

POTENSI SERAT RAMI (*BOEHMERIA NIVEA S. GAUD*) SEBAGAI BAHAN BAKU INDUSTRI TEKSTIL DAN PRODUK TEKSTIL DAN TEKSTIL TEKNIK

THE POTENCY OF RAMIE FIBER (BOEHMERIA NIVEA S. GAUD) AS A RAW MATERIALS FOR TEXTILES AND TEXTILE PRODUCTS AND TECHNICAL TEXTILE INDUSTRIES

Eva Novarini, Mochammad Danny Sukardan

Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung

E-mail: texirdti@bdg.centrin.net.id

Tanggal diterima: 5 Oktober 2015, direvisi: 3 Nopember 2015, disetujui terbit: 17 Nopember 2015

ABSTRAK

Ketergantungan industri tekstil nasional terhadap bahan baku kapas impor masih sangat tinggi. Serat rami diharapkan dapat menjadi serat selulosa alternatif yang mampu mengurangi penggunaan serat kapas untuk bahan baku tekstil dan produk tekstil (TPT). Beberapa sifat serat rami hampir menyerupai sifat serat kapas namun kekuatan tarik serat rami dua kali lipat lebih besar dan daya serap airnya lebih tinggi daripada serat kapas. Pengembangan serat rami untuk bahan baku TPT masih memiliki kendala diantaranya kurang berminatnya masyarakat untuk membudidayakan tanaman rami, terbatasnya lahan perkebunan rami, proses pengolahan batang basah serat rami terutama proses *degumming* yang belum mampu menghasilkan kualitas serat rami siap pintal yang sesuai serta teknologi proses pemintalan serat rami sistem kapas maupun sistem *worsted* yang belum dikuasai sepenuhnya. Prospek serat rami untuk bahan baku TPT dan tekstil teknik sangat besar. Untuk kain sandang, campuran 45% rami dengan 55% kapas menghasilkan tekstur seperti kain linen yang eksklusif. Serat rami juga berpotensi sebagai bahan baku komposit dengan matriks polimer. Komposit polimer dengan penguat serat rami dapat digunakan untuk komponen otomotif dan lain sebagainya. Balai Besar Tekstil selaku lembaga litbang pemerintah turut memiliki tanggung jawab terhadap pertumbuhan kemampuan dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang tekstil. Untuk mendukung pengembangan serat rami sebagai bahan baku TPT maka arah riset Balai Besar Tekstil dapat ditujukan pada peningkatan kualitas serat rami serta diversifikasi produk akhir berbahan serat rami. Hal ini diselaraskan dengan fokus litbang Balai Besar Tekstil yaitu mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku impor melalui substitusi bahan baku dari dalam negeri.

Kata kunci: serat rami, substitusi kapas, tekstil dan produk tekstil, komposit

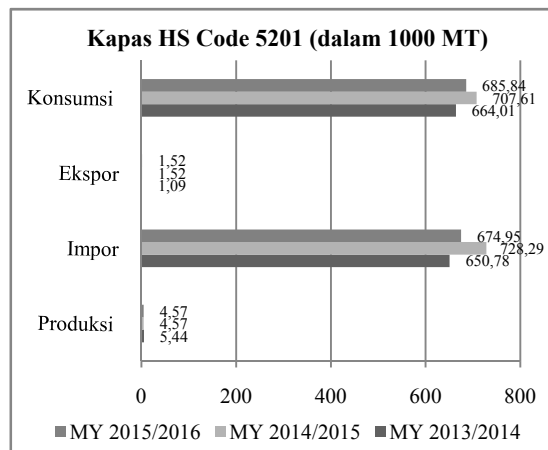
ABSTRACT

The dependency of Indonesian textile industries towards imported cotton as a raw materials is still very substantial. Ramie fiber is expected to become an alternative cellulose fiber which capable to reduce the uses of cotton fiber as a raw material for textiles and textile products (TTP). Ramie fiber has several cotton-like properties, however the tensile strength of ramie fiber is twice greater and ramie has a higher moisture regain than cotton. The development of rami fiber as a raw material for the TTP still meet many obstacles suchlikelack of communities interest to cultivate the ramie plants, limited landfill for ramie plantations, the processing of ramie stems mainly in degumming process which still not yet capable to produce a good quality of ready-for-spin ramie fibers, also nor cotton system and worsted system of ramie spinning technology which had been completely mastered. The prospect of ramie fiber used as TTP and technical textiles raw materials is quite enormous. For textile clothing, the mixture of 45% ramie and 55% cotton produce a linen-like exclusive texture. Ramie fiber is also a potential raw materials for polymer matrix composites. Ramie fiber composites can be used for automotive parts, etc. Center for Textile as a government R & D institution have the responsibility to support capability enhancement as well as science and technology advancement in the textile field. In order to participate in the development of ramie fiber as a raw material for the TTP, the objective of research of Center for Textile should be directed to improve the quality of ramie fiber as well as diversifies the end products made from ramie fiber. The pace should be aligned with the focus of R & D of Center for Textile to lessen the dependency on imported raw materials through domestic raw materials substitution.

Keywords: ramie fiber, cotton substitution, textile and textile product, composites

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan serat selulosa alami untuk tekstil dan produk tekstil di Indonesia, bahkan di dunia masih didominasi oleh serat kapas. Daya serap pasar serat kapas dunia berkisar ± 29,7% dari total volume produksi serat tekstil dunia yang mencapai 89,4 juta ton.¹ Hingga kini serat selulosa lain belum mampu menggantikan sepenuhnya posisi serat kapas sebagai serat tekstil yang paling utama, khususnya untuk bahan baku tekstil sandang. Diperkirakan bahwa kecenderungan global [pertumbuhan penduduk, pertumbuhan kemakmuran dan perubahan iklim] serta pasokan kapas yang terbatas sebagai akibat peningkatan konsumsi serat secara global akan menyebabkan tingginya permintaan akan serat selulosa [*cellulose gap*].² Serat selulosa non kapas baik yang alami maupun buatan diharapkan dapat mengambil keuntungan dari *cellulose gap* tersebut.



Keterangan: MY = Marketing Year

Gambar 1. Angka ekspor dan impor serta jumlah produksi dan konsumsi domestik komoditi kapas di Indonesia³

Data produksi dan konsumsi domestik serta ekspor impor komoditi kapas (HS Code 5201) di Indonesia yang dihimpun oleh USDA *Foreign Agricultural Service* dapat dilihat pada Gambar 1.³ Gambar 1 menyatakan dengan jelas bahwa produksi kapas dalam negeri sangat tidak sebanding dengan kebutuhan konsumsi domestik yang sangat besar. Berdasarkan data tiga tahun terakhir, produksi kapas domestik hanya dapat memenuhi kurang dari 0,1% kebutuhan kapas dalam negeri. Kekurangan pasokan bahan baku kapas dalam negeri tersebut selama ini diatasi melalui jalur impor.

Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Perdagangan menerbitkan regulasi baru mengenai impor TPT yaitu Peraturan Menteri Perdagangan RI No. 85/MDAG/PER/10/2015 yang memberikan ijin impor bahan baku untuk industri manufaktur TPT bagi importir yang memiliki API-P (Angka Pengenal Importir-Produser).⁴ Regulasi

sebelumnya hanya memberikan ijin impor bahan baku bagi importir dengan nomor identifikasi importir API-P Tekstil dan Produk Tekstil. Peraturan Kemendag yang berlaku efektif pada Oktober 2015 ini dapat menjadi salah satu pendorong meningkatnya angka impor bahan baku kapas ke tanah air. Kemudahan yang diperoleh melalui regulasi ini dapat menyelesaikan masalah kebutuhan bahan baku industri untuk jangka pendek namun secara jangka panjang hal ini tidak akan mampu memberikan solusi atas ketergantungan Indonesia terhadap impor kapas untuk memenuhi kebutuhan bahan baku serat selulosa industri TPT.

Pasokan bahan baku kapas lokal sangat tidak memungkinkan untuk memenuhi kebutuhan kapas domestik. Bahkan produksi kapas terus mengalami penurunan sebesar rata-rata 24,79% pertahun sejak tahun 2008.³ Budidaya kapas bukan merupakan solusi yang terbaik untuk mengatasi permasalahan ketergantungan bahan baku ini. Kapas sulit dibudidayakan di Indonesia karena memerlukan biaya produksi tinggi, risiko agronomi yang besar, tidak adanya varietas benih bermutu dan rawan serangan hama wereng. Data Ditjenbun pada tahun 2013 menyatakan luas areal perkebunan kapas di Indonesia hanya berkisar ±11,287 Ha dengan jumlah produksi 2.558 ton.⁵

Ketergantungan industri TPT yang sangat tinggi terhadap bahan baku selulosa dari kapas impor ini perlu segera dicari solusi konkritnya. Diharapkan Indonesia memiliki sumber daya alam (SDA) lain penghasil serat selulosa untuk alternatif bahan baku industri TPT yang pasokannya dapat dipenuhi dari produksidalam negeri sehingga ketergantungan terhadap serat kapas impor dapat dikurangi. Serat alam yang berpotensi dijadikan sumber selulosa lainnya adalah rami. Rami adalah salah satu serat tumbuhan tertua yang telah digunakan ribuan tahun. Sejak jaman prasejarah rami telah digunakan di Cina, India dan Indonesia.⁶ Di Indonesia, tanaman rami terdapat hampir di seluruh daerah di tanah air. Sama halnya dengan serat kapas, komposisi utama penyusun serat rami adalah selulosa (72-97%).⁷ Oleh karena itu serat rami diharapkan dapat dijadikan alternatif penghasil serat selulosa lainnya untuk bahan baku TPT.

Pemanfaatan serat rami kini semakin meluas. Salah satunya sebagai serat penguat (*reinforcement fiber*) pada industri komposit. Diperkirakan kebutuhan serat alam dari tumbuhan pengganti serat gelas untuk pasar produk komposit di dunia dapat mencapai 120.000 MT.⁸ Konsumsi serat alam untuk produk komposit di Eropa bahkan diperkirakan mengalami peningkatan 10% setiap tahunnya. Sebagai contoh, di Eropa penggunaan serat alam untuk bahan baku komposit pada tiap unit kendaraan dapat mencapai 5-10 kg. Peluang besar ini perlu dimanfaatkan sebaik mungkin dengan pengembangan rami secara menyeluruh melalui

Tabel 1. Beberapa karakteristik kimia dan fisika serat rami dibandingkan dengan serat-serat selulosa lainnya⁷

Karakteristik	Rami	Kapas	Hemp	Flax
Average ultimate fibre length (mm)	120-150	20-30	15-25	13-14
Average ultimate fibre diameter (μ)	40-60	14-16	15-30	17-20
Tensile strength (kg/mm ²)	95	45	83	78
Moisture regain (%)	12	8	12	12
Cellulose	72-97*	88-96	67-78	64-86
Lignin	1-0	0	6-4	5-1
Hemicellulose, pektin, etc	27-3	12-4	27-18	31-14

peningkatan budidaya, penguasaan teknologi pengolahan dan diversifikasi produk akhir. Berdasarkan pemikiran tersebut maka dalam tulisan ini akan diulas mengenai serat rami (*Boehmeria nivea S. Gaud*) serta potensinya sebagai bahan baku TPT dan tekstil teknik.

KARAKTERISTIK SERAT RAMI

Tanaman rami atau yang dikenal dengan sebutan *China grass* tergolong ke dalam kelompok serat batang. Tanaman rami menghasilkan serat dari kulit kayunya. Secara kimia rami diklasifikasikan ke dalam jenis serat selulosa sama halnya seperti kapas, linen, hemp dan lain-lain. Rami memiliki sejumlah keunggulan yang membedakannya dengan serat batang lainnya. Rami memiliki kompatibilitas yang baik dengan seluruh jenis serat baik serat alam maupun sintetis sehingga mudah untuk dicampur dengan jenis serat apapun. Karakteristik serat rami dan serat selulosa lain dapat dilihat pada Tabel 1.

Jika dibandingkan dengan kapas, flax dan hemp, maka rami memiliki kekuatan yang paling tinggi. Marsyahyo, dkk memanfaatkan keunggulan kekuatan serat rami untuk membuat panel tahan peluru dari komposit serat rami.⁹ Dimensi serat rami tidak berubah pada kenaikan kelembaban hingga 25%. Daya serap terhadap airnya (*moisture regain*) terbilang tinggi yaitu 12% sedangkan daya serap kapas hanya 8%. Daya serap yang lebih tinggi ini menjadikan rami lebih mampu menyerap cairan tubuh seperti keringat. Oleh karena itu rami sangat sesuai untuk digunakan sebagai pakaian musim panas. Rami juga memiliki ketahanan yang baik terhadap serangan bakteri, jamur, serangga dan pelapukan, stabilitas dimensi tinggi, serta ketahanan luntur warna yang baik terhadap sinar dan pencucian. Dengan berbagai keunggulan dan beberapa sifatnya yang menyerupai serat kapas, serat rami diharapkan akan sesuai apabila dijadikan sebagai alternatif penghasil serat selulosa untuk mengurangi ketergantungan terhadap kapas impor.

BUDIDAYA TANAMAN RAMI

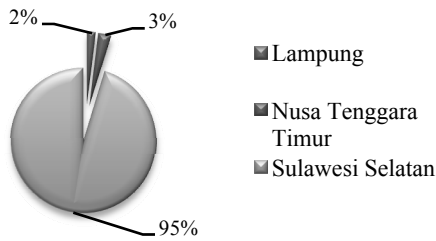
Kondisi geografis serta demografis di Indonesia sangat sesuai untuk budidaya tanaman rami. Indonesia telah memiliki varietas unggul tanaman rami yang dinamakan Ramindo 1 [dahulu Pujon 10] asal Pujon, Malang, Jawa Timur.¹⁰ Ramindo 1 memiliki produktivitas serat (*China grass*) yang tinggi (2-2,7 ton/ha/tahun) dan dapat

dibudidayakan di dataran rendah, sedang maupun tinggi. Ramindo 1 dapat dipanen setiap 2 bulan dan dalam setahun dapat dilakukan 5 hingga 6 kali panen. Meski Indonesia telah memiliki varietas unggul tanaman rami yang ditunjang oleh iklim yang sesuai, namun budidaya tanaman rami di Indonesia masih belum maksimal. Minat masyarakat dalam budidaya tanaman rami masih sangat rendah, hal ini salah satunya disebabkan kurangnya industri hilir yang mengolah rami menjadi berbagai produk akhir. Menurut data Ditjenbun, pada tahun 2012 luas area perkebunan rami Indonesia hanya ± 528 Ha dan keseluruhannya merupakan perkebunan rakyat.¹¹ Pada tahun 2014 luas area kebun rami diperkirakan berkurang hingga ± 280 Ha. Pengurangan terbesar terjadi di Sulawesi Selatan [diprediksi hanya tersisa ± 255 Ha lahan]. Luas area tanam perkebunan rami masih sangat kecil sehingga kapasitas produksinya masih sangat terbatas. Sebaran lokasi perkebunan rami di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.

