

Efektivitas Retting Embun Batang Kenaf oleh Jamur Pelapuk Putih *Trametes versicolor* (L.) Lloyd

Arini Hidayati Jamil dan Marjani

Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat
Jl. Raya Karangploso, Malang, Jawa Timur
Email: arini.h.jamil@gmail.com

Diterima: 18 April 2018; direvisi: 1 Januari 2019; disetujui: 4 Januari 2019

ABSTRAK

Retting embun kenaf menggunakan jamur pada kondisi aerob menjadi alternatif yang murah, mudah, dan lebih ramah lingkungan untuk menggantikan retting basah yang membutuhkan banyak air. Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa spesies jamur pelapuk putih dan *Rhizopus* sp dapat digunakan untuk membantu proses retting pada tanaman serat batang. Penelitian ini bertujuan mengukur efektivitas retting embun batang kenaf oleh jamur pelapuk putih *Trametes versicolor* (L.) Lloyd melalui perbandingan efektivitas retting embun oleh *Rhizopus* spp. dan retting basah, serta pengukuran karakter serat yang dihasilkan. Retting embun dilakukan dengan menginokulasikan biakan jamur pada 500 g batang kenaf berukuran panjang 25 cm yang telah dibasahi dan diinkubasikan selama 4 minggu. Parameter yang diamati meliputi rendemen serat, efektivitas retting, warna, kehalusan, kebersihan, dan kadar selulosa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diantara perlakuan retting embun, jamur pelapuk putih menghasilkan rendemen tertinggi (4,77%), efektivitas tertinggi (77,68%), kehalusan serat sedang, dan serat terbersih. Konsorsium jamur *T. versicolor* dan inokulum jamur tempe hijau kehitaman menghasilkan serat dengan kadar selulosa tertinggi yaitu sebesar 57,97% dengan warna serat paling cerah. Seluruh serat yang dihasilkan mempunyai tingkat dan kisaran warna kekuningan dan kemerahan yang bervariasi. Perlakuan retting embun kenaf dengan inokulasi *T. versicolor* tanpa konsorsium merupakan perlakuan dengan efektivitas retting terbaik dengan kualitas serat mendekati hasil retting basah.

Kata Kunci: Serat kenaf, retting embun, *Trametes versicolor*, jamur tempe

***Effectivity of Dew Retting of Kenaf Stem by White Rot Fungus Trametes versicolor* (L.) Lloyd**

ABSTRACT

Aerobic dew retting of kenaf using fungal becomes a cheap alternative, easy and has a less environmental impact to replace water retting method. In several studies that have been carried out, it has been shown that white rot fungus species can be used to assist the retting process of bast fiber plants. This study aimed to measure the effectiveness of dew retting of kenaf stem by white rot fungus *Trametes versicolor* (L.) Lloyd by comparing it with the effectiveness of dew retting by *Rhizopus* spp. and wet retting, as well as measuring the character of the fiber produced. Dew retting was conducted by inoculating fungi cultures on moistened 500 g of 25 cm length kenaf stems and incubating them for 4 weeks. Fiber yield, retting efficiency, color, smoothness, cleanliness, and cellulose content were observed. The result shows that white rot fungus *T. versicolor* produced the highest fiber yield (4.77%), the highest effectivity (77.68%), medium fiber smoothness, and the cleanest fiber among dew retting treatments. Consortium of *T. versicolor* and blackish green tempeh inoculum produced fiber with the highest cellulose content (57.97%) and the brightest fiber color. All fiber produced has a yellowish and reddish color with varying levels and ranges. Kenaf dew retting treatment with *T. versicolor*

inoculation without a consortium was the most effective dew retting treatment with fibers quality verge to the water retting yield.

Keywords: Kenaf fiber; dew retting; white rot fungus; tempeh fungus

PENDAHULUAN

Kenaf merupakan salah satu tanaman penghasil serat alam terpenting. Serat kenaf tergolong serat lignoselulosa yang diperoleh dari kulit batang kenaf. Untuk mengekstrak serat bundel dari kulit batang kenaf, diperlukan proses penyeratan atau retting. Retting bertujuan menghilangkan komponen yang melekatkan serat yaitu pektin, hemiselulosa, lignin, dan pengotor lain tanpa merusak serat selulosa (Yu & Yu, 2010). Retting basah atau rendam merupakan cara yang paling mudah dan sering digunakan di seluruh dunia dengan hasil kualitas serat yang baik dan rendemen tinggi. Meskipun demikian retting basah mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya memerlukan air dalam jumlah besar dan limbahnya mencemari lingkungan karena menghasilkan bau busuk (Tahir et al., 2011) dan gas metana dari proses respirasi anaerob (Banik et al. 1993).

