

Pemanfaatan Isolat Bakteri Aerob dari Lumpur Aktif Pabrik Kertas untuk Penurunan Warna Lindi Hitam

EDDY JUSUF^{1*}, ANI MULIANI², DAN GUSTINA A. HALIM²

¹ *Balitbang Rekayasa Mikroba dan Genetika, Puslitbang Bioteknologi LIPI, Jalan Raya Bogor Km. 46, Cibinong 16911*

² *Jurusan Biologi FMIPA Unpad, Jalan, Raya Bandung-Sumedang Km. 21, Jatinangor 45363*

Diterima 31 Agustus 1994/Disetujui 31 Oktober 1994

The Used of Acrobic Bacteria from Active Sludge to Decolorized Wasted Black Liquor of Paper Industry. The decolorization process of wasted black liquor from pulping process of paper factory was studied using the activity of aerobic bacteria. Fifty t b m isolates obtained from active sludge of pulp and paper factories and 8 strains obtained from Veterinary Research Center (Balitvet) were used in this study. One isolate identified as *Bacillus* sp. KKA-2 derived from active sludge of kraft factory in Lhokseumawe (Aceh) and two bacterial strains, i.e.: *Alcaligenes faecalis* Lister BCC 603 and *Bacillus cereus* Gibson 971/PCI BCC 26 grew well on the medium containing black liquor, and were capable to reduce color intensity of black liquor, each by 24.58% in 15 days; 31.65% in 18 days and 22.00% in 12 days respectively. From three parameters measured i.e.: the decrease in color intensity, the total viable cells as well as the total biomass during the process, it was found that *A. faecalis* was the most effective o w for this purpose.

PENDAHULUAN

Kebutuhan kertas di Indonesia terus meningkat pesat dari waktu ke waktu sejalan dengan lajunya pembangunan di berbagai sektor. Hal ini mendorong pembangunan dan pengembangan pabrik-pabrik kertas yang secara kebetulan didukung dengan cukup tersedianya bahan baku berupa kayu-kayuan tropis. Bahan utama pembuatan kertas pada umumnya ialah serat selulosa yang merupakan 42 sampai 48% bagian dari kayu, sedang sisanya sebagian besar berupa lignin dan sebagian lainnya berupa turunan karbohidrat dibuang melalui proses delignifikasi. Oleh karena itu proses pembuatan pulp pada pabrik kertas menghasilkan limbah berupa cairan pemasak bekas atau lindi hitam (*black liquor*) yang mengandung lignin, resin, tanin, dan garam-garam dengan tingkat kesadahan yang cukup tinggi (Bratasida, 1989). Secara umum air buangan tersebut disebut lignosulfat karena merupakan campuran lignin dengan asam sulfat sebagai pelarut. Lignin di dalam air buangan pabrik menyebabkan air tersebut berwarna coklat kehitaman. Selain itu, lignin merupakan senyawa yang sulit dihancurkan secara alami meskipun dalam kepekatan yang cukup rendah (Herdiani *et al.*, 1984). Warna yang pekat pada air buangan pabrik kertas merupakan indikator pencemaran lingkungan perairan seperti sungai, danau, dan aliran irigasi yang dapat mengganggu aktivitas biologi yang ada di dalamnya.

Industri kertas diklasifikasikan dalam dua tipe pabrik (Balai Besar Selulosa, 1992) yaitu: pabrik terpadu yang melakukan proses pembuatan kertas dari bahan dasar kayu dan pabrik khusus yang dapat memproduksi pulp saja atau kertas dari pulp saja. Lindi hitam hanya dihasilkan oleh pabrik kertas

tipe terpadu dan pabrik pulp. Dengan meningkatnya kapasitas maupun jumlah pabrik tersebut maka bahaya pencemaran juga meningkat. Untuk menanggulangi dampak pencemaran tanpa menurunkan kegiatan produksi kertas dilakukan pemanfaatan proses biologi oleh mikroorganisme terhadap air buangan dari pabrik kertas dalam sistem pengolahan limbah. Warna air buangan coklat yang terbentuk dari persenyawaan lignin merupakan parameter tingkat pencemaran yang mudah terlihat. Penurunan intensitas warna tersebut berarti degradasi persenyawaan lignin yang terkandung dalam buangan tersebut.