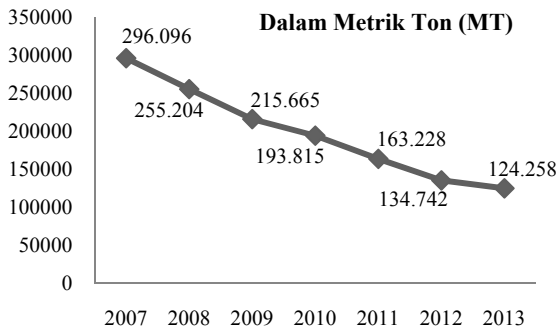
Rami termasuk tanaman industri yang perkembangannya lambat. Tidak banyak negara yang berminat untuk membudidayakan rami. Selain di Indonesia, tanaman rami tumbuh di China, Brasil, Filipina, Korea, Vietnam, Jepang, India dan negara-negara Asia selatan lainnya.¹² Hingga kini China masih menjadi produsen rami terbesar dunia yang menyumbang hingga 97% dari total produksi rami global. Gambar 3 dan 4 menyajikan data produksi tanaman rami secara global beserta empat produsen rami terbesar di dunia selama tahun 2010-2013 yang diperoleh dari FAO.¹³

PROSES PERSIAPAN PEMINTALAN RAMI

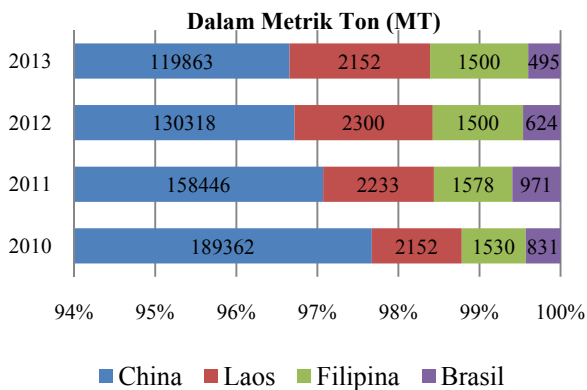
Selama bertahun-tahun penggunaan serat rami untuk tekstil telah banyak menarik perhatian, namun proses pengolahan batang basah rami hingga menjadi serat siap pintal, khususnya *degumming* yang tidak efisien memberi hambatan tersendiri dalam pengembangannya untuk bahan baku TPT, padahal teknologi persiapan pemintalan rami masih berupa teknologi sederhana. Sebagai produsen rami terbesar di dunia, China memiliki berbagai upaya peningkatan pemanfaatan rami melalui penelitian teknologi yang fokus pada mempelajari struktur serat, efisiensi proses *degumming*, optimalisasi proses pemintalan, pertentunan dan perajutan modern serta mengembangkan kain-kain *apparel* untuk konsumen pasar yang modern.¹⁴



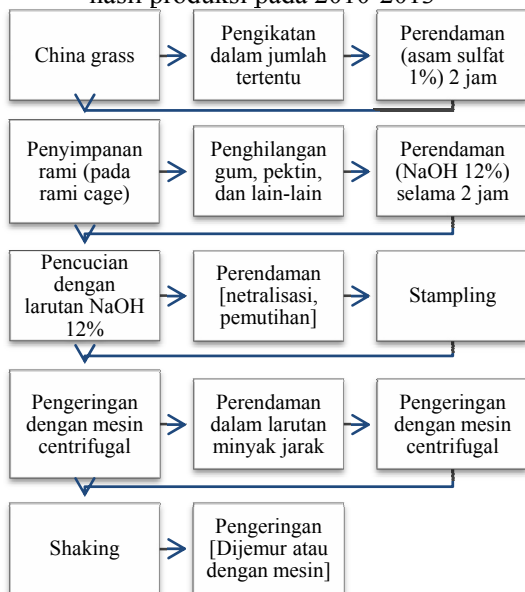
Gambar 2. Lokasi perkebunan rami di Indonesia¹¹



Gambar 3. Produksi tanaman rami secara global¹³



Gambar 4. Produsen terbesar rami di dunia dan hasil produksi pada 2010-2013¹³



Gambar 5. Tahapan proses degumming

Proses persiapan pemintalan diawali dari pengolahan batang basah rami. Batang basah rami diolah melalui proses pemecahan/mekanik dengan mesin menjadi bentuk sekelompok serat yang masih kasar yang lazim disebut sebagai *China grass*. Proses pemecahan atau dekortikasi ini cukup menentukan kualitas serat rami yang dihasilkan. Proses dekortikasi dapat dilakukan dengan mesin dekortikator sistem pemukulan atau sistem kontinyu dengan pasangan-pasangan rol bergerigi/*flute roll*. Batang basah rami hasil panen harus segera didekortikasi, paling lambat 2x24 jam setelah panen. Proses dekortikasi menghasilkan rendemen serat ±3%-4% dari berat batang basah.¹⁴

Proses *degumming (retting)* merupakan tahapan paling krusial pada proses pengolahan batang basah rami. Proses ini sangat menentukan kualitas akhir serat siap pintal. Batang basah rami mengandung bahan bergetah [*gum*] antara 20% hingga 35% bergantung pada varietas tanaman. *Gum* ini sebagian besar terdiri atas pektin dan hemiselulosa. Kandungan pektin pada rami cukup tinggi yaitu 3% hingga 27%, padahal kandungan pektin pada serat kapas hanya 0,9%. Hal ini yang menyebabkan serat rami cenderung lebih kaku jika dibandingkan kapas. Persyaratan kandungan residu *gum* maksimum pada bahan tekstil dari serat rami adalah 1,5-2,5%. Pada proses *degumming*, *gum* dihilangkan sehingga rami hasil dekortikasi dapat terurai menjadi serat individu yang siap pintal. Klasifikasi proses *degumming* dapat dilihat pada Tabel 2.¹⁵ Proses ini adalah proses yang paling banyak memakan waktu dan salah satu yang menjadikan rami kurang populer di pasaran dunia jika dibandingkan serat batang lain seperti jute dan flax, meski memiliki kenampakan dan sifat hampir serupa dengan flax.¹⁴ Dari hasil kunjungan tim Kementerian Perindustrian tahun 2007 ke salah satu pabrik pengolah rami di China, tahapan proses *degumming* seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Tabel 2. Klasifikasi proses *degumming (retting)*¹⁵