Retting embun menjadi salah satu alternatif untuk mengesktrak serat dari kenaf, rami, yute, dan serat batang lainnya. Retting embun adalah proses retting dengan meletakkan batang tanaman di lahan dan membiarkan mikroorganisme asli tumbuh, terutama jamur berfilamen. Mikroorganisme tersebut berperan melepaskan serat-serat bundel dengan mendegradasi pektin dan hemiselulosa yang terdapat pada dinding sel dan lamella tengah (Henriksson et al., 1997). Kelebihan retting embun dengan menggunakan jamur adalah proses tersebut tidak memproduksi bau yang menyengat dan gas metana karena bersifat aerob, tidak ada genangan air dan penyeratan dapat dilakukan pada tempat kering. Dalam kondisi tidak tergenang, filamen jamur lebih mudah berkembang pada batang tanaman. Retting embun juga turut menyumbang pengurangan

emisi metana penyebab pemanasan global (Banik, 2016). Namun demikian, retting embun secara alami menghasilkan kualitas serat yang rendah, tidak konsisten dan tergantung dengan kondisi iklim sekitar (Tahir et al., 2011).

Beberapa penelitian retting embun telah dilakukan dengan menggunakan inokulum jamur pada beberapa tanaman serat batang. Vaithanomsat et al. (2009) menggunakan jamur pelapuk putih *Datronia* sp. dan *Oligosporus* sp. pada retting embun rosella. Serat yang dihasilkan tidak sepenuhnya saling terlepas tetapi dengan bau yang lebih baik dari retting basah. Penelitian Li et al. (2009) dengan menggunakan jamur pelapuk putih *Schizophyllum commune* sebagai inokulum pada retting hemp (*Cannabis sativa*) mampu menghasilkan serat dengan kekuatan tarik komposit dan *crystallinity index* lebih baik dari pada tanpa inokulum. Menurut Lonergan (2002) dalam Li et al. (2009), jamur pelapuk putih dari kelompok Basidiomycotina memproduksi enzim pendegradasi komponen non-selulosa yang berperan penting dalam proses retting. *Trametes versicolor* merupakan salah satu spesies jamur pelapuk putih yang mempunyai kemampuan pektinolitik (Choi, Hodgkiss & Hyde, 2005) dan lignolitik yang tinggi dengan tingkat selulolitik yang rendah (Singh et al., 2013; Risdianto & Purwita, 2014).

Akin et al. (2002) dan Zhang et al. (2005) menemukan bahwa enzim poligalakturonase (salah satu jenis enzim pektinase) yang dihasilkan oleh *Rhizopus oryzae* dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas retting linum. Di Indonesia, inokulum *Rhizopus* sp. dapat ditemukan dengan mudah pada tempe dan inokulum starternya. Berdasarkan penelitian Rehms & Barz (1995), 46 strain *Rhizopus* sp. ditemukan pada tempe diantaranya adalah *R. oligosporus*, *R. microsporus* var. *chinensis*, *R. oryzae*, dan *R. stolonifer*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efektivitas retting embun batang kenaf meliputi rendemen serat dan efektivitas retting oleh jamur pelapuk putih *Trametes versicolor* (L.) Lloyd melalui perbandingan efektivitas retting embun oleh *Rhizopus* spp. dan retting basah, serta pengukuran karakter serat yang dihasilkan meliputi warna, kehalusan, kebersihan, dan kadar selulosa serat.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Maret-Mei 2016 di rumah kaca dan Laboratorium Bioproses Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat, Malang.

Sumber Inokulum dan Bahan

Jamur pelapuk putih *Trametes versicolor* (L.) Lloyd (TV) diperoleh dari Indonesian Culture Collection (InaCC) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dengan nomor InaCC-F200. Inokulum jamur tempe diperoleh dari dua produsen tempe lokal yang berbeda di Kecamatan Karangploso Kabupaten Malang. Jamur tempe pertama merupakan jamur tempe berwarna hijau kehitaman yang ditumbuhkan pada kedelai (TP). Jamur tempe kedua merupakan inokulum bubuk yang dipadatkan berwarna putih (TS). Kenaf diperoleh dari Kebun Percobaan Karangploso, Malang.

