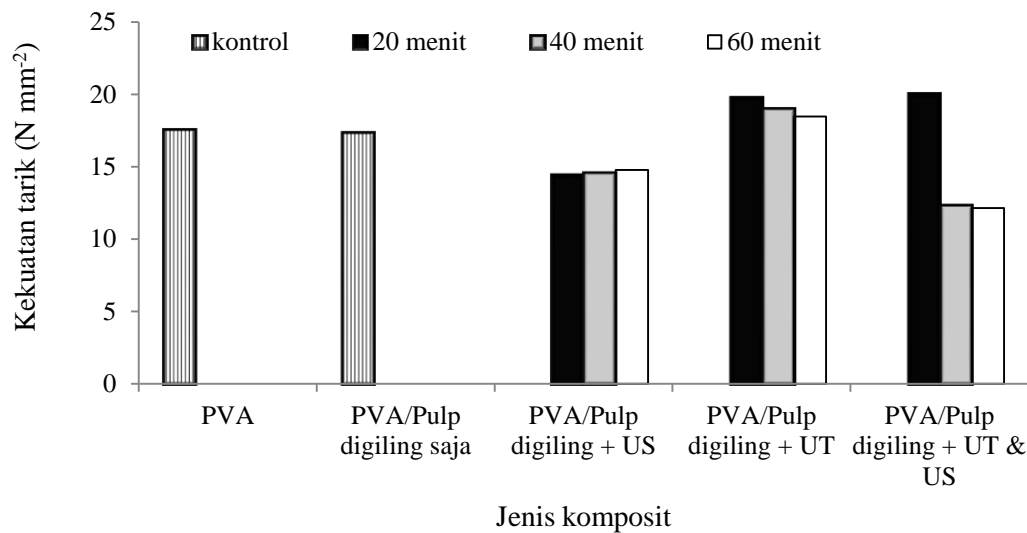
Komposit antara PVA dan pulp yang mendapat perlakuan penggilingan dan ultrasonikasi selama 20, 40, dan 60 menit menunjukkan modulus tarik dan kekuatan tarik yang lebih rendah daripada modulus tarik komposit PVA-pulp yang digiling tanpa perlakuan ultrasonikasi.



Gambar 4 Film polivinil alkohol diperkuat pulp akasia terfibrilasi dengan metode kombinasi *ultraturrax* dan ultrasonik selama (a) 10-10 menit, (b) 20-20 menit, (c) 30-30 menit.



Gambar 5 Modulus tarik lembaran PVA, komposit PVA-pulp giling, dan komposit PVA-pulp terfibrilasi dengan berbagai waktu giling dan perlakuan mekanis US (ultrasonik) dan UT (*ultraturrax*).



Gambar 6 Kekuatan tarik lembaran PVA, komposit PVA-pulp giling, dan komposit PVA-pulp terfibrilasi dengan berbagai waktu giling dan perlakuan mekanis US (ultrasonik) dan UT (*ultraturrax*).

Penggilingan pulp 30 putaran cenderung menyebabkan pulp menjadi rapuh dan mudah rusak. Perlakuan lanjutan dengan ultrasonik intensitas tinggi mengakibatkan kerusakan pada serat pulp, di mana serat menjadi tercabik-cabik sehingga

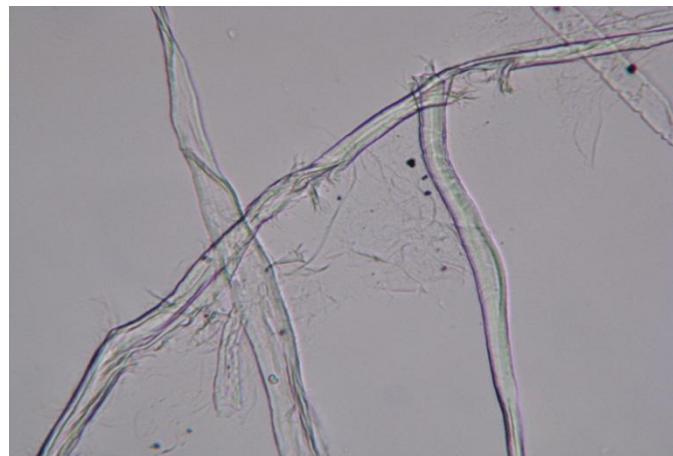
aspek nisbahnya menjadi lebih kecil (Gambar 7).