Degumming (retting)	Kelebihan atau kekurangan
Biologi alami (embun atau <i>dew retting</i>)	Proses sangat lama (3-6 minggu), kualitas serat yang dihasilkan tidak konsisten, berisiko menurunkan kekuatan serat
Biologi alami (<i>cold water retting</i>)	Kualitas serat tinggi, proses cukup lama (7-14 hari), menghasilkan limbah organik berbau akibat fermentasi gas
Biologi buatan (<i>hot water retting</i>)	Proses lebih singkat (3-5 hari), kualitas serat baik (bersih dan homogen), pencemaran tinggi
Biologi (<i>enzyme retting</i>)	Proses singkat (2-24 jam), tidak mengakibatkan kerusakan serat, biaya proses tinggi sehingga aplikasi baru sebatas skala pilot
Mekanika (<i>green retting</i>)	Proses lebih singkat (2-3 hari maks. 10 hari), kualitas serat kasar

Tabel 2. Klasifikasi proses *degumming (retting)*¹⁵ (Lanjutan)

<i>Degumming (retting)</i>	Kebanyakan atau kekurangan
Fisika (<i>ultrasonic retting</i>)	Kualitas serat hanya sesuai untuk tekstil teknik dan aplikasi nontekstil
Fisika (<i>steam explosion retting</i>)	Kualitas kehalusan dan sifat serat hampir sebanding dengan kapas
Kimia (menggunakan surfaktan/asam sulfat/NaOH/natrium karbonat)	Proses singkat (beberapa menit hingga 48 jam), kualitas serat tinggi, namun memerlukan biaya tambahan untuk penanganan limbah

Salah satu penelitian mengenai proses *degumming* yang telah dilakukan Balai Besar Tekstil (BBT) adalah pemanfaatan lumpur aktif limbah industri tekstil sebagai media proses *biodegumming* (2004). Hasil optimal perendaman rami di dalam lumpur aktif dengan MLLS 4.000 mg/l selama 7 hari adalah serat dengan kehalusan 4,71 denier, tenasiti 5,22 g/denier, mulur 3,89% dan kadar gum 9,97%. Salah satu kelemahannya adalah waktu *retting* yang lama [7 hari] namun metode ini dapat memanfaatkan limbah industri tekstil dan ramah lingkungan. Salah satu upaya terbaru yang dilakukan untuk meningkatkan efektivitas proses *degumming* adalah penggabungan proses *degumming* secara biologi atau proses *degumming* secara kimia dengan teknologi plasma seperti yang dilakukan Ming Shen dkk (2015).^{16,17} Penggabungan proses *degumming* secara biologi maupun kimia dengan teknologi plasma berhasil meningkatkan efektivitas proses *degumming*, memperbaiki sifat mekanik serat, mengurangi konsumsi zat kimia serta mengurangi durasi waktu pengerjaan. Penggabungan metode ini memiliki potensi diaplikasikan tidak hanya untuk *degumming* rami namun juga pada proses *pretreatment* kain kapas mentah dan serat selulosa alam lainnya dengan keuntungan lebih ramah lingkungan karena efisien dalam penggunaan bahan kimia, air maupun energi.

PEMINTALAN SERAT RAMI

Serat rami dapat dipintal menjadi benang dengan 2 sistem yaitu pemintalan serat pendek [sistem kapas] dan serat panjang [sistem *worsted*]. BBT sejak tahun 1984 telah melakukan berbagai penelitian pembuatan benang campuran serat rami dengan serat lainnya. Namun hingga kini benang rami 100% yang dipintal dengan sistem pemintalan kapas masih belum dapat diproduksi dalam skala besar. Kesulitan yang kerap kali ditemui umumnya disebabkan oleh kehalusan serat rami yang rendah (kasar) dan cenderung kaku. Permukaan serat rami tidak memiliki *crimp*, sehingga sangat sulit membentuk ikatan antar serat karena daya kohesi sangat rendah. Kesulitan terbesar yang dialami adalah ketika pembuatan web pada proses *carding*.

Hingga kini industri tekstil di Indonesia belum memiliki sistem pemintalan serat panjang [*worsted*] yang lengkap mulai dari proses persiapan pemintalan hingga pemintalan benang rami. Sistem pemintalan yang ada kini baru sampai pada tahapan pembuatan *sliver [top making]*. Pembuatan *sliver [top making]* tersebut bukan proses khusus untuk rami melainkan untuk pembuatan benang dari serat wol, akrilat, dan serat batang lain seperti jute, kenaf dan rosela. Dari seri mesin persiapan pemintalan sistem *worsted* tersebut, berdasarkan pengamatan mesin *opening [carding]* dan *combing* belum sepenuhnya sesuai untuk pemintalan rami karena keterbatasan pada kapasitas setelan mesin. Ukuran panjang serat yang lebih dari 125 mm menjadi kendala besar dalam proses pemintalan. Kapasitas setelan mesin yang ada tidak dapat mengakomodir kondisi pemintalan serat rami yang ideal. Sebagai contoh, mesin *roving* dan *ring spinning* yang umum terdapat di Indonesia hanya sesuai untuk panjang serat 75 mm-100 mm. Urutan proses pemintalan serat rami tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Sistem pemintalan serat rami

Oleh karena industri pengolah rami belum memiliki model alur proses pemintalan rami sistem *worsted* yang baku, maka proses pemintalan yang dilakukan mengadopsi sistem pemintalan jute dan wol. Berdasarkan penelitian,¹⁸ sistem pemintalan serat jute dan wol memiliki kemiripan dengan proses pemintalan serat rami 100% sistem *worsted*. Perbedaan signifikan hanya terjadi pada pengaturan setelan mesin yang digunakan seperti setelan mesin *carding* dan *drawing/gilling*. Pada pemintalan rami sistem jute, dilakukan proses *softening* (mekanik dan kimia) hingga *drawing II/ordinary gill* (pembentukan *sliver/top* yang belum sempurna).

Sedangkan pada pemintalan rami sistem wol, dilakukan proses *mixing* hingga *givo/intersecting vertical draw frame/gilling* (*top* rami 100%).