Uji Efektivitas Inokulum Jamur pada Retting Kenaf

Uji efektivitas retting embun dilakukan pada kondisi tidak steril. Jamur TV, TP, dan TS ditumbuhkan selama empat hari pada medium PDA (*Potato Dextrose Agar*) dengan suhu 30°C (modifikasi Prapagdee et al., 2008). Jamur tersebut dibiakkan dalam cawan petri berukuran 90 mm. Biakan jamur dipotong-potong menjadi bulatan menggunakan pipet plastik steril berdiameter 6 mm. Sebanyak 500 g batang kenaf dengan panjang 25 cm dibasahi hingga jenuh dalam kotak plastik berukuran 25 x 25 cm. Bulatan-bulatan biakan jamur dari

satu cawan petri atau masing-masing setengah cawan untuk konsorsium diinokulasikan pada batang kenaf tersebut. Perlakuan yang digunakan adalah TV, TP, TS, konsorsium PV+TP, dan konsorsium PV+TS. Kontrol adalah batang kenaf yang dibasahi tanpa diinokulasi jamur. Bagian atas kotak plastik ditutup untuk menghindari paparan sinar matahari secara langsung. Batang kenaf diinkubasi di rumah kaca dan disiram air secukupnya setiap tiga hari untuk menjaga kelembapan. Retting basah sebagai pembanding dilakukan dengan merendam batang kenaf pada kotak berisi air. Setelah empat minggu inkubasi, serat yang dihasilkan dari proses retting maupun batang kenaf yang tidak menyerat kemudian dicuci hingga kotoran sisa retting hilang, dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kadar air kurang lebih 30%, dan dioven selama 2 hari pada suhu 70 °C. Kulit kenaf yang tidak menyerat dipisahkan dari bagian inti batangnya. Data berat kering diperoleh dengan menimbang hasil serat dan kulit yang tidak menyerat untuk setiap ulangan.

Parameter

Rendemen serat (%) diukur dengan membandingkan berat kering oven serat (g) dan berat basah batang segar (g). Efektivitas retting (%) dihitung dengan membandingkan berat kering oven serat (g) dan berat kering oven kulit tidak menyerat (g) + berat kering oven serat (g).

Warna serat diukur berdasarkan model CIELAB L*a*b (Epps et al., 2001). Pengukuran dilakukan pada 10 titik untuk setiap sampel. Skala L* menunjukkan tingkat kecerahan dari hitam (-) ke putih (+), skala a* menunjukkan tingkat kehijauan (-) ke kemerahan (+), dan skala b* menunjukkan tingkat kebiruan (-) ke kekuningan (+) (Billmeyer & Saltzman 1981 dalam Epps et al. 2001). Kehalusan serat diuji taktil sesuai Henriksson et al. (1997). Serat diraba dan dinilai kehalusannya sebagai kaku (tidak terurai), halus (seperti rambut binatang) dan sedang (antara kaku dan halus). Kebersihan serat setelah pencucian dan

pengeringan dilihat secara lebih detail dengan mikroskop cahaya perbesaran 100x. Pengukuran kadar selulosa dilakukan dengan Metode Chesson (Datta, 1981). Satu g sampel serat kering (a) ditambahkan 150 ml aquades dan direfluk pada suhu 100°C selama 1 jam dengan *hot plate*. Hasil refluk disaring dan residu dicuci dengan air panas (300 mL). Residu kemudian dikeringkan dengan oven sampai konstan kemudian ditimbang (b). Residu ditambahkan 150 mL H₂SO₄ 1 N kemudian direfluk dengan *water bath* selama 1 jam suhu 100°C. Hasilnya disaring sampai netral (300 mL) dan dikeringkan (c). Residu kering ditambahkan 10 mL H₂SO₄ 72% dan direndam pada suhu kamar selama 4 jam. Ditambahkan 150 mL H₂SO₄ 1 N dan direfluk pada *water bath* selama 1 jam pada pendingin balik. Residu disaring dan dicuci dengan H₂O sampai netral (400 ml) kemudian dipanaskan dengan oven pada suhu 105°C dan hasilnya ditimbang (d). Kadar selulosa dihitung dengan rumus (c-d)/a x 100%.