Penggunaan kapang *Aspergillus* sp. dapat menjernihkan warna air buangan hingga 100% dalam waktu 18 hari (Purwati, 1985). Beberapa bakteri seperti *Pseudomonas acidovorans*, *P. multivorans*, *Flavobacterium*, *Corynebacterium*, *Beijrinckia*, dan lain-lain dilaporkan mampu mendegradasi lignin dengan cara memodifikasi dan melarutkan polimer lignin. Bakteri pengurai lignin pada umumnya dapat bekerja dengan baik dan optimal pada kondisi aerob. Pada kondisi anaerob beberapa bakteri tertentu dapat melakukan degradasi lignin, tetapi biasanya berjalan lambat dan terbatas hanya pada lignin sederhana (Zimmermann, 1990).

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian untuk memanfaatkan bakteri aerob hasil isolasi maupun koleksi untuk mendegradasi lignin dalam lindi hitam yang terkandung dalam air buangan pabrik kertas. Contoh lumpur aktif dikumpulkan dari beberapa pabrik pulp dan kertas di Aceh, Sumatera Utara dan Jawa Timur. Isolat bakteri dari contoh lumpur aktif dan biakan koleksi diuji kemampuannya untuk mereduksi kandungan lignin dalam lindi hitam yang berguna untuk menanggulangi pencemaran oleh pabrik kertas. Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh biakan bakteri aerob yang dapat digunakan untuk menanggulangi pencemaran oleh pabrik

*Penulis untuk korespondensi

kertas dengan cara mereduksi kandungan lignin yang terdapat dalam lindi hitam yang dikeluarkan oleh pabrik tersebut ke perairan.

BAHAN DAN METODE

Sumber Mikroorganisme. Dalam studi ini digunakan isolat-isolat bakteri yang berasal dari habitat alami, yakni lumpur aktif tempat penumpukan sementara air buangan pabrik pulp dan pabrik kertas. Lima lokasi pengambilan lumpur aktif ialah pabrik P.T. Inti Indorayon Utama, Desa Sosor Ladang-Porsea (Tapanuli Utara); P.T. Kertas Kraft Aceh (Persero), Desa Jamuan-Nisam, Lhokseumawe (Aceh Timur); P.T. Kimsari Paper Indonesia, Medan; P.T. Lontar Papyrus Pulp and Paper Industry, Bayeun-Rantau Selamat (Aceh Tenggara); P.T. Kertas Basuki Rachmat (Persero), Banyuwangi. Beberapa biakan bakteri berasal dari koleksi Balai Penelitian Veteriner, Bogor yaitu: *Alcaligenes faecalis* Lister BCC 603, *A. faecalis* Lister BCC 1836, *Bacillus cereus* Gibson 971/PCI 213 BCC 26, *B. cereus* Gibson 971/PCI BCC 606, *Chromatium violaceum* BCC 18, *C. violaceum* BCC 1835, *Pseudomonas aeruginosa* BCC 1993, dan *P. stutzeri* MD 41 BCC 708.

Medium. Sebagai medium dasar dan bahan baku digunakan lindi hitam dari pabrik kertas P.T. Kertas Basuki Rachmat (Persero), Banyuwangi. Berdasarkan hasil percobaan pendahuluan, kepekatan lindi hitam tertinggi yang dapat digunakan ialah 5%. Untuk mendukung pertumbuhan bakteri optimal, medium lindi hitam ini ditambahi 0.1% pepton, 0.2% glukosa, dan 0.05% ekstrak khamir. Selain itu juga digunakan medium nutrisi cair (Difco) dan larutan bufer fosfat (0.3% KH_2PO_4 anhidrid, 0.7% Na_2HPO_4 anhidrid, 0.2% $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 0.4% NaCl). Semua medium dan bufer disterilkan dalam autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm selama 15 menit.