Karakteristik individu serat rami mulai dari proses *degumming* hingga pembuatan *top* umumnya mengalami perubahan yang signifikan. Perubahan-perubahan tersebut diantaranya adalah panjang serat rata-rata/*mean length* yang menurun drastis (*sliver* awal 200 mm *top* rami menjadi 101,8 mm), kehalusan serat yang meningkat 18,8% (makin halus dari 7,5 denier menjadi 6,09 denier), kekuatan individu serat yang menurun hingga 26,9% (48,0 gram menjadi 35,1 gram) dan mulur serat yang meningkat 17,6% (3,52% menjadi 4,14%). Meski demikian, masih terdapat banyak kelemahan serta kekurangan baik jika ditinjau dari aspek teknis maupun kualitas produk serat/*strand* rami. Secara visual, homogenitas *China grass* yang digunakan relatif masih rendah sehingga hal ini berpengaruh terhadap kualitas akhir serat rami. Rendemen serat rami siap pintal dalam bentuk *top* hanya sebesar 0,8%, sisanya adalah berupa *reused waste* sebanyak 1,3% dan limbah terbuang sebanyak 0,15%. Rendemen tersebut diperoleh dari 100% batang rami basah, dengan asumsi rendemen dari hasil dekortikasi 3% dan limbah *degumming* 25%. Kualitas *top* rami 100% yang dihasilkan dan *top* rami ex. China dapat dilihat pada Tabel 3.¹⁸

Tabel 3. Perbandingan *top* rami 100% hasil penelitian dan *top* rami Ex. China¹⁸

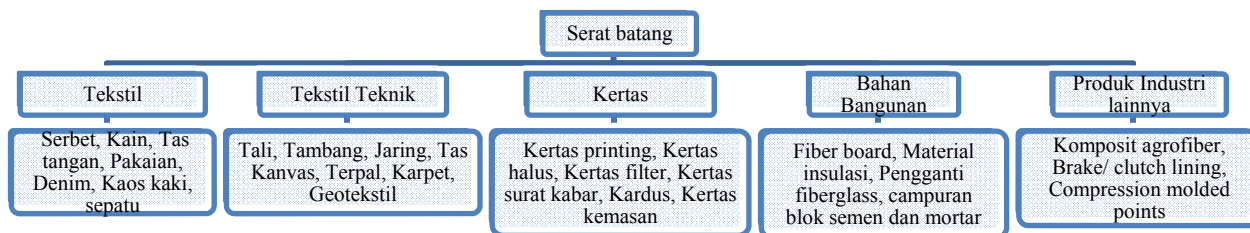
Karakteristik <i>Top</i> Rami dan Individu Seratnya	Hasil Penelitian	Ex. China
Berat/meter (gram)	6,9	6,2
<i>Nep</i> /gram	13 bh;1,7 %	4 bh;0,01 %
Panjang Serat:		
- <i>Mean Length</i> (mm)	101,8	102,4
- CV (%)	29,8	30,1
- <i>Effective Length</i> (mm)	111,0	120,0
- % Serat Pendek	7,0	3,0
Kehalusan (denier)	6,09	5,91
CV (%) kehalusan	3,7	2,9
Kekuatan/helai (gram)	35,1	37,1
CV (%) kekuatan	37,4	38,2
Mulur (%)	4,14	4,43
CV (%) mulur	21,6	18,8

APLIKASI SERAT RAMI

Minat penggunaan serat alam khususnya yang berasal dari sumber daya alam terbarukan semakin meningkat. Produk berbahan serat alam 100% atau campurannya dengan serat sintetis

makin beragam dengan bidang aplikasi yang semakin luas. Aplikasi serat batang (*bast fiber*) untuk kebutuhan TPT dan non TPT dapat dilihat pada Gambar 7. Produk dari bahan serat rami untuk tekstil sandang terdapat dalam bentuk campuran dengan serat lain. Campuran rami dan kapas umumnya terdapat pada komposisi 55% rami dan 45% kapas. Tekstur tidak rata (*uneven*) seperti tampilan linen yang memiliki kesan eksklusif sangat jelas terlihat pada campuran tersebut. Pencampuran rami dan kapas akan menghasilkan kualitas kilau dan kekuatan lebih tinggi daripada kapas 100%. Campuran ini umumnya digunakan untuk kain tenun dan kain rajut untuk *sweater*.⁷ Campuran rami dengan serat sintetis sangat sesuai untuk bahan pakaian di negara beriklim tropis karena rami memiliki kapasitas daya serap air yang tinggi.¹² Rami dapat dicampur dengan poliester pada komposisi seperti 30:70, 33:67, 35:65, dan 40:60. Pencampuran rami dan poliester atau dengan serat buatan lainnya akan memperbaiki sifat rami yang mudah kusut. Rami juga dapat dicampur dengan wol pada komposisi 50:50. Pencampuran rami dengan wol dapat mengurangi sifat mengeret wol dan sekaligus meningkatkan kecerahannya.

Rami dapat digunakan untuk bahan tekstil sandang dan nonsandang, mulai dari kain untuk bahan pakaian (*suiting* dan *shirting*), seprai, taplak meja, serbet, handuk, sapu tangan, kain pelapis furnitur, tirai, kelambu, benang jahit dan lain sebagainya. Serat rami kasar memiliki kekuatan yang tinggi namun sangat kaku sehingga umumnya hanya digunakan sebagai bahan pembuat tali dan benang. Serat rami cocok untuk dibuat menjadi jaring ikan karena memiliki kekuatan basah yang lebih tinggi daripada kekuatan keringnya, mudah dikeringkan dan tahan terhadap serangan bakteri.⁶ Kriteria kualitas serat yang umum dibutuhkan oleh industri manufaktur dapat dilihat pada Tabel 4. Rami juga berpotensi untuk digunakan sebagai penguat pada komposit dengan matriks resin. 45% kandungan serat rami dapat meningkatkan kekuatan tarik suatu komposit dengan matriks resin poliester hingga 338%.¹⁹ Penggunaan serat tekstil untuk penguat komposit sebenarnya bukan suatu hal yang baru, namun perkembangan pasar yang cukup luas untuk produk komposit dari serat alam (batang dan daun) telah terjadi pada dekade terakhir ini. Salah satu bidang aplikasi komposit serat alam yang terus tumbuh pesat adalah industri otomotif.



Gambar 7. Aplikasi serat batang²⁰

Tabel 4. Kriteria permintaan serat untuk industri manufaktur²¹

Produk akhir	Panjang serat (mm)	Kehalusan (tex)	Kekuatan (cN/tex)	Moisture content (%)
<i>Internal boards dan mats</i> untuk kendaraan bermotor, kereta dan pesawat terbang	70 – 90	3 – 18	≥ 40	≤ 10
Insulator panas bangunan	50 – 70	3 – 10	≥ 30	≤ 12
Benang (pemintalan)	30 – 60	2 – 8	≥ 40	≤ 12
Komposit				
<i>Injection molding</i>	1 – 2	4 – 16	≥ 40	≤ 12
<i>Compression molding</i>	2 – 4			
Pulp dan kertas	2 – 4	2 - 6	≥ 25	≤ 12
<i>Air placed concrete</i>	2 – 8	< 18	> 20	≤ 14
<i>Absorption material</i>	≤ 2	2 – 20	–	≤ 8

Sebuah penelitian menyatakan bahwa pelapis jok mobil dari komposit campuran rami, wol, dan poliester memberikan nilai *thermal comfort* dan sensasi kenyamanan lain yang lebih baik daripada pelapis jok yang terbuat dari 100% poliester.²² Hal ini dapat menjadi salah satu sinyal positif untuk mendukung pengembangan produk komposit dari bahan serat alam khususnya rami. Komponen otomotif yang dipabrikasi menggunakan komposit serat alam pada umumnya berupa *door inserts*, rak bagasi, *pillar covers* dan lapisan alas kendaraan (*boot lining*).⁸ Segmen pasar yang dituju oleh produk komponen berbahan komposit serat alam ini adalah kendaraan kelas menengah dan kelas atas yang menggunakan interior *trim* berupa panel pintu laminasi yang kompleks dengan teknologi *press moulding “one shot”* yang memiliki harga kompetitif. Komposit dari bahan serat alam ini telah digunakan oleh beberapa pabrikan kendaraan terkenal seperti Audi, BMW, Daimler Chrysler, Ford, Volkswagen dan lain-lain.²¹