Analisa Data

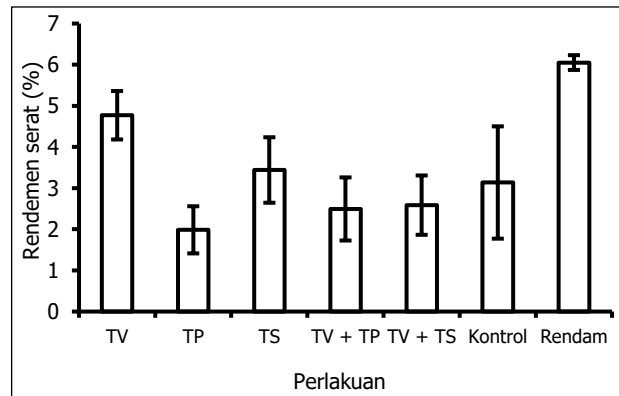
Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap dengan 3 ulangan untuk setiap perlakuan. Analisis data menggunakan analisis varian pada tingkat kepercayaan 95% dan diuji lanjut Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada tingkat kepercayaan 95%. Analisis data menggunakan perangkat lunak SAS 9.1 for windows.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen Serat

Gambar 1 menyajikan rendemen serat hasil perlakuan retting embun, retting basah, dan kontrol. Perlakuan retting embun dengan inokulasi jamur maupun kontrol menghasilkan rendemen serat 21,17 hingga 67,18%. Hasil tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan retting basah atau rendam. Inokulasi jamur pelapuk putih *T. versicolor* (TV) menghasilkan rendemen tertinggi yaitu 4,77% dan perlakuan TP menghasilkan rendemen

terendah yaitu 1,99%. Salah satu kelemahan retting embun adalah kolonisasi mikroorganisme yang kurang merata. Pada beberapa kotak perlakuan dengan retting embun, terdapat batang atau sebagian batang yang tidak terkoloni oleh jamur hingga minggu ke-3 masa inkubasi sehingga tidak menghasilkan serat pada saat panen.



Gambar 1. Rendemen serat hasil retting embun dan retting basah. TV (*Trametes versicolor*) TP (jamur tempe hijau kehitaman), TS (jamur tempe bubuk putih)

Standar deviasi pada perlakuan retting embun juga memiliki nilai kisaran yang lebih tinggi dari retting basah. Hal tersebut terjadi sebagai akibat dari aktivitas jamur pada retting embun yang tidak merata dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sehingga menyebabkan hasil yang bervariasi pada ketiga ulangan (Henriksson et al., 1997). Kontrol menghasilkan nilai standar deviasi paling tinggi. Hal ini mengindikasikan adanya variasi aktivitas mikroorganisme indigenus yang semakin tinggi tanpa adanya inokulasi jamur sehingga mengakibatkan tingginya variasi rendemen antar ulangan.

Beberapa batang kenaf pada perlakuan TV dan kontrol mengalami *over retting* yang menyebabkan serat terpotong-potong dan menurunkan rendemen karena serat-serat yang pendek (terpotong-potong) mudah hilang saat pencucian. Menurut (Henriksson et al., 1997), *over retting* terjadi karena mikroorganisme retting juga mendegradasi serat selulosa dan mengakibatkan penurunan

kekuatan serat. Selain itu, pada kondisi tersebut juga bagian inti batang kenaf mengalami degradasi dan rusak sehingga menyebabkan kesulitan dalam pencucian hasil serat.

Kulit batang kenaf memiliki kandungan selulosa alfa sebesar 45,9%, pentosan (hemiselulosa) sebesar 16,48%, lignin sebesar 10,16% (Kardiansyah & Sugesty, 2014) dan pektin yang mengikat antar serat bundel (Amel et al., 2013). *T. versicolor* diketahui mempunyai kemampuan mensekresi enzim pektinase (Choi, Hodgkiss & Hyde, 2005) serta beberapa jenis enzim ligninase yaitu Lignin peroksidase, Mangan peroksidase, dan Laccase dan enzim selulase dalam jumlah yang jauh lebih kecil (Singh et al., 2013). Enzim pektinase dan enzim ligninase berfungsi mendegradasi pektin dan lignin sehingga diperoleh serat dengan kandungan selulosa yang tinggi. Enzim selulase dapat mendegradasi selulosa dalam serat terutama apabila retting terlalu lama karena seluruh karbohidrat yang lebih mudah diurai telah habis (Banik, 2016).