Komposit antara PVA dan pulp yang mendapat perlakuan penggilingan dan *ultraturrax* selama 40 dan 60 menit

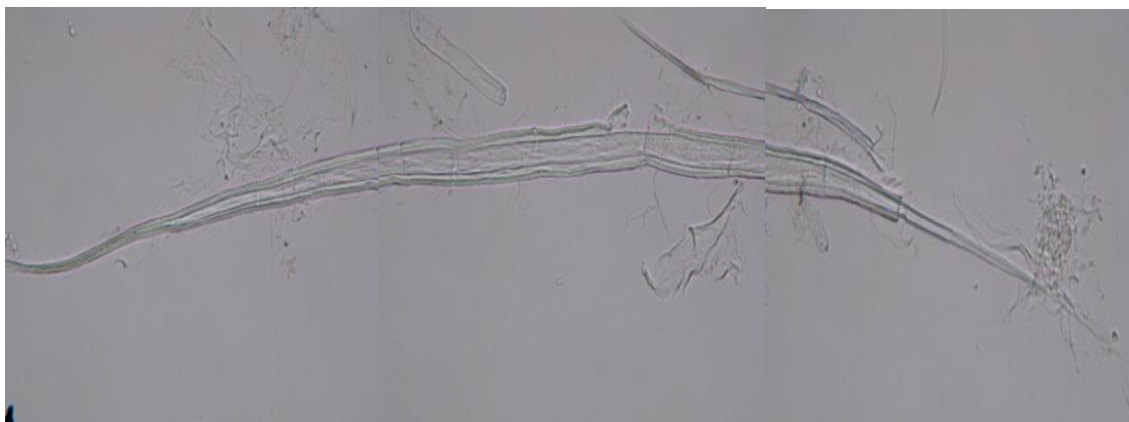
menunjukkan modulus tarik dan kekuatan tarik yang lebih tinggi dari pada modulus tarik dan kekuatan tarik komposit PVA-pulp yang digiling tanpa perlakuan *ultraturax*. Seperti telah dikemukakan sebelumnya, proses penggilingan menyebabkan fibrilasi permukaan luar serat pulp melalui pengupasan lapisan P dan S1 dari dinding sel (fibrilasi eksternal) secara bertahap dan menyebabkan lapisan S2 tersingkap. Perlakuan lanjutan dengan *ultraturax* menyempurnakan eksternal fibrilasi tanpa menyebabkan serat terpotong (Gambar 8).

Secara umum, penelitian ini menunjukkan bahwa komposit antara PVA dan pulp yang mendapat perlakuan penggilingan dilanjutkan dengan perlakuan *ultraturax* dan ultrasonik memiliki modulus tarik dan kekuatan tarik yang lebih rendah dari komposit pembandingnya.

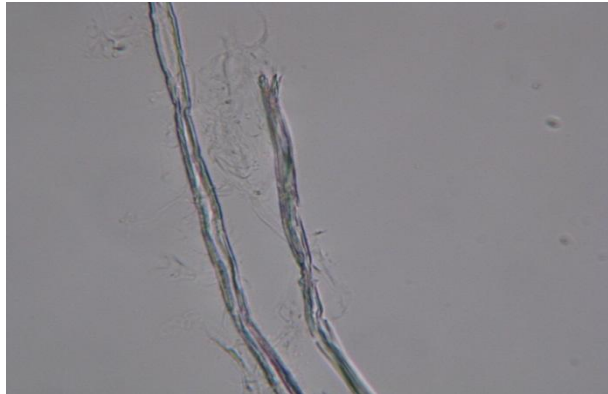
Perlakuan mekanis yang sangat intens menyebabkan kerusakan struktur dan pemendekan serat sehingga aspek nisbah serat menjadi kecil (Gambar 9). Serat dengan aspek nisbah kecil tidak dapat berfungsi sebagai penguat dalam komposit.



Gambar 7 Pulp putih akasia yang digiling 30 putaran dan ultrasonikasi selama 60 menit (pembesaran 400x).