Polimer matriks yang banyak digunakan untuk pembuatan komposit serat alam adalah polimer termoset seperti poliester, epoksi dan resin fenol dan polimer termoplastik seperti polietilena, polistirena dan polipropilena.²¹ Kendala yang sering terjadi pada pembuatan komposit dari serat alam disebabkan oleh tidak kompatibelnya serat alam yang bersifat hidrofilik dengan matriks polimer yang bersifat hidrofobik.^{23,24} Gugus polar hidroksil pada selulosa membuat rami bersifat hidrofilik sehingga memiliki interaksi antar muka (*interface*) yang rendah antara serat dengan matriks polimer.^{25,26} Berbanding terbalik dengan serat gelas dimana penyerapan air hanya terjadi di permukaan, maka serat selulosa seperti rami berinteraksi dengan air pada seluruh bagian dari serat. Untuk mengatasi rendahnya adhesi antara matriks polimer dengan serat maka dapat dilakukan modifikasi permukaan serat alam dengan menggunakan cara fisika, impregnasi serat secara in situ dalam monomer cair, *swelling* dengan alkali, pelapisan zat hidrofob pada permukaan filler, atau proses kopling dengan senyawa *silane* yang berikatan kimia dengan resin polimer dan selulosa.²¹

PROSPEK PENGEMBANGAN RAMI

Berdasarkan data Ditjenbun, pada tahun 2012, produksi serat kering rami hanya mencapai ± 169 MT. Jika diasumsikan target produksi rami akan digunakan untuk memenuhi 25% kebutuhan serat kapas domestik, maka Indonesia sekurang-kurangnya membutuhkan serat rami siap pintal sebanyak 150.000 hingga 200.000 MT pertahun. Bagian ini menyajikan perhitungan estimasi secara sederhana jumlah produksi batang basah rami, luas areal perkebunan rami, kebutuhan peralatan dan mesin serta tenaga kerja yang perlu disiapkan untuk memenuhi kebutuhan serat rami siap pintal tersebut. Dasar pembuatan estimasi mengadaptasi kondisi produksi yang diamati saat kunjungan ke pabrik pengolah rami di China pada tahun 2007 serta penelitian BBT dan pihak lain seperti Kopontren Darusalam, Kopserindo, dll. Perhitungan estimasi ditampilkan pada Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7.

Penanaman rami cukup menguntungkan bagi petani karena rami memiliki banyak manfaat. Disamping menghasilkan serat dari kulit kayunya, daun rami dapat dimanfaatkan sebagai pupuk dan pakan ternak bernutrisi tinggi. Pucuk daunnya dapat dijadikan bahan baku makanan dan minuman kesehatan. Kompos dari limbah dekortikasi dapat diolah menjadi pupuk organik yang sangat halus. Sisa dekortikasi yang banyak mengandung kayu dan serat dapat dimanfaatkan untuk bahan baku pulp/kertas. Menurut perhitungan Balittas (2004), pemanfaatan limbah dekortikasi untuk pupuk organik dapat meningkatkan pendapatan petani sebesar Rp 1.320.000/Ha/tahun dan pemanfaatan daun rami untuk pakan ternak dapat memberikan nilai tambah sebesar Rp 3.000.000/Ha/tahun.¹⁰

Selain mendapatkan keuntungan secara finansial, budidaya tanaman rami juga memberikan keuntungan ekologis berupa konservasi lahan. Pengembangan tanaman rami di lahan kritis dapat meningkatkan volume air tanah sehingga mampu menyimpan cadangan air untuk musim kemarau. Lahan kritis yang ditanami rami tersebut berubah menjadi lahan produktif hanya dalam waktu 5-6 bulan.²⁷ Penanaman rami termasuk pengembangan sistem pertanian konservasi yang dianjurkan untuk

mempertahankan fungsi biologis tanah sehingga bahan organik tanah (*soil organic matter*-SOM) meningkat. Pelestarian SOM dapat mereduksi jumlah gas karbon di atmosfer secara signifikan, oleh karena itu SOM berperan penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian.^{28,29} Permintaan TPT yang terbuat dari serat alam terutama yang diperoleh dengan teknik

pertanian organik dan/atau teknik pertanian berkelanjutan (*sustainable*) cenderung meningkat di negara-negara kawasan Eropa.³⁰ Oleh karena itu Indonesia memiliki peluang memperoleh *niche market* baru untuk TPT berbahan baku serat rami di dunia khususnya di kawasan Eropa jika Indonesia berhasil dalam proses budidaya serta pengolahan produk dari tanaman rami.

Tabel 5. Perhitungan estimasi proses produksi rami untuk tekstil sandang

Asumsi	Kebutuhan Sumber Daya dan Infrastruktur	Perhitungan
Estimasi jumlah produksi dan luas areal tanam rami		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kebutuhan rami siap pintal 200.000 MT/tahun ▪ Rendemen china grass 4% dari batang basah ▪ Rendemen serat 50% dari China grass basah/Ha/panen ▪ Hasil panen 2 MT <i>China grass</i>/Ha/tahun atau setara dengan 50 MT batang basah/Ha/tahun 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kebutuhan China grass (kebutuhan serat/50% rendemen) = 200.000/0,5 = 400.000 MT/tahun ▪ Kebutuhan batang basah (kebutuhan China grass/4% rendemen) = 400.000/0,04 = 10 juta MT/tahun ▪ Kebutuhan area perkebunan rami (asumsi produktivitas 50 MT batang basah/Ha/panen) = 10.000.000/20= 200.000 Ha 	Dengan luas perkebunan rami Indonesia sebesar ± 528 Ha maka Indonesia membutuhkan tambahan area perkebunan rami seluas ±199.500 Ha.
Estimasi contoh proses pengolahan <i>China grass</i> hingga menjadi serat rami siap pintal		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kapasitas produksi pabrik pengolah serat 3 MT <i>China grass</i>/8 jam/shift ▪ Asumsi kapasitas produksi perhari 9 MT <i>China grass</i>/3 shift ▪ Suplai batang basah 75 MT batang basah/shift atau 225 MT batang basah/hari 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dekortikator 27 unit; ▪ Rami cage 2 unit; ▪ Boiler 4 unit; ▪ Stampling 2 unit; ▪ Shaker 2 unit; ▪ Pengereng sentrifugal 2 unit; ▪ Pengereng biasa 2 unit; ▪ Bak perendam 9 unit; ▪ Tenaga kerja 95 orang 	Output 4,5 MT atau 4,500 kilogram serat rami siap pintal per hari
Estimasi contoh proses pemintalan rami [<i>ring spinning</i>]		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Asumsi suplai bahan baku serat rami 4.500 kg serat per hari ▪ Efisiensi proses pemintalan 90% (serat panjang) ▪ Limbah serat pendek rami 9% (dapat dipintal menggunakan system pemintalan serat pendek/system kapas) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Softening dan opening 2 unit; Fermentasi 6 bak; ▪ Pre carding 2 unit; ▪ Carding 10 unit; ▪ Pre drawing 4 unit; ▪ Drawing 4 unit; ▪ Combing 10 unit; ▪ Roving 2 unit; ▪ Ring spinning 10 unit; ▪ Winding 2 unit; Tenaga kerja 32 orang 	Output benang rami per hari ± 4.050 kg benang ring rami