Efektivitas Retting

Hasil analisis anova terhadap efektivitas retting menunjukkan terdapat beda nyata antar perlakuan. Tabel 1 menunjukkan bahwa hanya perlakuan retting embun dengan inokulasi jamur *T. versicolor* yang menghasilkan efektivitas retting yang hampir menyamai retting basah dan dengan standar deviasi yang rendah. Tidak berbeda dengan penelitian Li et al. (2009) yang melaporkan bahwa jamur pelapuk putih mendegradasi lignin, pektin, dan hemiselulosa lebih baik daripada mikroorganisme indigenus pada retting embun tanpa inokulasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa inokulasi *T. versicolor* pada retting embun merupakan cara terefektif diantara inokulasi jamur lainnya dan kontrol untuk menggantikan retting basah.

Kehalusan

Seperti disajikan pada Tabel 1, terdapat tren korelasi antara efektivitas retting dan ke-

Tabel 1. Efektivitas retting dan kehalusan serat hasil retting embun dan retting basah

Perlakuan	Efektivitas retting ¹ (%)	Kehalusan ²
<i>Trametes versicolor</i> (TV)	77,68 ± 9,73 a ³	Sedang
Jamur tempe hijau kehitaman (TP)	34,58 ± 16,29 b	Sedang – kaku
Jamur tempe bubuk putih (TS)	52,24 ± 14,31 b	Sedang
TV + TP	38,74 ± 11,30 b	Sedang – kaku
TV + TS	43,99 ± 8,80 b	Sedang – kaku
Kontrol	50,75 ± 21,38 b	Sedang
Retting basah	95,69 ± 4,12 a	Halus

¹ Efektivitas retting adalah persentase serat yang diperoleh dari kulit batang kenaf setelah proses retting.

² kehalusan serat berdasarkan uji taktil menurut (Henriksson et al., 1997).

³ angka dalam kolom yang sama diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata ($P > 0,05$).

khalusan serat. Semakin tinggi tingkat efektivitas retting maka akan menghasilkan serat yang semakin halus. Perlakuan *T. versicolor* dan jamur tempe bubuk putih yang menghasilkan efektivitas retting lebih tinggi di antara perlakuan retting embun lainnya mampu menghasilkan serat dengan tingkat kehalusan sedang. Sementara itu, pada perlakuan jamur tempe hijau kehitaman dan konsorsium jamur menghasilkan serat dengan tingkat kehalusan sedang hingga kaku. Menurut Neagu et al. (2006), lignin merupakan komponen yang berkontribusi dalam membentuk serat yang bersifat kaku. Oleh karena itu, perlakuan inokulasi *T. versicolor* mampu menghasilkan serat dengan tingkat kehalusan sedang karena *T. versicolor* diketahui mempunyai aktivitas lignolitik yang tinggi (Singh et al., 2013). Pertumbuhan jamur yang tidak merata juga menyebabkan variasi kehalusan serat yang tinggi (Henriksson et al., 1997).

Kadar Selulosa

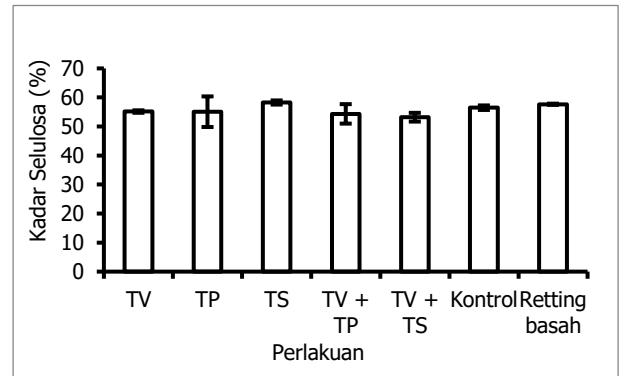
Gambar 2 menunjukkan data kadar selulosa pada serat hasil retting. Kadar selulosa penting untuk diketahui karena berkaitan dengan kekuatan serat (Shi et al., 2011). Kadar selulosa pada perlakuan menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dengan kontrol