Isolasi Biakan Bakteri dari Lumpur Aktif. Sebanyak 0.5 gram bobot kering contoh lumpur aktif dimasukkan ke dalam 25 ml medium nutrisi cair, dan dikocok selama 24 jam pada suhu 45°C (suhu rata-rata lumpur aktif di lokasi pengambilan). Biakan bakteri dari lumpur aktif dicawakan pada medium agar lindi hitam (5% lindi hitam dalam 1.5% agar) dan medium agar lindi hitam yang diberi bahan tambahan (lihat komposisi di atas) selanjutnya diinkubasikan pada suhu 45°C selama 48 jam. Koloni bakteri yang tumbuh diisolasi, diidentifikasi secara morfologi, dan diberi nomor isolat.

Uji Kemampuan Tumbuh Biakan. Ke dalam seri agar lindi hitam (5%) dalam cawan Petri dengan dua macam pH masing-masing 7 dan 9 diinokulasikan semua isolat dan biakan bakteri yang diujikan (total 61 bakteri) dan diinkubasikan pada suhu 30, 37, dan 45°C selama 48 jam.

Uji Kemampuan Merombak Lignin. Ke dalam erlenmeyer 100 ml yang diisi dengan 50 ml larutan lindi hitam 5% dalam bufer fosfat pH 7 diinokulasikan biakan terpilih hasil uji tumbuh di atas. Inokulum dibuat sebelumnya dengan menumbuhkan biakan tersebut pada nutrisi cair. Jumlah bakteri yang diinokulasikan yaitu 5% dari nilai 1.0 patokan kekeruhan Farland atau ekuivalen dengan 3×10^8 sel *E. coli* (Koeswardono dan Bonang, 1982) dan dibuat variasi waktu inokulasi antara 0-18 hari pada suhu ruang. Pengukuran intensitas warna lindi hitam dilakukan setiap 3×24 jam dengan Spektrofotometer Shimadzu 260 UV pada panjang gelombang 493.5 nm dan 533.5 nm (LIPI, 1993).

Penghitungan Biomassa Aktif Bakteri. Penghitungan biomassa bakteri meliputi jumlah sel hidup per ml biakan dan biomassa total bakteri (mg/ml) dilakukan secara periodik bersamaan dengan pengukuran intensitas warna untuk mengetahui aktivitas bakteri mendegradasi lignin. Jumlah sel hidup diukur dengan menggunakan metode cawan tebar pada agar nutrisi. Massa total bakteri dilakukan dengan menimbang endapan biakan bakteri dalam medium cair lindi hitam.

Identifikasi Nama Spesies. Isolat yang diperoleh dan berpotensi mendegradasi lignin dari lindi hitam diidentifikasi.

HASIL

Hasil Isolasi. Dari lumpur aktif yang diperoleh dari ke lima pabrik berhasil diisolasi 53 isolat bakteri yang mampu tumbuh pada medium agar lindi hitam yang ditambahi pepton, glukosa, dan ekstrak khamir.

Seleksi Uji Kemampuan Tumbuh. Hasil uji kemampuan tumbuh dari semua isolat yang diperoleh dan delapan biakan bakteri koleksi Balitvet pada medium agar lindi hitam menunjukkan bahwa beberapa isolat dengan nomor IRU-1, IRU-13, IRU-24, BR-4, KKA-2, KKA-6, KPI-1, KPI-2 dan KPI-3, serta *A. faecalis* BCC 603, *A. faecalis* BCC 1836 dan *B. cereus* BCC 26 tumbuh subur (bertanda +++) pada medium lindi hitam pada pH dan suhu yang berbeda-beda (Tabel 1). Mengingat bakteri tersebut ditumbuhkan pada agar yang hanya mengandung lindi hitam yang ditambahi bufer fosfat untuk penyesuaian pH, maka dapat diperkirakan bahwa bakteri tersebut mampu memanfaatkan senyawa-senyawa yang terdapat dalam lindi hitam.

