



Biodegradasi Fenol oleh Isolat *Bacillus* spp asal Sumur Minyak Kawengan, Cepu

Phenol biodegradation by Bacillus spp. isolates from Kawengan Oil Well, Cepu

DESTAMADI SUHANDI, TJAHHADI PURWOKO*,
ARTINI PANGASTUTI

Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta 57126.

Diterima: 2 Pebruari 2006. Disetujui: 17 April 2006

ABSTRACT

Phenol is a toxic organic compound that potentially contaminates particular territorial water, decreases water quality, and disturbs territorial water ecosystem. The aims of this research were to find isolate of bacteria that able to degrade phenol and select them to obtain the best isolate on degrading phenol. The isolates used in this research were from Kawengan oil well in Cepu. It consist of 16 isolates of *Bacillus* spp. Five isolates were chosen based on its growth activity in a liquid mineral medium contained 100 ppm phenol. The optimum amount of phenol for the chosen isolates was determined by inoculating them in a mineral medium containing different amount of phenol. Growth curve was then constructed, and the ability of the isolate on decreasing phenol concentration in the mineral medium measured by using UV-VIS spectrophotometer. The result of the research indicated that the reduction of phenol taken place as a result of phenol biodegradation by 5 best isolates of bacteria. The decrease of the phenol concentration measured for 24 hours were: *Bacillus* sp 1 dcreased the phenol up to 214.21 ppm, *Bacillus* sp 4 up to 224.67 ppm; *Bacillus* sp 6 up to 217.28 ppm; *Bacillus* sp 8 up to 197.91 ppm; and *Bacillus* sp 12 up to 208,34 ppm subsequently. The isolate of *Bacillus* sp 4 indicated the highest ability of biodegradation that is can decreasing phenol equal to 56.17% during 24 hours.

▼ Alamat korespondensi:

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126
Tel. & Fax.: +62-271-664178
e-mail: drgadiprayitno@yahoo.com

Keywords: biodegradation, phenol, *Bacillus* spp., Kawengan, Cepu.

PENDAHULUAN

Hidrokarbon merupakan unsur terbesar dalam minyak bumi dengan kadar antara 50 sampai 95%. Hidrokarbon minyak bumi dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu hidrokarbon alifatik, hidrokarbon alisiklik, dan hidrokarbon aromatik. Fenol termasuk senyawa hidrokarbon aromatik dengan struktur benzena, dengan salah satu atom H diganti dengan OH (ATSDR, 1997; Udiharto, 1992).

Fenol merupakan senyawa organik, yang bersifat toksik, dan mudah larut dalam air, sehingga senyawa tersebut mudah menimbulkan

pencemaran pada suatu perairan. Fenol dapat bersifat toksik dan apabila suatu perairan terkena pencemaran fenol akan mengakibatkan turunnya kualitas air dan gangguan terhadap ekosistem perairan (Udiharto, 1989). Banyak industri menggunakan senyawa fenol dalam proses produksi maupun sebagai salah satu bahan dasar. Sisa-sisa fenol dapat terbawa dalam limbah dan menyebabkan pencemaran pada perairan tempat pembuangan limbah industri tersebut (Udiharto, 1989).

Penanggulangan pencemaran fenol dapat dilakukan secara fisik, kimiawi, dan biologis. Cara fisik umumnya kurang efektif, sedangkan

cara kimiawi dapat menimbulkan masalah baru berupa pencemaran lingkungan. Di samping itu, cara fisik dan kimiawi memerlukan biaya mahal. Alternatif lain adalah cara biologis, yaitu dengan aktivitas mikrobia yang mempunyai efek samping lebih kecil. Melalui suatu proses biodegradasi, kandungan fenol dalam air akan direduksi menjadi sekecil mungkin (Udiharto, 1989; Udiharto, 1992).