maupun retting basah. Hal ini menunjukkan hasil yang positif karena retting embun ditujukan sebagai pilihan metode penyeratan yang lebih efektif dan efisien dengan hasil serat menyamai retting basah. Pada perlakuan kontrol, parameter ini memang tidak menunjukkan hasil berbeda nyata tetapi berbeda nyata pada parameter lainnya. Berdasarkan hal tersebut maka proses retting embun dalam penelitian ini tidak mempengaruhi kadar selulosa dalam serat kenaf. *T. versicolor* diketahui bersifat selektif dalam mendegradasi lignin dari selulosa (Singh et al., 2013; Risdianto & Purwita, 2014) sehingga kadar selulosa serat tetap tinggi.

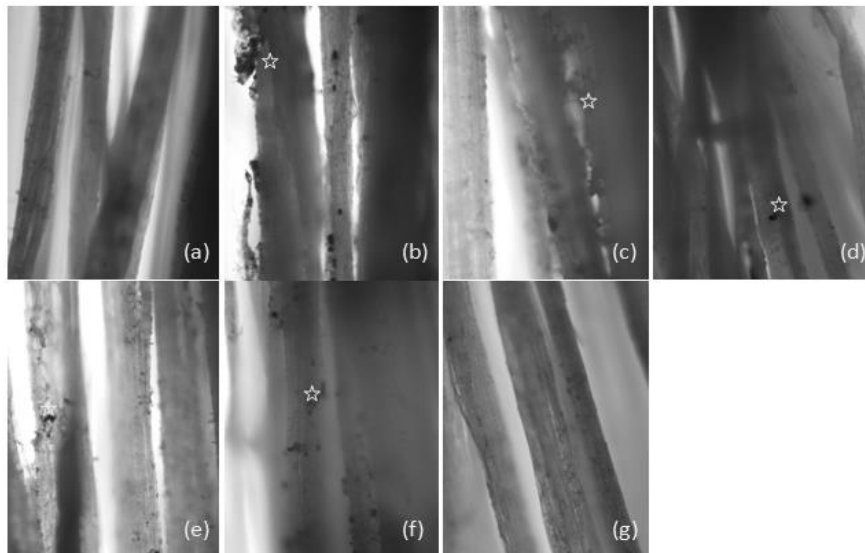
Kebersihan Serat

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa kedua jamur tempe, baik secara individu maupun berkonsorsium dengan *T. versicolor*, dan kontrol menghasilkan serat yang kotor. Terdapat banyak residu proses retting berwarna coklat hingga hitam yang masih menempel pada serat (Gambar 3). Pada

proses retting embun, perlakuan dengan *T. versicolor* menghasilkan serat yang paling bersih. Hasil serat dari retting basah memperlihatkan hampir tidak terdapat residu retting. Hal tersebut terjadi karena residu pada retting basah akan langsung terlarut dalam air perendam. Residu



Gambar 2. Kadar selulosa serat hasil retting embun dan retting basah. TV (*Trametes versicolor*) TP (jamur tempe hijau kehitaman), TS (jamur tempe bubuk putih).

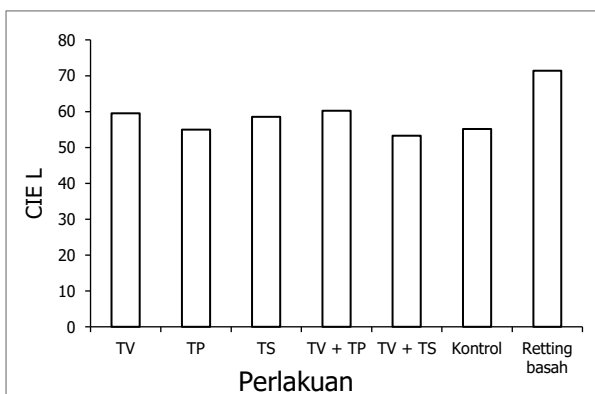


Gambar 3. Kenampakan mikroskopis serat kenaf hasil retting embun menggunakan (a) *Trametes versicolor* (TV), (b) jamur tempe hijau kehitaman (TP), (c) jamur tempe bubuk putih (TS), (d) TV + TP, (e) TV + TS, (f) kontrol, dan (g) retting basah. Tanda ☆ menunjukkan kotoran residu proses retting yang sulit dibersihkan dengan air. Perbesaran 100x.