Kemampuan Merombak Lignin. Untuk menguji adanya degradasi atau konsumsi lignin oleh bakteri tersebut dilakukan percobaan terhadap biakan yang menunjukkan pertumbuhan terbaik pada agar lindi hitam. Dari 12 isolat dan biakan bakteri yang menunjukkan aktivitas pertumbuhan yang subur tersebut dipilih koloni yang berdiameter paling besar. Dari hasil seleksi tersebut diperoleh tiga biakan yaitu KKA-2 (3.83 cm), *A. faecalis* BCC 603 (4.13 cm), dan *B. cereus* BCC 26 (3.77 cm). Ketiganya tumbuh baik pada pH 7 dan suhu 30°C yang selanjutnya dipakai dalam pengujian penurunan intensitas warna larutan lindi hitam.

Hasil uji menunjukkan bahwa semua faktor pengamatan berbeda sangat nyata dalam hal penurunan intensitas warna lindi hitam. Analisis yang dilakukan dengan Uji Jarak Berganda Duncan menunjukkan terjadinya penurunan warna lindi hitam setelah diinokulasi dengan biakan bakteri (Gambar 1).

Dari kedua kurva tersebut, baik yang diukur dengan panjang gelombang 493.5 nm maupun dengan panjang gelombang 533.5 nm menunjukkan bahwa isolat KKA-2 dan *B. cereus* BCC 26 lebih cepat mereduksi warna. Hal itu terlihat kedua biakan tersebut tumbuh lebih cepat pada medium agar lindi hitam. Biakan *A. faecalis* BCC 603 memerlukan waktu lebih lama untuk menyesuaikan hidup dalam medium baru. Namun, sejalan dengan bertambahnya waktu inkubasi *A. faecalis* mempunyai kemampuan mendegradasi lignin yang lebih baik dibandingkan dengan isolat KKA-2 maupun *B. cereus* BCC 26.

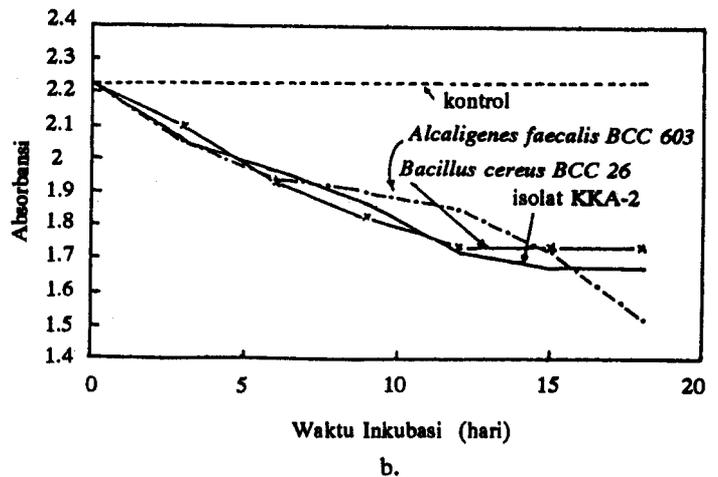
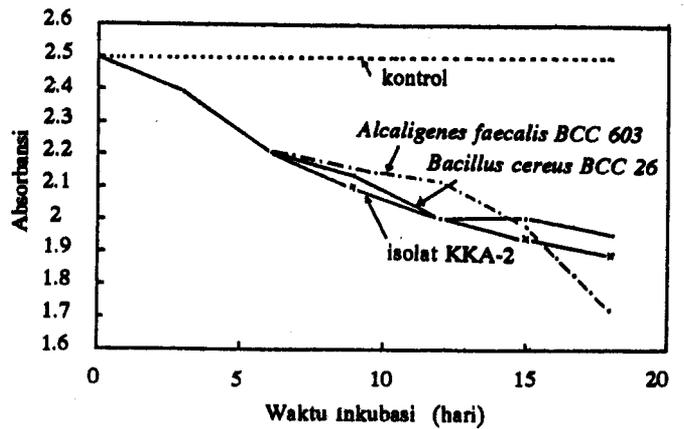
Bila hasil tersebut dikonversikan dalam bentuk persentase, maka penurunan warna terbesar yang terjadi pada medium cair lindi hitam yang diinokulasi oleh *A. faecalis* BCC 603 ialah 31.65% dalam waktu inkubasi 18 hari. Percobaan dengan isolat KKA-2 dan *B. cereus* BCC 26 menunjukkan bahwa