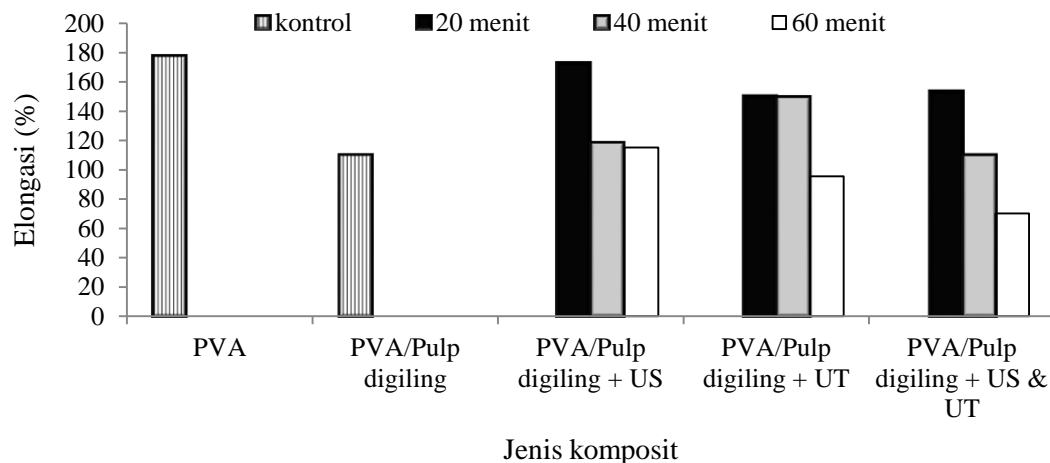
Gambar 8 Pulp putih akasia yang digiling 30 putaran dilanjutkan dengan perlakuan *ultraturax* selama 60 menit (pembesaran 400x).



Gambar 9 Pulp putih akasia yang digiling 30 putaran dan dilanjutkan dengan perlakuan *ultraturax* dan ultrasonifikasi masing-masing selama 30 menit (pembesaran 400x).

Komposit PVA-pulp yang digiling menunjukkan nilai *elongation at break* yang lebih rendah dari lembaran film PVA (Gambar 10). Hal tersebut menunjukkan bahwa komposit PVA-pulp yang digiling bersifat lebih regas atau lebih mudah putus. Dalam penelitian ini, pulp yang digiling merupakan pulp putih akasia sehingga kandungan selulosanya relatif tinggi. Selulosa meningkatkan kekakuan pada komposit ketika ditambahkan pada matriks yang bersifat lunak seperti PVA karena memiliki struktur kristalin di dalamnya.

Peningkatan waktu defibrilasi lanjutan dengan *ultraturax* dan ultrasonikasi atau kombinasi keduanya dari pulp yang telah digiling semakin menurunkan *elongation at break* dari komposit PVA-pulp yang dihasilkan. Perlakuan mekanis yang semakin intens dapat menyebabkan fibrilasi serat, menurunkan panjang serat dan memecah ikatan hidrogen pada struktur selulosa (Zhang *et al.* 2011), sehingga bagian amorf dari selulosa terkikis dan menyisakan bagian kristalin yang kaku.



Gambar 10 Elongasi lembaran PVA, komposit PVA-pulp giling, dan komposit PVA-pulp terfibrilasi dengan berbagai waktu giling dan perlakuan mekanis US (ultrasonik) dan UT (*ultraturax*).

## Kesimpulan

Proses penggilingan perlu dilakukan sebelum proses fibrilasi lebih lanjut karena penggilingan menyebabkan fibrilasi eksternal dinding sel secara bertahap dan menyebabkan lapisan S2 tersingkap. Fibrilasi dengan *ultraturrax* menyempurnakan pengupasan lapisan eksternal dinding sel dan menghasilkan fibril tanpa menyebabkan serat terpotong, sedangkan fibrilasi dengan ultrasonik intensitas tinggi mengakibatkan kerusakan pada serat pulp, di mana serat menjadi tercabik-cabik sehingga aspek rasionya menjadi lebih kecil. Komposit PVA-pulp yang digiling dan mendapat defibrilasi lanjutan dengan *ultraturrax* memiliki nilai modulus tarik dan kekuatan tarik yang lebih baik dari pada komposit PVA-pulp giling dan selanjutnya mendapat defibrilasi lanjutan dengan ultrasonikasi.