tersebut diperkirakan merupakan komponen non-serat maupun serat yang tidak terdegradasi sempurna (Li et al., 2009). Serat yang bersih akan mempermudah proses industri penggunaannya

Warna Serat

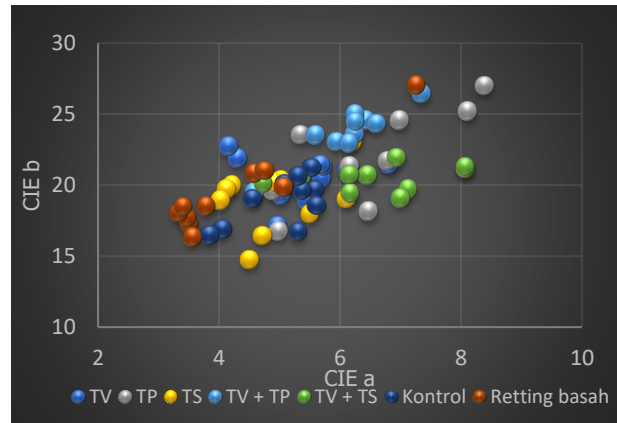
Gambar 4 menyajikan nilai rata-rata tingkat kecerahan serat berdasarkan data warna serat kenaf yang dianalisis menggunakan sistem CIEL*a*b. Retting basah menghasilkan warna serat paling cerah. Sedangkan pada perlakuan retting embun, inokulasi konsorsium *T. versicolor* dan jamur tempe hijau kehitaman (TV+TP) adalah perlakuan yang mampu menghasilkan warna serat paling cerah namun hanya sedikit lebih cerah dibanding perlakuan inokulasi *T. versicolor* (Gambar 4). Menurut (Henriksson et al., 1997), beberapa spesies jamur diketahui dapat menyebabkan warna hitam pada serat.



Gambar 4. Tingkat kecerahan/*Lightness* serat kenaf hasil retting. TV (*Trametes versicolor*) TP (jamur tempe hijau kehitaman), TS (jamur tempe bubuk putih).

Sementara itu seluruh nilai CIE a* dan b* serat kenaf bernilai positif. Hal tersebut menunjukkan bahwa serat kenaf yang dihasilkan mempunyai kisaran warna kekuningan dan kemerahan. Baik dengan metode retting embun jamur maupun retting basah, terdapat kisaran variasi warna kekuningan dan kemerahan pada serat kenaf yang dihasilkan (Gambar 5). Serat kenaf hasil

retting basah cenderung memiliki tingkat kemerahan paling rendah, sedangkan penggunaan jamur tempe hijau kehitaman (TP) cenderung menghasilkan tingkat warna kemerahan dan kekuningan paling tinggi.



Gambar 5. Tingkat kemerahan dan kekuningan serat kenaf hasil retting. TV (*Trametes versicolor*) TP (jamur tempe hijau kehitaman), TS (jamur tempe bubuk putih).