Tabel 1. Pertumbuhan Bakteri pada Agar Lindi Hitam dalam Variasi pH dan Suhu

No. Urut	No. Isolat/ Jenis Blakan ^a	Kemampuan Tumbuh pada					
		pH 7			pH 9		
		30°C	37°C	45°C	30°C	37°C	45°C
1.	IRU-1	++	+++	+	++	+	+
2.	IRU-3	+	+	+	+	+	+
3.	IRU-4	+	+	++	++	++	++
4.	IRU-5	++	++	++	++	++	++
5.	IRU-7	+	-	+	+	+	+
6.	IRU-8	++	+	+	++	+	+
7.	IRU-9	++	++	++	++	+	++
8.	IRU-10	++	++	++	++	+	++
9.	IRU-11	-	-	+	+	-	+
10.	IRU-12	++	+	+	+	+	+
11.	IRU-13	-	+	++	++	+	+++
12.	IRU-14	+	+	+	+	+	++
13.	IRU-15	-	+	++	+	+	+
14.	IRU-16	+	++	+	+	+	+
15.	IRU-17	+	++	+	+	+	+
16.	IRU-18	+	+	-	+	+	+
17.	IRU-19	+	+	+	+	+	+
18.	IRU-20	+	+	++	+	++	+
19.	IRU-21	+	++	++	+	+	++
20.	IRU-22	+	++	++	+	+	++
21.	IRU-23	+	+	++	++	+	+
22.	IRU-24	++	+	+++	++	++	++
23.	KKA-1	+	+	++	-	-	+
24.	KKA-2	+++	++	-	+	+	+
25.	KKA-3	+	+	++	-	-	+
26.	KKA-4	+	++	++	+	++	++
27.	KKA-5	++	+	++	+	+	+
28.	KKA-6	++	+++	++	++	++	++
29.	KKA-7	-	+	++	++	++	++
30.	KPI-1	++	+++	+++	++	++	++
31.	KPI-2	-	+++	++	+	-	++
32.	KPI-3	+	+++	++	+	+	++
33.	KPI-4	+	+	++	+	+	++
34.	KPI-5	-	+	++	+	-	+
35.	KPI-6	-	+	+	+	+	+
36.	KPI-7	++	+	++	++	++	++
37.	LPP-1	+	-	++	+	+	-
38.	LPP-2	+	-	++	++	+	-
39.	LPP-3	+	+	++	++	++	+
40.	LPP-4	++	++	++	++	++	+
41.	LPP-5	+	-	++	+	+	+
42.	LPP-6	+	-	++	++	+	+
43.	LPP-7	-	+	++	+	+	+
44.	LPP-8	++	++	+	+	+	+
45.	LPP-9	+	+	+	+	+	+
46.	BR-1	++	++	++	++	++	++
47.	BR-2	++	++	+	++	++	++
48.	BR-3	-	-	+	+	+	+
49.	BR-4	++	-	+	++	+++	++
50.	BR-5	++	+	++	++	++	++
51.	BR-6	++	++	+	++	++	++
52.	BR-7	+	+	++	+	+	+
53.	BR-8	+	++	++	+	+	+
54.	<i>Alcaligenes faecalis</i> BCC 603	+++	+++	++	++	-	-
55.	<i>Alcaligenes faecalis</i> BCC 1836	+++	++	+	++	+	-
56.	<i>Bacillus cereus</i> BCC 26	+++	+	++	++	-	-
57.	<i>Bacillus cereus</i> BCC 606	-	+	+	++	+	+
58.	<i>Chromatium violaceum</i> BCC 18	+	-	-	+	+	-
59.	<i>Chromatium violaceum</i> BCC 1835	-	-	-	-	-	-
60.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> BCC 1993	++	+	++	++	+	+
61.	<i>Pseudomonas stutzeri</i> BCC 708	++	+	+	++	+	+

-: tidak tumbuh sama sekali, +: tumbuh merana, ++: tumbuh, +++: tumbuh subur.