Dari sumur minyak Kawengan, Cepu, telah berhasil diisolasi beberapa isolat bakteri yang mampu hidup pada medium dengan hidrokarbon sebagai satu-satunya sumber C (Irawan, 2004). Isolat yang diperoleh dengan cara isolasi bertahap tersebut diharapkan ada yang mampu mendegradasi fenol yang merupakan salah satu senyawa hidrokarbon aromatik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan isolat *Bacillus* spp. asal sumur minyak Kawengan, Cepu dalam mendegradasi fenol dan mengetahui isolat *Bacillus* spp. terbaik dalam biodegradasi fenol.

BAHAN DAN METODE

Seleksi isolat Bacillus spp.

Mikrobia yang digunakan untuk penelitian adalah 16 isolat bakteri yang diisolasi oleh Irawan (2004) secara bertahap dari sumur minyak Kawengan, Cepu yang terdiri dari 14 jenis isolat *Bacillus* spp., *Bacillus alcalophilus*, dan *Bacillus pasteurii*. Seleksi dilakukan dengan menginokulasikan 1 ose isolat ke dalam 10 mL medium mineral yang terdiri dari : K_2HPO_4 1 gr, NH_4NO_3 1 gr, $(NH_4)_2SO_4$ 0,5 gr, $MgSO_4$ 0,5 gr, KH_2PO_4 0,5 gr, NaCl 0,5 gr, $CaCl_2$ 0,02 gr, $FeSO_4$ 0,02 gr, dan akuades 1 liter. Medium tersebut ditambahkan 100 ppm fenol dan 0,5% v/v ekstrak khamir lalu diinkubasi dalam *incubator shaker* (80 rpm, 40°C) selama 24 jam. Pertumbuhan isolat *Bacillus* spp. diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 500 nm. Lima isolat dengan pertumbuhan yang tertinggi diambil untuk uji selanjutnya. Untuk inokulum *Bacillus* spp. hasil seleksi isolat *Bacillus* spp. terpilih dibiakkan dalam 10 mL medium mineral cair yang ditambah 0,5% (b/v) ekstrak khamir. Kemudian, isolat tersebut diinkubasi pada *shaker inkubator* (80 rpm, 40°C) selama 24 jam.

Penentuan konsentrasi fenol maksimum sebagai substrat pertumbuhan isolat Bacillus spp. hasil seleksi

Isolat *Bacillus* spp. terpilih diinokulasikan ke dalam 10 mL medium mineral cair yang

mengandung 5 variasi kadar fenol yaitu, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm, dan 500 ppm. Kemudian inokulum diinkubasi pada *incubator shaker* (80 rpm, 40°C) selama 24 jam. Kadar fenol yang menunjukkan pertumbuhan isolat *Bacillus* spp. tertinggi dipakai untuk uji selanjutnya.

Pembuatan kurva pertumbuhan Bacillus spp. hasil seleksi

Isolat *Bacillus* spp. terpilih (10^8 cfu/mL) sebanyak 1 mL diinokulasi ke dalam 10 mL medium mineral cair dengan kadar fenol optimum. Untuk pertumbuhan selanjutnya kultur bakteri diinkubasi pada *incubator shaker* (80 rpm, 40°C) selama 24 jam. Pertumbuhan isolat *Bacillus* spp. terpilih diukur setiap 2 jam sekali selama 24 jam menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 500 nm (Rustamsjah, 2001).

Biodegradasi fenol

Pengukuran dilaksanakan dengan metode kolorimetri setelah pemisahan biomassa dengan menggunakan *sentrifuge* dengan kecepatan 3000 rpm. Tata cara kerja pengukuran, yaitu dengan mengencerkan 1 mL cuplikan menjadi 100 mL, diberi 2,5 mL NH_4OH 0,5 M, diaduk dan ditambahkan larutan penyangga fosfat pH 6,8 sehingga pH larutan menjadi $7,9 \pm 0,1$. Kemudian larutan tersebut ditambahkan lagi 1 mL 4-aminoantipirin 2 % dan 1 mL kalium Ferrisianida 8 %, larutan dan diaduk selama 15 menit. Setelah itu larutan dibaca serapannya pada panjang gelombang 500 nm. Hal yang sama dilakukan pada pengukuran pelarut blanko tanpa senyawa fenol (Clesceri dkk., 1992).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seleksi isolat Bacillus spp.