KESIMPULAN

Perlakuan retting embun kenaf dengan inokulasi jamur pelapuk putih *T. versicolor* tanpa konsorsium merupakan perlakuan dengan efektivitas retting embun terbaik dengan kualitas serat paling mendekati hasil retting basah dibanding perlakuan inokulasi jamur *Rhizopus* sp. dan tanpa inokulasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Kebun Percobaan Karangploso Balittas yang telah menyediakan batang kenaf dan Indonesian Culture Collection (InaCC) LIPI yang telah menyediakan kultur *Trametes versicolor*. Ucapan terima kasih juga untuk Tim Laboratorium Bioproses yang telah membantu teknis penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akin, D.E., Slomczynski, D., Rigsby, L.L., Eriksson, K.-E.L., 2002. Retting Flax with Endopolygalacturonase from *Rhizopus oryzae*. *Textile Research Journal* 72, 27–34. <https://doi.org/10.1177/004051750207200105>.
- Amel, B.A., Paridah, M.T., Sudin, R., Anwar, U.M.K., Hussein, A.S., 2013. Effect of fiber extraction methods on some properties of kenaf bast fiber. *Industrial Crops and Products* 46, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.015>
- Banik, A., Sen, M., Sen, S., 1993. Methane emission from jute-retting tanks. *Ecological Engineering* 2, 73–79. [https://doi.org/10.1016/0925-8574\(93\)90028-E](https://doi.org/10.1016/0925-8574(93)90028-E)
- Banik, S., 2016. Short Communications Fungal dry retting— An ecofriendly and water saving technology for retting of jute a. *Indian Journal of Fiber & Textile Research* 41, 212–216.
- Choi, Y.W., Hodgkiss, I.J., Hyde, K.D., 2005. Enzyme Production by Endophytes of *Brucea javanica*. *Journal of Agricultural Technology* 55–66.
- Datta, R., 1981. Acidogenic Fermentation of Lignocellulose-Acid Yield and Conversion of Components. *Biotechnology and Bioengineering* XXIII, 2167–2170.
- Epps, H.H., Akin, D.E., Foulk, J.A., Dodd, R.B., 2001. Color of Enzyme-Retted Flax Fibers Affected by Processing, Cleaning, and Cottonizing. *Textile Research Journal* 71, 916–921. <https://doi.org/10.1177/004051750107101011>.
- Henriksson, G., Akin, D.E., Hanlin, R.T., Rodriguez, C., Archibald, D.D., Rigsby, L.L., Eriksson, K.L., 1997. Identification and Retting Efficiencies of Fungi Isolated from Dew-Retted Flax in the United States and Europe. *Applied and Environmental Microbiology* 63, 3950–3956.
- Kardiansyah, T., Sugesty, S., 2014. Karakteristik pulp kimia mekanis dari kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) untuk kertas liner. *Jurnal Selulosa* 4, 37–46.
- Li, Y., Pickering, K.L., Farrell, R.L., 2009. Analysis of green hemp fibre reinforced composites using bag retting and white rot fungal treatments. *Industrial Crops and Products* 29, 420–426. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.08.005>.
- Neagu, R.C., Gamstedt, E.K., Berthold, F., 2006. Stiffness Contribution of Various Wood Fibers to Composite Materials. *Journal of Composite Materials* 40, 663–699.
- Prapagdee, B., Kuekulvong, C., Mongkolsuk, S., 2008. Antifungal Potential of Extracellular Metabolites Produced by *Streptomyces hygroscopicus* against Phytopathogenic Fungi. *International Journal of Biological Sciences* 4, 330–337. <https://doi.org/10.7150/ijbs.4.330>
- Rehms, H., Barz, W., 1995. Degradation of stachyose, raffinose, melibiose and sucrose by different tempe-producing *Rhizopus* fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology* 44, 47–52. <https://doi.org/10.1007/BF00164479>
- Risdianto, H., Purwita, C.A., 2014. KTI Biopulping kenaf.pdf, in: Seminar Teknologi Pulp Dan Kertas. pp. 9–14.
- Shi, J., Shi, S.Q., Barnes, H.M., Horstemeyer, M., Wang, J., Hassan, E.-B.M., 2011. Kenaf Bast Fibers—Part I: Hermetical Alkali Digestion. *International Journal of Polymer Science* 2011, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2011/212047>
- Singh, P., Sulaiman, O., Hashim, R., Peng, L.C., Singh, R.P., 2013. Evaluating Biopulping as an Alternative Application on Oil Palm Trunk Using The White-Rot Fungus *Trametes versicolor*. *International Biodeterioration & Biodegradation* 82, 96–103.
- Tahir, P.M., Ahmed, A.B., SaifulAzry, S.O.A., Ahmed, Z., 2011. Retting process of some bast plant fibres and its effect on fibre quality: A review. *BioResources* 6, 5260–5281. <https://doi.org/10.15376/biores.6.4.5260-5281>
- Vaithanomsat, P., Phusanakom, P., Apiwatanapiwat, W., Songpim, M., 2009. A microbiological technique for the separation of *Hibiscus sabdariffa* L. fibers. *Journal of Bacteriology Research* 1, 39–45.
- Yu, H., Yu, C., 2010. Influence of Various Retting Methods on Properties of Kenaf Fiber. *The Journal of The Textile Institute* 101, 452–456. <https://doi.org/10.1080/00405000802472564>
- Zhang, J., Henriksson, H., Szabo, I.J., Henriksson, G., Johansson, G., 2005. The active component in the flax-retting system of the zygomycete *Rhizopus oryzae* sb is a family 28 polygalacturonase. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 32, 431–438.