Tabel 6. Kapasitas produksi dan kebutuhan tenaga kerja pada proses persiapan pengolahan rami

JENIS PROSES	KAPASITAS	JUMLAH MESIN/ALAT	TENAGA KERJA
Dekortikasi	400 kg batang basah/jam	27 unit	54 orang
Pengikatan serat	500 kg <i>China grass</i> /jam		4 orang
Perendaman dalam asam sulfat	500 kg <i>China grass</i> /batch/2 jam	2 bak	4 orang
Penyimpanan dalam rami cage	500 kg <i>China grass</i> /batch/2 jam	2 cage	4 orang
Penghilangan pektin, gum, dll	500 kg serat/4 jam proses	4 tangki	8 orang
Perendaman pada larutan NaOH	500 kg serat/4 jam proses	3 bak	6 orang
Pencucian pada larutan NaOH	500 kg serat/1 jam proses	1 bak	3 orang
Netralisasi dan pemutihan	500 kg serat/1 jam proses	1 bak	3 orang
Stampling	500 kg serat/2 jam proses	2 unit	4 orang
Pengerengan sentrifugal	200 kg serat/30 menit proses	2 unit	2 orang
Perendaman dalam minyak	200 kg serat/2 jam proses	2 bak	1 orang
Shaking	500 kg serat/1 jam proses	2 unit	1 orang
Pengerengan	500 kg serat/2 jam proses	2 unit	1 orang

Tabel 7. Estimasi harga jual serat serta biaya produksi benang dan kain tenun rami

Asumsi	Perhitungan
Estimasi margin keuntungan dari harga jual serat rami	
Harga produk rami di pasaran internasional ¹¹	Dengan harga jual serat rami siap pintal di pasaran internasional USD 3800/ton [Rp. 51.300/kg], profit margin yang diperoleh adalah 46,57% [Rp. 16.300]. Harga jual serat rami siap pintal ini masih di atas harga jual bahan baku serat kapas impor yang hanya sekitar Rp. 19.900 – Rp. 27.000/kg.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Serat rami siap pintal [<i>cut and opened</i>] USD 3800/ton ▪ Benang rami 100% atau campuran rami kapas USD 4 – 6/kg ▪ Harga kain rami USD 3 – 6/meter ▪ Asumsi harga <i>China grass</i> dalam negeri Rp. 20.000/kg ▪ Biaya proses degumming Rp. 15.000/kg ▪ Biaya produksi serat rami siap pintal Rp. 35.000/kg 	

Tabel 7. Estimasi harga jual serat serta biaya produksi benang dan kain tenun rami (lanjutan)

Asumsi	Perhitungan
Estimasi biaya produksi benang ring rami	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Asumsi harga serat rami dalam negeri Rp. 35.000/kg ▪ Biaya proses pemintalan ring spinning Rp. 17.000/kg benang ring [USD 1,248]* ▪ Biaya produksi benang rami Rp. 52.000/kg 	Biaya produksi benang ring rami ini masih lebih rendah jika dibandingkan dengan harga benang rami di pasaran yang mencapai Rp. 54.000 – Rp. 81.000/kg.
Estimasi biaya produksi kain tenun rami	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Asumsi 1 kg benang dapat menghasilkan 4 meter kain rami dengan berat 250 gram/meter ▪ Efisiensi proses pertununan 100% ▪ Biaya bahan baku benang Rp. 13.000/meter ▪ Biaya makloon tenun Rp. 12.000/meter [USD 0,82]* 	Biaya produksi kain rami Rp. 25.000/meter Harga jual ini lebih rendah dari harga kain rami gramasi sama di pasaran yang mencapai Rp. 40.500 – Rp. 81.000/meter.

* Biaya produksi pemintalan ring spinning dan pertununan benang ring di Indonesia pada tahun 2012, berdasarkan data dari ITMF [*International Textile Manufacturers Federation*] dalam publikasi *Rieter, Liputan Negara Indonesia*. Asumsi kurs Dollar pada Rp. 13.500/1 USD.

DUKUNGAN BALAI BESAR TEKSTIL (BBT) DALAM PENGEMBANGAN SERAT RAMI

BBT telah melakukan penelitian mengenai penggunaan serat rami untuk bahan baku tekstil dan produk tekstil mulai tahun 1979. Penelitian yang dilakukan mulai dari pengolahan batang basah rami menjadi serat siap pintal melalui optimalisasi proses dekortikasi dan *degumming* (2006), pemintalan serat rami sistem serat pendek (1979, 1985 dan 2003) dan serat panjang (2004), diversifikasi TPT berbahan baku rami diantaranya rompi anti peluru (2006), filler komposit (2007) dan perlengkapan perseorangan satuan lapangan (Kaporsatlap) militer, serta pengendalian pencemaran proses produksi serat rami (2000) hingga pengembangan prototip mesin persiapan pemintalan (1985) dan mesin pengolah serat rami prima (2005). BBT juga bekerja sama dengan PT Agrina Prima dan BSTM dalam pembuatan kain seragam Kementerian Perindustrian dari campuran 80% poliester dan 20% rami.

Untuk memmanifestasikan visi, misi serta strategi pembangunan industri nasional dalam RIPIN (Rencana Induk Pengembangan Industri Nasional) tahun 2015-2035, BBT harus mampu menyelaraskan arah litbangnya untuk mencapai tujuan tersebut. Keberhasilan litbang TPT dan tekstil teknik dari serat rami ini diharapkan dapat membuka peluang pasar dalam dan luar negeri dan mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan baku serta meningkatkan ekspor produk industri melalui pengembangan industri berbasis SDA.

Dukungan BBT dapat diwujudkan melalui kegiatan litbang yang fokus pada sasaran utama yaitu optimalisasi proses produksi serat rami dan diversifikasi TPT khususnya untuk komposit rami dengan matriks polimer yang pangsa pasarnya terbuka lebar. BBT telah memiliki infrastruktur alat proses skala laboratorium seperti mesin pembuat *nonwoven* metode *needle punching* dan *laminating*, mesin pemintalan serat buatan metode *wet spinning* dan *electrospinning*, mesin pembuat komposit metode *hot press* dan mesin *plasma generator* metode lucutan korona. Disamping itu BBT juga

memiliki infrastruktur laboratorium uji TPT yang lengkap untuk uji serat, benang, kain, geotekstil serta tekstil teknik lainnya dan telah terakreditasi sesuai standar internasional ISO/IEC 17025-2005. Adanya infrastruktur mesin dan laboratorium uji ini sangat menunjang kegiatan litbang BBT khususnya pengembangan serat rami untuk bahan baku TPT.