Pemilihan isolat *Bacillus* spp. diperlukan untuk mengurangi jumlah isolat yang akan dipakai dan juga untuk mengetahui isolat yang mampu tumbuh dengan baik dalam medium perlakuan yang mengandung fenol. Kadar yang diambil merupakan kadar fenol yang terendah dari perlakuan akan dicobakan agar isolat *Bacillus* spp. masih mampu tumbuh. Pertumbuhan isolat *Bacillus* spp. dilihat dengan menggunakan spektrofotometer. Hasil seleksi diperoleh 5 isolat *Bacillus* spp. yang memiliki pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan dengan 11 isolat *Bacillus* spp. lainnya (Tabel 1). Urutannya dari isolat bakteri yang memiliki absorbansi tertinggi yaitu isolat *Bacillus* sp 8, *Bacillus* sp 1, *Bacillus* sp 6, *Bacillus* sp 12, dan *Bacillus* sp 4.

Tabel 1. Angka absorbansi isolat *Bacillus* spp. asal sumur minyak Kawengan, Cepu pada medium perlakuan cair yang ditambah ekstrak khamir setelah 24 jam.

Bakteri	Absorbansi		Selisih
	Awal	Akhir	
<i>Bacillus</i> sp 1 *	0,0715	1,9569	1,8854
<i>Bacillus</i> sp 2	0,1419	1,9149	1,7731
<i>Bacillus</i> sp 3	0,0629	1,8743	1,8114
<i>Bacillus</i> sp 4 *	0,0848	1,9267	1,8419
<i>Bacillus</i> sp 5	0,1124	1,8807	1,7683
<i>Bacillus</i> sp 6 *	0,0723	1,9544	1,8821
<i>Bacillus</i> sp 7	0,0939	1,9277	1,8338
<i>Bacillus</i> sp 8 *	0,0554	1,9794	1,9240
<i>Bacillus</i> sp 9	0,0599	1,8299	1,7700
<i>Bacillus</i> sp 10	0,1163	1,8108	1,6946
<i>Bacillus</i> sp 11	0,1174	1,8140	1,6966
<i>Bacillus</i> sp 12 *	0,0647	1,9128	1,8481
<i>Bacillus</i> sp 13	0,0611	1,5343	1,4732
<i>Bacillus</i> sp 14	0,0872	1,9117	1,8245
<i>Bacillus alcalophilus</i>	0,0728	1,8943	1,8216
<i>Bacillus pasteurii</i>	0,1262	1,7605	1,6343

Keterangan: * = isolat bakteri terpilih.

Penentuan kadar fenol optimum pada medium perlakuan

Kadar fenol optimum diperoleh dengan membandingkan absorbansi medium perlakuan cair yang memiliki variasi kadar fenol. Penentuan kadar fenol optimum dilakukan untuk mengetahui kadar fenol yang mampu ditumbuhkan isolat *Bacillus* spp. tingkat pertumbuhan yang paling baik.

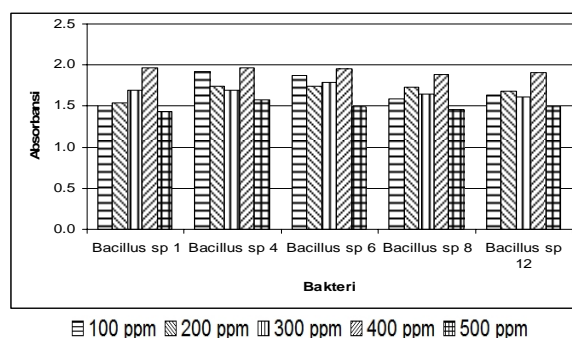
Tabel 2. Absorbansi isolat *Bacillus* spp. hasil seleksi dalam medium perlakuan cair yang ditambah ekstrak khamir pada berbagai kadar fenol (ppm).