^aIRU: P.T. Inti Indorayon Utama-Tapanuli Utara, KKA: P.T. Kertas Kraft Aceh (Persero)-Aceh Timur, KPI: P.T. Kimsari Paper Indonesia-Medan, LPP: P.T. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry-Aceh Tenggara, BR: P.T. Kertas Basuki Rachmat-Banyuwangi.

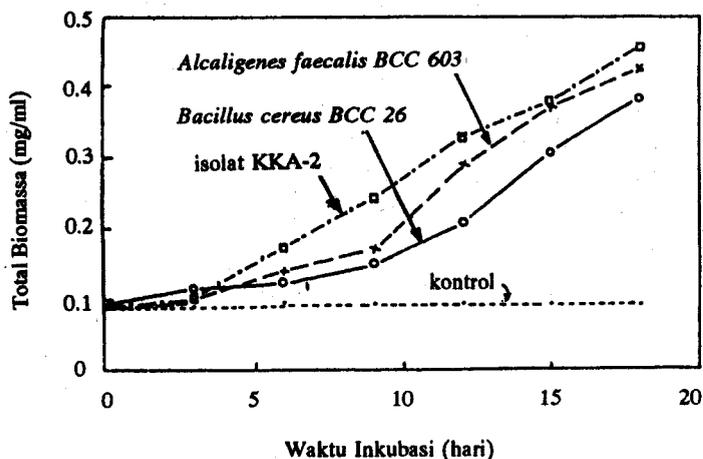


Gambar 1. Penurunan Intensitas Warna Lindi Hitam oleh *A. faecalis* BCC 603, *B. cereus* BCC 26 dan Isolat Bakteri KKA-2 yang Diukur dengan Spektrofotometer pada: Panjang Gelombang 493.5 nm (a) dan 533.5 nm (b)

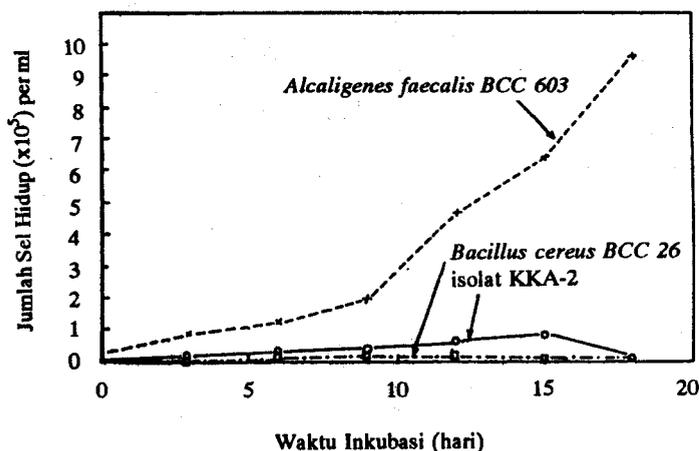
waktu yang telah digunakan secara maksimal untuk inkubasi yaitu 15 dan 12 hari, walaupun penurunan warna yang terjadi relatif lebih sedikit, yakni masing-masing 24.58 dan 22.00%.

Biomassa Bakteri. Hasil analisis menunjukkan terjadinya perubahan jumlah sel bakteri sejalan dengan lamanya waktu inkubasi (Gambar 2). Jumlah sel isolat bakteri KKA-2 yang mampu hidup meningkat sampai hari ke-15, kemudian menurun sangat tajam. Begitu pula jumlah sel *B. cereus* BCC 26 meningkat sampai hari ke 9, tetapi berangsur-angsur menurun jumlahnya mulai hari ke 12. Namun, jumlah sel *A. faecalis* BCC 603 meningkat terus hingga akhir pengamatan. Massa total bakteri sejalan dengan lamanya waktu inkubasi (Gambar 3).