KESIMPULAN

Rami memiliki banyak potensi positif untuk dikembangkan lebih luas khususnya untuk bahan baku TPT dan tekstil teknik. Meski demikian, pengembangannya masih menemui banyak kendala seperti keterbatasan areal tanam perkebunan rami, rendahnya minat masyarakat untuk budidaya rami hingga teknologi produksi serat dan pemintalan yang belum sepenuhnya dikuasai. Namun peluang untuk pengembangan rami masih sangat terbuka lebar. Selain penggunaannya untuk bahan baku serat selulosa yang diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap kapas impor, terdapat pangsa pasar baru dengan potensi yang menjanjikan khususnya dari produk komposit berbahan serat rami. Pengembangan rami ini diharapkan dapat membantu meningkatkan kemandirian bangsa Indonesia dalam memenuhi sebagian kebutuhan seratnya sendiri. Oleh karena itu perlu dukungan penuh dari pihak terkait dalam pengembangan rami ini hingga manfaatnya dapat dirasakan secara luas.

PUSTAKA

- ¹ ICAC, CIFRS. (2014). Lenzing estimates. *The Fiber Year, The Fiber Organon*.
- ² Hämmerle, F.M. (2011). The cellulose gap (The future of cellulose fibres). *Lenzinger Berichte*, 89:12-21.
- ³ Wright, T. Meylinah, S. (2015). Cotton and Product Annual: Indonesia Cotton and Product Annual Report 2015. *Global Agricultural Information Network Report*. United States Department of Agriculture (USDA) Foreign Agricultural Service.
- ⁴ Peraturan Menteri Perdagangan Republik Indonesia No. 85/M-DAG/PER/10/2015 tentang Ketentuan Impor Tekstil dan Produk Tekstil.

- ⁵ Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan. (2012). Komoditas Kapas di Indonesia 2011-2013, Kementerian Pertanian RI.
- ⁶ Roy, S., Lutfar, L. B. (2012). Bast fibre: Ramie. In R. M. Kozlowski (Ed.), *Handbook of Natural Fibres. Volume 1: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*. (47-55). The Textile Institute: Woodhead Publishing Ltd.
- ⁷ Kozlowski, R., Rawluk, M., Barriga-Bedoya, J. (2005). Ramie. In Franck R.R (Ed.), *Bast and Other Plant Fibres* (207-226). The Textile Institute: Woodhead Publishing Ltd.
- ⁸ Mussig, J., Karus, M., Franck, R.R. (2005). Bast and leaf fibre composite material. In Franck R.R (Ed.), *Bast and Other Plant Fibres*, (345-376). The Textile Institute: Woodhead Publishing Ltd.
- ⁹ Marsyahyo, E., Jamasri, Rochardjo, H.S.B. dan Soekrisno. (2009). Preliminary investigation on bulletproof panels made from ramie fiber reinforced composites for NIJ Level II, IIA, and IV. *Journal of Industrial Textiles*, 39: 13-26.
- ¹⁰ Ditjen Perkebunan Kementerian Pertanian. (2014). www.ditjenbun.pertanian.go.id/pebanyakan-tanaman-rami-dengan-rhizome.html. Diakses Agustus 2015.
- ¹¹ Ditjen Perkebunan. (2012). Buku Tanaman Semusim (*Seasonal crops*). *Statistik Perkebunan Indonesia-The Crop Estate Statistics of Indonesia 2012-2014*. Kementerian Pertanian RI.
- ¹² Mitra, S., Saha, S., Guha, B., Chakrabarti, K., et.al. (2013). Ramie: The strongest bast fibre of nature. *Technical Bulletin*, No.8.
- ¹³ www.fao.org/faostat3. diakses 12 Oktober 2015
- ¹⁴ Franco, P.J.H., Gonzalez, A.V. (2005). Fiber-matrix adhesion in natural fiber composites. In A.K. Mohanty, et.al (Eds). *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites*.(190-243). CRC Press.Taylor and Francis Group.
- ¹⁵ Bismarck, A., Mishra, S., Lampke, T. (2005). Plant fibers as reinforcement for green composites. In A.K. Mohanty, et.al (Eds). *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites*.(52-123). CRC Press.Taylor and Francis Group.
- ¹⁶ Shen, M., Wang, L., Long, J. (2015). Biodegumming of ramie fiber with pectinases enhanced by oxygen plasma. *Journal of Cleaner Production*, 101: 395-403.
- ¹⁷ Shen, M., Wang, L., Chen, F., Long, J., Rui, N.R. (2015). Effect of low-temperature oxygen plasma on the degumming of ramie fabric, *Journal of Cleaner Production*, 92: 318-326.
- ¹⁸ Sukardan, M.D. (2005). Penelitian pembuatan top rami 100% pada sistem pemintalan *worsted*, *Arena Tekstil*, 20 (2): 36-84.
- ¹⁹ Paiva Junior, C.Z., de Carvalho, L.H., Fonseca, V.M., et al. (2004). Analysis of the tensile strength of polyester/hybrid ramie-cotton fabric composites. *Polymer Testing*, 23: 131-135.
- ²⁰ Suddell, B.C., dan Evans, W.J. (2005). Natural Fiber Composites in Automotive Applications In A.K. Mohanty, et.al (Eds). *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites*.(52-123). CRC Press.Taylor and Francis Group.
- ²¹ Munder, F., Furl, C., Hempel, H. (2005). Processing of Bast Fiber Plants for Industrial Application. In A.K. Mohanty, et.al (Eds). *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites*. (52-123). CRC Press.Taylor and Francis Group.
- ²² Cengiz, T.G., Babalik, F.C. (2009). The effects of ramie blended car seat covers on thermal comfort during road trials. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39: 287-294.
- ²³ Li, X., Tabil, L., Panigrahi, S. (2007). Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review, *Journal Polymer and Environment*, 15: 25-33.
- ²⁴ Kumar, S.M.S., Duraibabu, D., Subramanian, K. Studies on mechanical, thermal and dynamic mechanical properties of untreated (raw) and treated coconut sheath fiber reinforced epoxy composites, *Material and Design*, 59: 63-69.
- ²⁵ Kabir, M.M., Wang, H., Lau, K.T., Cardona, F. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview, *Composites Part B*, 43:2883-2892.
- ²⁶ He, L., Li, W., Chen, D., Zhou, D., et al. (2015). Effects of amino silicone oil modification on properties of ramie fiber and ramie fiber/polypropylene composites. *Materials and Design*, 77: 142-148.
- ²⁷ Purwati, R.D. (2010). Strategi pengembangan rami (*Boehmeria nivea* G), *Perspektif*, 9 (2): 106-118.
- ²⁸ Bene, C.D., Tavarini, S., Mazzoncini, M., Angelini, L.G. (2011). Changes in soil chemical parameters and organic matter balance after 13 years of ramie (*Boehmeria nivea* (L.) Gaud) cultivation in the Mediteranian region. *European Journal Agronomy*, 35: 154-163.
- ²⁹ Russell, A.E., Laird, D.A., Parkin, T.B., Mallarino, A.P. (2005). Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 413-422.
- ³⁰ Kashyap, D.R., Vohra, P., Soni, S.K., Tewari, R. (2001). A degumming of buel (*Grewia optiva*) bast fibers by pectinolytic enzyme from *Bacillus* sp. DT7. *Biotechnology Letter*, 23: 1297-1301.