## Daftar Pustaka

- [ASTM] American Standard for Testing Materials. 2002. *Tensile Testing of Thin Plastic Sheeting* ASTM D 882-02. West Conshohocken: ASTM.
- Barry KM, Irianto RSB, Santoso E, Turjaman M, Widyati E, Sitepu I, Mohammed CL. 2004. Incidence of heartrot in harvest-age *Acacia mangium* in Indonesia, using a rapid survey method. *For. Ecol. Manag.* 190:273-280.
- Bhatnagar A, Sain M. 2005. Processing of cellulose nanofiber reinforced composites. *J Reinforced Plastic Comp.* 24(12):1259-1268.
- Cheng QZ, Wang S, Rials TG. 2009. Polyvinylalcohol nanocomposites reinforced with cellulose fibrils isolated by high intensity ultrasonication. *Comp. Part A* 40:218-224.
- Cheng QZ, Wang S, Rials TG, Lee SH. 2007. Physical and mechanical properties of polyvinyl alcohol and polypropylene composite materials reinforced with fibril aggregates isolated from regenerated cellulose fibers. *Cellulose* 14:593-602.
- Damayanti D. 2012. Industri plastik. *Buletin Industry Update* Vol 12, Juni 2012. [http://www.bankmandiri.co.id/indonesia/eriview-pdf/MGDJ\\_49527909.pdf](http://www.bankmandiri.co.id/indonesia/eriview-pdf/MGDJ_49527909.pdf) [31 Juli 2012].
- Flieger M, Kantovora M, Prett A, Rezanka I, Rotruba J. 2003. Biodegradable plastic from renewable resources. *Folio. Microbial.* 4891:27-44.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2002. *Forest Plantations Working Paper 18*. Roma: Forest Resources Development Service.
- Haroen WK, Dimiyati F. 2006. Sifat kayu tarik, teras dan gubal *Acacia mangium* terhadap karakteristik pulp. *Berita Selulosa* 41(1):1-7.
- Henriksson M, Henriksson G, Berglund LA, Lindstrom T. 2007. An environmentally friendly method for enzyme assisted preparation of microfibrillated cellulose (mfc) nanofibers. *Eur. Polym. J* 43:3434-3441.
- Hielscher T. 2005. Ultrasonic production of nano-size dispersions and emulsions. <http://www.archives-ouvertes.fr/docs/00/16/69/96/PDF/1048.pdf>. [12 Oktober 2012].
- Kusumaningrum WB, Astari L, Ismadi. 2011. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol (PVA) composite reinforced with sisal (*Agave sisalana* Perr) *Bleached Fiber Treated by Mechanical Fibrillation*. Di dalam: Lukmandaru G *et al.*,

- editor. *Proceeding of The 3rd International Symposium of IWoRS*, Yogyakarta 15 Agustus 2012. Yogyakarta: IWoRS. Pp 130-137.
- Kusumaningrum WB, Astari L, Munawar SS, Ismadi. 2011. Mechanical properties of polyvinyl-alcohol composites reinforced bleached and unbleach empty fruit bunches fiber. Di dalam: SS Munawar *et al.* editor. *Proceeding of The 1st International Sustainable Humanosphere Symposium*, Ambon 3 Oktober 2011. Bogor: UPT Balitbang Biomaterial LIPI. p 98-102.
- Lu J, Wang T, Drzal LT. 2008. Preparation and properties of microfibrillated cellulose polyvinyl alcohol composite materials. *Composite Part A* 39 :738-746.
- Nagakaito AN, Yano H. 2004. The effect of morphological changes from pulp fibers towards nano-scale fibrillated cellulose on the mechanical properties of high-strength plant fiber based composites. *Appl. Phys. A-Mater Sci. Process* 80:155-159.
- Rimbawanto A. 2002 Plantation and Tree Improvement Trends in Indonesia. Di dalam: Barry K, editor. *Heartrots in Plantation Hardwoods in Indonesia and Australia*, 3-7. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research.
- Sedlarik V, Saha N, Kurika L, Saha P. 2006. Characerization of polymeric biocomposite based on poly(vynil alcohol) and poly(vynil pyrrolidone). *Polym Compos* 27(2):147-152.
- Syamani FA, Astari L, Subyakto. 2011. Technology of producing cellulose nanofibers from *Acacia mangium* pulp. Di dalam: NJ Wistara *et al.*, editor *Proceeding of The 2nd International Symposium of IWoRS*, Bali 12-13 November 2010. Bogor: IWoRS. Pp 31-38.
- Zhang W, Yang XL, LiC, Liang M, Lu C, Deng Y. 2011. Mechanochemical activation of cellulose and its thermo-plastic polyvinyl alcohol eco-composites with enhanced physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers* 83:257-263.
- Zimmermann T, Pohler E, Geiger T. 2004. Cellulose Fibrils for polymer reinforcement. *Adv. Eng. Mat.* 6(9): 754-761.
- Riwayat naskah (*article history*)  
 Naskah masuk (*received*): 18 Juli 2012  
 Diterima (*accepted*): 24 September 2012