Bakteri	Kadar Fenol				
	100	200	300	400	500
<i>Bacillus</i> sp 1	1,5067	1,5365	1,6922	1,9610	1,4325
<i>Bacillus</i> sp 4	1,9180	1,7449	1,6943	1,9650	1,5748
<i>Bacillus</i> sp 6	1,8756	1,7451	1,7894	1,9531	1,4961
<i>Bacillus</i> sp 8	1,5841	1,7268	1,6432	1,8860	1,4629
<i>Bacillus</i> sp 12	1,6364	1,6863	1,6128	1,9105	1,4937

Rata-rata 1,7041^b 1,6879^b 1,6864^b 1,9351^c 1,4920^a
Keterangan: a-c = angka yang diikuti huruf superscript berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($\alpha=0,05$)

Pada Gambar 1 dapat dilihat dengan jelas bahwa kadar 400 ppm merupakan kadar yang memiliki pertumbuhan tertinggi dan pada kadar 500 ppm merupakan kadar dengan pertumbuhan terendah. Dengan demikian *Bacillus* spp. mampu mengkonsumsi fenol sebagai sumber karbon sampai dengan kadar 400 ppm tanpa mengalami keracunan. Kemampuan *Bacillus* spp. ini lebih rendah daripada *Pseudomonas aeruginosa* yang

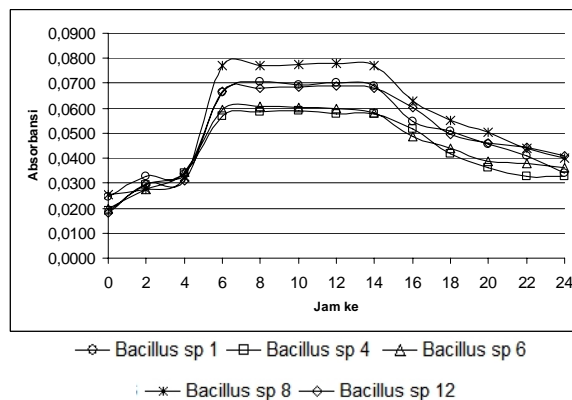
mampu mengkonsumsi fenol sebagai sumber karbon sampai dengan kadar 500 ppm tanpa mengalami keracunan (Rustamsjah, 2001).



Gambar 1. Perbandingan pertumbuhan isolat *Bacillus* spp. terpilih dalam berbagai kadar fenol.

Kurva pertumbuhan isolat *Bacillus* spp.

Kurva pertumbuhan dapat dibagi menjadi beberapa fase yang berbeda yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stasioner dan fase kematian. Ketika populasi mikroorganisme diinokulasikan ke dalam medium yang baru, pertumbuhan biasanya tidak dimulai dengan segera, tetapi hanya setelah periode waktu yang disebut fase lag. Berdasarkan kurva pertumbuhan pada Gambar 2, fase lag terjadi pada jam ke 0 sampai jam ke 4. Hal ini terlihat dari kenaikan kurva pertumbuhan yang lambat. Menurut Madigan *et al.* (1997), fase lag terjadi ketika inokulum yang mengandung sel bakteri terganggu oleh perlakuan dengan panas, atau senyawa kimia beracun karena sel bakteri membutuhkan waktu untuk beradaptasi. Fase lag juga diamati ketika populasi dipindahkan dari medium kultur yang kaya ke medium kultur yang miskin nutrisi.



Gambar 2. Kurva pertumbuhan Isolat *Bacillus* spp. terpilih selama 24 jam pada medium perlakuan.

Pada fase eksponensial, pertumbuhan biasanya dalam keadaan yang paling tinggi. Kecepatan dari pertumbuhan eksponensial spesifik untuk setiap jenis bakteri dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (Madigan *et al.*, 1997; Schlegel, 1994). Pada kurva pertumbuhan, fase eksponensial dapat dilihat pada jam ke 4 sampai jam ke-6 yaitu pada saat terjadi perubahan absorbansi yang cukup besar.