Identifikasi Spesies Isolat Terpilih. Isolat dengan nomor KKA-2 terpilih sebagai salah satu dari 53 isolat yang berhasil diisolasi dari beberapa contoh lumpur aktif. Identifikasi isolat hanya sampai tingkat genus yaitu *Bacillus*. Selanjutnya isolat ini dinamakan *Bacillus* KKA-2 dan didaftarkan sebagai koleksi Puslitbang Bioteknologi-LIPI dengan nomor koleksi BTCC-B266.



Gambar 2. Perkembangan Jumlah Sel Hidup Selama Proses Penurunan Intensitas Warna Lindi Hitam dari Biakan Bakteri yang Diujikan



Gambar 3. Perkembangan Jumlah Biomassa Total Bakteri Selama Proses Penurunan Intensitas Warna Lindi Hitam dari Biakan Bakteri yang Diujikan

PEMBAHASAN

Disamping turunan lignin dan hemiselulosa, lindi hitam mengandung beberapa turunan monosakarida yang dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan bakteri antara lain: glukosa 2.6%, xilosa 4.6%, sukrosa 11.0%, galaktosa 2.6%, dan arabinosa 0.9% (Alonso, 1984). Pengenceran hingga kepekatan 5% lindi hitam yang dipakai dalam percobaan merupakan hasil uji pendahuluan terhadap lindi hitam yang diperoleh dari pabrik kertas P.T. Kertas Basuki Rachmat yang memungkinkan bakteri dapat hidup. Pertumbuhan bakteri dalam medium lindi hitam dapat terjadi tanpa perombakan

lignin karena bakteri dapat memanfaatkan salah satu atau semua sakarida tersebut. Di antara bakteri tersebut ada yang tidak mampu tumbuh atau tumbuh merana karena tidak mampu menggunakan sakarida atau tidak dapat tumbuh tanpa nutrisi. Dari semua biakan yang diujikan hanya 12 biakan atau 19.67% yang mampu tumbuh dalam lindi hitam. Hasil seleksi berdasarkan tingginya kecepatan tumbuh pada agar lindi hitam diperoleh tiga biakan masing-masing *Bacillus* sp. KKA-2, *A. faecalis* BCC 603 dan *B. cereus* BCC 26 yang dapat ditetapkan sebagai biakan unggul untuk degradasi lignin.

Secara umum, hasil terbaik dari ketiga biakan bakteri tersebut dalam kemampuan menurunkan intensitas warna lindi hitam yaitu *A. faecalis* BCC 603 masih relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil percobaan dengan biakan kapang. Dilaporkan bahwa kapang *A. awamori* mampu menurunkan intensitas warna lindi hitam hingga 97.78% dalam waktu 7 hari (LIPI, 1993), *A. niger* hingga 56% dalam waktu 2 hari (Kannan dan Oblisami, 1990), dan jenis kapang lain seperti *Fusarium* sp., *Alternaria* sp. serta *Trametes versicolor* sampai 60% dalam waktu 14 hari (Purwati, 1985). Tingginya aktivitas kapang diduga karena pada medium lindi hitam ditambah sumber karbon yang dapat difermentasi, pepton dan ekstrak khamir.

Penurunan intensitas warna lindi hitam dapat terjadi bukan hanya karena aktivitas biologi tetapi juga karena penyerapan oleh senyawa tertentu seperti karbon aktif (Herdiani *et al.*, 1984). Percobaan menggunakan miselium kapang yang sudah dimatikan (LIPI, 1993) menunjukkan adanya penurunan intensitas warna setelah diinkubasi dengan pengocokan selama beberapa hari. Ini dapat berarti bahwa tidak sepenuhnya lignin didegradasi oleh kapang, sebagian mungkin diabsorpsi oleh miselium kapang dan diendapkan di dasar medium cair tersebut. Hal ini terlihat pada penelitian yang menggunakan sel kapang hidup terdapat adanya endapan coklat di dasar bejana biakan (LIPI, 1993). Dengan demikian rendahnya daya penurunan intensitas warna pada bakteri kemungkinan disebabkan karena tidak adanya faktor absorpsi yang ikut membantu dalam pengendapan.