Fase stasioner terjadi setelah fase eksponensial, dimulai setelah jam ke-6 sampai jam 14. Dalam fase stasioner tidak terdapat penambahan atau pengurangan jumlah sel yang berarti. Namun meski tidak terjadi pertumbuhan yang berarti, banyak fungsi sel yang melanjutkan aktivitasnya, termasuk metabolisme energi dan proses biosintesis. Setelah jam ke-14, kurva pertumbuhan mengalami penurunan. Hal ini dapat disebut sebagai fase kematian. Fase kematian terjadi pada jam ke 16 sampai jam ke 24 karena kurva pertumbuhan terus mengalami penurunan absorbansi.

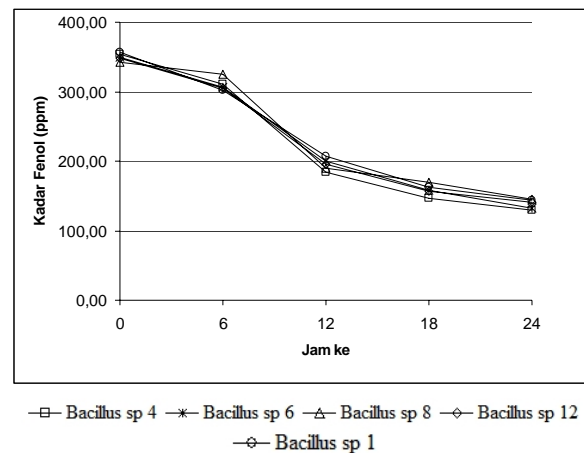
Biodegradasi fenol

Menurut Atlas dan Bartha (1987), komponen organik dapat menjadi nutrisi yang potensial, namun ada beberapa dari komponen organik tersebut dapat bereaksi sebagai penghambat atau racun. Beberapa produk metabolik, seperti asam karbosiklik, alkohol, senyawa fenolat, merupakan racun bagi populasi mikroorganisme.

Bakteri membutuhkan senyawa-senyawa penting pada medium untuk hidup. Senyawa-senyawa tersebut adalah karbon, nitrogen, sulfur, dan fosfor. Karbon merupakan struktur utama dari benda hidup dan dibutuhkan oleh semua senyawa organik untuk kehidupan sel, sedangkan nitrogen, sulfur, dan fosfor dibutuhkan oleh mikrobia untuk sintesis dari material selular (Tortura, 1995). Biodegradasi fenol terjadi karena adanya aktivitas bakteri dalam menggunakan fenol sebagai sumber karbon satu-satunya yang terdapat di dalam medium.

Pada umumnya, tidak terdapat perbedaan mencolok dalam penurunan kadar fenol dari masing-masing isolat bakteri selama 24 jam (Gambar 3). Tidak adanya perbedaan yang mencolok dalam grafik penurunan kadar fenol dikarenakan isolat bakteri yang digunakan berasal dari tempat yang sama, yaitu sumur minyak Kawengan, Cepu. Selain itu isolat bakteri yang digunakan juga berasal dari genus yang sama yaitu *Bacillus*. Namun, terdapat bakteri yang memiliki kemampuan mendegradasi fenol

yang paling tinggi yaitu isolat *Bacillus sp 4* seperti dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 3. Penurunan kadar fenol selama 24 jam.

Pada jam ke ke 0 sampai jam ke-6, terjadi penurunan kadar fenol namun tidak terlalu banyak. Hal ini bila dikaitkan dengan kurva pertumbuhan bakteri, pada jam ke 0 sampai ke 4 terjadi fase lag, yaitu pada saat bakteri baru beradaptasi dengan medium perlakuan sehingga pertumbuhannya belum optimal.

Penurunan kadar fenol yang paling drastis yaitu pada jam ke-6 menuju jam ke-12 dan hal ini berlaku untuk semua isolat bakteri dengan rata-rata penurunan kadar fenol lebih dari 100 ppm (Gambar 4). Hal ini dikarenakan pada jam ke-6 sampai jam ke-12 merupakan fase stasioner. Walaupun pada fase stasioner isolat *Bacillus spp.* tersebut tidak tumbuh lagi atau mendekati konstan, namun pada fase ini isolat bakteri sudah mampu beradaptasi lebih baik dibandingkan dengan jam ke 0 sampai jam ke-6, sehingga isolat *Bacillus spp.* tersebut sudah mampu mendegradasi fenol dengan optimum.

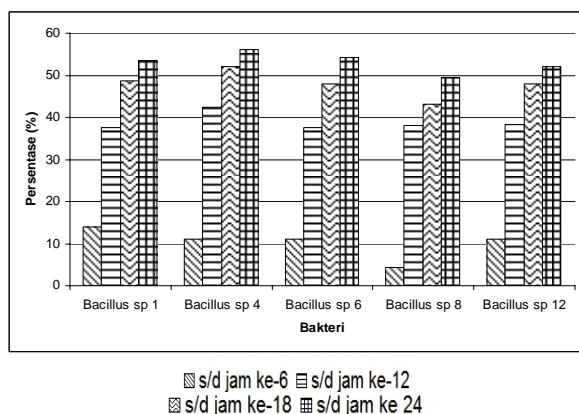
Tabel 3. Penurunan kadar fenol pada medium perlakuan tanpa ekstrak khamir yang mengandung fenol (dalam ppm).

Jam ke	<i>Bacillus sp 1</i>	<i>Bacillus sp 4</i>	<i>Bacillus sp 6</i>	<i>Bacillus sp 8</i>	<i>Bacillus sp 12</i>
s/d 6	56,06	44,46	44,46	17,823	44,265
s/d 12	150,64	169,96	150,76	152,24	153,66
s/d 18	195,00	208,39	192,17	172,94	192,08
s/d 24	214,21	224,67	217,28	198,06	208,34

Pada pengukuran kadar fenol selanjutnya, yaitu pada jam ke-12 sampai dengan jam ke 18, terjadi penurunan jumlah kadar fenol yang didegradasi. Hal ini dikarenakan isolat bakteri

sudah akan mengalami fase kematian, sehingga kadar fenol yang didegradasi sudah tidak sebanyak pada fase sebelumnya.

Sedangkan pada pengukuran kadar fenol terakhir yaitu pada jam ke 18 sampai jam ke 24, merupakan penurunan kadar fenol yang paling sedikit dari pada yang lainnya. Hal ini dikarenakan isolat bakteri sudah mengalami fase kematian yaitu terjadi penurunan isolat bakteri sebagaimana dapat dilihat pada kurva pertumbuhan, sehingga kadar fenol yang didegradasi pun lebih sedikit dibandingkan dengan pengukuran-pengukuran sebelumnya.



Gambar 4. Persentase penurunan kadar fenol.

Pada penelitian yang telah dilakukan, kurva pertumbuhan untuk masing-masing isolat *Bacillus* spp. hasil pemilihan (Gambar 2) dihubungkan dengan kurva penurunan kadar fenol (Gambar 3). Dari perbandingan keduanya, dapat dilihat pada kurva pertumbuhan *Bacillus* sp 8 yang memiliki kurva yang cukup tinggi, namun ternyata memiliki penurunan kadar fenol yang paling rendah, yaitu 198,06 ppm. Sedangkan pada *Bacillus* sp 4 yang memiliki kurva pertumbuhan yang rendah, mampu menurunkan kadar fenol tertinggi, yaitu 224,67 ppm. Dari perbandingan tersebut, pertumbuhan isolat *Bacillus* spp. tidak selalu diikuti dengan penurunan kadar fenol. Hal ini disebabkan setiap isolat mempunyai karakteristik yang berbeda, sehingga memiliki kemampuan yang berbeda pula dalam mendegradasi fenol.