Dari tiga variabel kualitas air buangan yang diukur yaitu: intensitas warna, jumlah sel hidup, dan total massa *A. faecalis* BCC 603 memperlihatkan hubungan yang saling menunjang. Koefisien korelasi (Steel dan Torrie, 1989) antara intensitas warna dengan jumlah sel hidup, intensitas warna dengan massa total dan jumlah sel hidup dengan massa total masing-masing sebesar 0.940, 0.931, dan 0.985. Dengan demikian terdapat hubungan yang sangat erat antara besarnya persentase penurunan warna dengan makin meningkatnya jumlah sel hidup dan total biomassa. Koefisien korelasi pada *Bacillus* sp. KKA-2 adalah 0.788, 0.941, dan 0.618. Pada hari ke 15 jumlah sel hidup menurun dan tidak terlihat adanya penurunan intensitas warna. Pada *B. cereus* BCC 26 koefisien korelasi yang diperoleh masing-masing adalah 0.237; 0.907 dan -0.319.

Tampaknya *A. faecalis* BCC 603 mampu tumbuh dengan memanfaatkan lignin, sehingga intensitas warna air buangan kemungkinan akan terus menurun seiring dengan lamanya masa inkubasi. Oleh karena itu, *A. faecalis* BCC 603 merupakan bakteri yang memiliki peluang paling besar untuk digunakan dalam proses penurunan intensitas warna lindi hitam pada air buangan pabrik kertas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso, M.S., V. Karauli, P. Mange et M. Trocme. 1984. *Raport sur la Visite a la Fabrique de Cellulose de Attisholz*. Swiss: Institut de Genie de l'Environnement - Ecole Polytechnique Federale de Lausanne.
- Balai Besar Selulosa. 1992. Laporan Perjalanan Kunjungan Kerja oleh Staf Puslitbang Bioteknologi - LIPI, tanggal 2 Juni 1992.
- Bratasida, L. 1989. Pemanfaatan Air Limbah Industri Pulp dan Kertas untuk Sektor Pertanian. *J. Pusat Studi Lingkungan Perguruan Tinggi Seluruh Indon.* 9(3&4): 26-30
- Herdiani, H., L. Bratasida, dan Setladji. 1984. Penelitian Pemakaian Karbon Aktif dalam Pengolahan Air Limbah Industri Pulp dan Kertas. *Kompilasi Simposium Selulosa dan Kertas VI*. Bandung: Balai Besar Selulosa.
- Kannan, K. and G. Oblisami. 1990. Decolorization of Pulp and Paper Mill Effluent by Growth of *Aspergillus niger*. *World Microbiol. Biotech.* 6: 114-116.
- Koeswardono, S.E. dan Bonang. 1982. *Mikrobiologi Kedokteran untuk Laboratorium dan Klinik*. Jakarta: Gramedia.
- LIPI. 1993. *Laporan Teknis Penelitian Bioteknologi untuk Menunjang Industri Kelutanan 1992-1993*. Bogor: Puslitbang Boteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Purwati, S. 1985. Pemanfaatan Aktivitas Jamur untuk Penurunan Warna Air Limbah Industri Pulp dan Kertas. *Berita Selulosa* 21(1): 8-10.
- Steel, R.D.G. dan J.H. Torrie. 1989. *Prinsip-prinsip Prosedur Statistika. Suatu Pendekatan Biometrik*. (Terjemahan B. Sumantri). Jakarta: Gramedia.
- Zimmermann, W. 1990. Degradation of Lignin by Bacteria. *J. Biotech.* 13: 119-130.