Kemampuan *Bacillus* sp 4 dalam mendegradasi fenol dapat dikaitkan dengan keberadaan isolat pada sumur minyak Kawengan, Cepu, yaitu dapat ditemui pada setiap stasiun pengumpul. Dengan adanya isolat *Bacillus* sp 4 ini pada setiap stasiun pengumpul, dimungkinkan bakteri ini merupakan bakteri yang mampu beradaptasi dengan baik dengan

lingkungan sekitarnya di sumur minyak Kawengan, Cepu, dan mampu menggunakan senyawa hidrokarbon minyak bumi sebagai sumber karbonnya.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, kadar fenol yang pada kelas 1, kelas 2, dan kelas 3 sebesar 1 µg/liter, sedangkan untuk kelas 4 parameter fenol tidak dipersyaratkan. Bila angka ini dikonversikan dalam satuan ppm menjadi 0,26 ppm. Sedangkan Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah nomor 10 tahun 2004 tentang baku mutu air limbah menyebutkan fenol dalam limbah berkisar antara 0,2 sampai dengan 0,5 mg/liter atau setara dengan 52 sampai dengan 130 ppm. Dari ke 5 isolat bakteri, hanya *Bacillus* sp 4 yang mampu mendegradasi fenol sampai memenuhi baku mutu limbah cair yaitu sampai 129,97 ppm. Sedangkan isolat bakteri lainnya masih belum mampu mendegradasi fenol sampai memenuhi baku mutu limbah cair.

Hasil penelitian ini kurang memuaskan bila dibandingkan dengan penelitian-penelitian biodegradasi fenol lainnya. Hal ini dimungkinkan karena isolat *Bacillus* spp. yang diperoleh dari sumur minyak Kawengan, Cepu, memiliki kemampuan mendegradasi fenol namun belum mampu mendegradasi fenol secara optimal. Hal ini juga dapat terlihat pada penelitian lain yang dilakukan oleh Gurujeyalakshmi dan Oriol (1988) dengan menggunakan bakteri *Bacillus stearothermophilus*. Bakteri tersebut hanya mampu mendegradasi fenol secara sempurna pada kadar 5 dan 10 mM selama 48 dan 80 jam. Pada kadar fenol 15 mM, bakteri tersebut masih mampu menurunkan kadar fenol namun hanya mengurangi kadar fenol menjadi 7 mM atau berkurang 8 mM. Sedangkan pada kadar fenol 20 mM, bakteri tidak mampu mengurangi kadar fenol karena tidak adanya pertumbuhan sehingga kadar fenol tetap 20 mM.

Pada penelitian yang menggunakan jenis bakteri lainnya seperti yang dilakukan oleh Rustamsjah (2001), dengan menggunakan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27833 untuk mendegradasi fenol pada medium yang mengandung 500 ppm fenol dengan diadaptasi tiga kali selama 10 hari. Hasil dari penelitian tersebut, bakteri *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27833 mampu mendegradasi fenol sebesar 495,88 ppm. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Chung et al (2002) dengan menggunakan

bakteri *Pseudomonas putida* mampu mendegradasi fenol sebanyak 100 mg/l selama 20 jam. Biodegradasi fenol tertinggi terdapat pada penelitian Molin dan Nilsson (1985) dengan menggunakan bakteri *Pseudomonas putida* ATCC 11172 dalam kultur berkelanjutan dengan perbedaan rasio dari permukaan biofilm dalam volume kultur. Hasilnya, biofilm tidak menambah konsentrasi sel terlarut tetapi mampu menambah laju penurunan fenol maksimum dari 0,23 g/liter per jam (tanpa biofilm) menjadi 0,72 g/l per jam (dengan biofilm).

Pada penelitian biodegradasi fenol lainnya dengan menggunakan kultur bakteri campuran telah dilakukan oleh Udiharto (1989). Kultur campuran tersebut terdiri dari *Pseudomonas sp.* sebanyak 80%, *Staphylococcus aureus* sebanyak 6%, *Flavobacterium sp.* sebanyak 7%, *Cromobacterium sp.* sebanyak 7%. Hasil dari penelitian dapat menurunkan kadar fenol yang semula 700 mg/l menjadi 1 mg/l selama 6 jam.

Berdasarkan penelitian-penelitian, tingginya biodegradasi fenol dalam skala laboratorium dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pengaruh aklimasi yang dilakukan oleh Chang *et al* (2002). Kultur bakteri yang tidak diaklimasi memerlukan waktu untuk mendegradasi fenol yang lebih lama dibandingkan dengan kultur yang tidak diaklimasi terlebih dahulu. Selain aklimasi, tingginya biodegradasi fenol juga dipengaruhi oleh hadirnya bakteri lain dalam suatu kultur seperti yang dilakukan oleh Udiharto (2001) dengan menggunakan kultur bakteri campuran sehingga mendegradasi fenol lebih cepat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa penurunan kadar fenol sebagai hasil dari biodegradasi fenol oleh ke 5 isolat bakteri terbaik yang diukur selama 24 jam yaitu : *Bacillus sp* 1 sebesar 214,21 ppm; *Bacillus sp* 4 sebesar 224,67 ppm; *Bacillus sp* 6 sebesar 217,28 ppm; *Bacillus sp* 8 sebesar 197,91 ppm; dan *Bacillus sp* 12 sebesar 208,34 ppm dan Isolat *Bacillus sp* 4 merupakan bakteri yang memiliki kemampuan biodegradasi

terbaik yaitu mampu mendegradasi fenol sebanyak 56,17 % selama 24 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Atlas, R.M. 1997. *Handbook of Microbial Media*. Second edition. New York: CRC Press Inc.
- Atlas, R.M., and R. Bartha. 1987. *Microbial Ecology: Fundamental and Applications*. San Fransisco: The Benjamin/Cumming Publishing Co.
- ATSDR. 1997. *Toxicological Profile for Phenol*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp115-c1.pdf. [11 Juni 2004]
- Bollag, W.B., and J.M. Bollag. 1992. Biodegradation. In: Lederberg, J. (ed). *Encyclopedia of Microbiology*. San Fransisco: The Bejamin/Cumming Publishing Co.
- Chung. 2002. *Comparison of Phenol Biodegradation by Pseudomonas putida with and without substrate Pre-acclimation*. Departement of Chemical Engineering, Yuan Ze University. www.ce.mit.edu.tw/bioeng7/[27 Januari 2004]
- Clesceri, S.L., A.D. Eaton, and E.A. Greenberg. 1992. *Standard Methods for Examination of Water and Waste Water*. Washington: APHA
- Gurujeyalakshmi, G., and P. Oriel. 1989. Isolation of phenol-degrading *Bacillus stearothermophilus* and partial characterization of phenol hydroxylase. *Applied Environmental Microbiology* 55 (2): 500-502.
- Irawan, B. 2004. *Isolasi Bertahap dan Identifikasi Isolat Bakteri Pedegradasi Hidrokarbon pada Cairan Minyak Mentah Sumur Minyak Kawangan Pertamina Cepu*. [Skripsi]. Surakarta: Jurusan Biologi FMIPA UNS.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko, and J. Parker. 1997. *Brock Biology of Microorganisms*. New Jersey: Prentice Hall Intl.
- Molin, G and I. Nilsson. 1985. Degradation of phenol by *Pseudomonas putida* ATTC 11172 in continuous culture at different ratios of biofilm surface to culture volume. *Applied Environmental Microbiology* 50 (4): 946-950.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Rustamsjah. 2001. *Rekayasa Biodegradasi Fenol oleh Pseudomonas aeruginosa ATCC 27833*. http://rudycr.250x.com/sem1_012/rustamsjah.htm. [11 Juni 2004].
- Schlegel, H.G dan K. Smith. 1994. *Mikrobiologi Umum*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.
- Tortura, G.J., B.R. Funke, and C.L. Case. 1995. *Microbiology an Introduction*. Fifth edition. San Fransisco: The Benjamin Cumming Publishing Company, Inc.
- Udiharto, M. 1989. Fenol sebagai pencemar dan biodegradasinya. *Proceedings Diskusi Ilmiah VI Hasil Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi (PPPTMGB)*. Lembaga Minyak dan Gas (LEMIGAS), Jakarta, 8-9 Pebuari 1989.
- Udiharto, M. 1992. Aktivitas mikrobia dalam degradasi minyak bumi. *Proceedings Diskusi Ilmiah VII Hasil Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi (PPPTMGB)*. Lembaga Minyak dan Gas (LEMIGAS), Jakarta, 13-14 Juni 1992.