

## **BIOREMEDIASI TANAH YANG TERCEMAR LIMBAH PENGILANGAN MINYAK BUMI SECARA *IN VITRO* PADA KONSENTRASI pH BERBEDA**

*(In vitro Bioremediation of Dirtied Soil by Oil Refinery Waste in different pH Concentration)*

Syukria Ikhsan Zam

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Kampus Raja Alihaji Panam, PO. Box 1004, Pekanbaru 28293, Riau Indonesia, Telp. +62761-562051, Fax +62761-562052. \*E-mail: siz.pku@gmail.com

### **ABSTRACT**

*The purposes of this research were to get the best pH, and also to identify the ability of mixed culture of hydrocarbonoclastic bacteria in bioremediation of dirtied soil by oil refinery waste. The bacteria were used are Acinetobacter baumannii, Alcaligenes eutrophus, Bacillus sp1., Methylococcus capsulatus, Bacillus sp2., Morococcus sp., Pseudomonas diminuta, Xanthomonas albilineans, Bacillus cereus and Flavobacterium branchiophiia. Variation of pH were 6,5, 7,0, 7,5. Observed parameters in optimization were Total Plate Count (TPC) the culture every week, Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) and Chemical Oxygen Demand (COD) examined at the end of the bioremediation period. Best optimization result then analyzed with GC/MS. The best pH was 7,5 with TPH degradation 73,241% and COD slope 86,283%. The chromatogram indicated that hydrocarbon compound from nC<sub>9</sub> – nC<sub>32</sub> have been degraded by 31,824% – 94,934%. The conclusions of this research were a good result of bioremediation was obtained from mixed culture inoculum at pH 7,5.*

*Keywords: Bioremediation, hydrocarbonoclastic bacteria, pH*

### **PENDAHULUAN**

Peningkatan kebutuhan bahan bakar minyak mengakibatkan peningkatan eksplorasi dan pengolahannya. Eksplorasi dan pengolahan minyak bumi selain memberikan keuntungan juga memberikan dampak yang buruk bagi lingkungan, yaitu berupa limbah (residu). Limbah hasil pengolahan minyak bumi memiliki komposisi berupa aspal, lilin, logam berat, lumpur bercampur minyak sisa pengilangan (oil sludge) dan hidrokarbon (Anonimus, 1994). Pada umumnya limbah minyak bumi belum dikelola dan dimanfaatkan secara optimum. Banyak limbah yang langsung dibuang ke lingkungan, sehingga akan mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan, seperti pencemaran tanah.

Tanah yang tercemar limbah hidrokarbon akan membahayakan organisme-organisme yang terdapat padanya. Karena senyawa-senyawa hidrokarbon bersifat toksik dan karsinogenik, sehingga dapat menyebabkan kematian terhadap organisme-organisme tersebut.

Oleh karena itu pencemaran tersebut perlu ditanggulangi.

Pada umumnya remediasi cemaran limbah minyak bumi diolah secara fisika dengan penyaringan, penyerapan, pembakaran atau secara kimia dengan menggunakan pengemulsi. Cara-cara ini memang dapat menghilangkan limbah minyak bumi dengan cepat, akan tetapi biayanya mahal dan tidak ramah lingkungan. Sebagai contoh, pembakaran dapat menghancurkan hidrokarbon dengan cepat, tetapi pada saat yang bersamaan menyebabkan polusi udara dan meninggalkan sisa pembakaran yang memerlukan penanganan yang lebih lanjut. Sementara itu penggunaan bahan kimia sintesis selain lebih mahal juga dapat menimbulkan resiko pencemaran baru, sehingga diperlukan suatu cara pengolahan limbah minyak bumi yang lebih ekonomis dan lebih ramah lingkungan (Clark, 1986).

Salah satu cara untuk pengelolaan dan pemanfaatan limbah dilakukan dengan menggunakan agen biologi yang disebut bioremediasi. Bioremediasi merupakan

suatu proses pemulihan (remediasi) lahan yang tercemar limbah organik maupun limbah anorganik dengan memanfaatkan organisme. Pengelolaan dengan menggunakan organisme merupakan alternatif penanggulangan limbah minyak bumi yang murah, efektif, ramah lingkungan dan menyebabkan terjadinya degradasi limbah yang menghasilkan senyawa akhir yang stabil dan tidak beracun, namun metode ini membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan cara fisika atau kimia (Atlas dan Bartha, 1992).

Bakteri yang umum digunakan dalam proses bioremediasi limbah pengilangan minyak bumi adalah bakteri hidrokarbonoklastik. Bakteri ini memiliki kemampuan mendegradasi senyawa hidrokarbon yang terdapat dalam limbah tersebut (Davids, 1967). Secara alami mikroorganisme ini memiliki kemampuan untuk mengikat, mengemulsi, mentranspor, dan mendegradasi hidrokarbon. Bakteri ini mendegradasi senyawa hidrokarbon dengan cara memotong rantai hidrokarbon tersebut menjadi lebih pendek dengan melibatkan berbagai enzim. Sintesis enzim-enzim tersebut dikode oleh kromosom atau plasmid, tergantung pada jenis bakterinya (Ashok *et al.*, 1995). Bakteri hidrokarbonoklastik telah memiliki potensi genetik untuk mengikat, mengemulsi, dan mendegradasi hidrokarbon. Karakteristik mikroorganisme hidrokarbonoklastik adalah (Rosenberg *et al.*, 1992) :

1. Menghasilkan enzim oksigenase yang terikat membran.
2. Memiliki mekanisme untuk mengoptimalkan kontak antara permukaan sel mikroorganisme dengan hidrokarbon yang tidak larut dalam air.

Kriteria bakteri hidrokarbonoklastik yang digunakan dalam proses bioremediasi menurut Atlas (1976, dalam Leahy dan Colwell, 1990) :

1. Mampu mendegradasi komponen-komponen penyusun minyak bumi.
2. Stabil secara genetis.
3. Memiliki viabilitas yang tinggi selama penyimpanan.
4. Masih memiliki laju pertumbuhan yang tinggi selama penyimpanan.
5. Memiliki aktivitas enzimatik dan pertumbuhan yang tinggi di lapangan.
6. Tidak bersifat patogen.

7. Tidak menghasilkan senyawa toksik.

Biodegradasi senyawa hidrokarbon yang terdapat pada limbah pengilangan minyak bumi dipengaruhi oleh faktor fisika, kimia dan biologi. Faktor fisika-kimia yang berpengaruh terhadap biodegradasi hidrokarbon antara lain komposisi dan struktur kimia hidrokarbon, konsentrasi hidrokarbon, suhu, oksigen, salinitas, pH, nutrisi, cahaya dan tekanan osmotik. Umumnya kecepatan degradasi minyak bumi oleh bakteri aerob berlangsung optimum pada suhu berkisar antara 15 – 30°C (Englert, 1993). Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan kecepatan degradasi hidrokarbon secara maksimum, biasanya pada kisaran 30 – 40°C. Suhu yang melebihi titik ini dapat meningkatkan toksisitas membran mikroorganisme (Bossert & Bartha, 1984). Faktor biologis meliputi mikroorganisme yang ada, karakter, jumlah sel, serta enzim yang dimiliki oleh organisme tersebut (Atlas, 1981; Atlas & Bartha, 1992; Leahy & Colwell, 1990; Udiharto, 1992). Penelitian ini dilakukan untuk memproleh konsentrasi pH terbaik, serta mengetahui kemampuan kultur campuran bakteri dalam mendegradasi limbah pengilangan minyak bumi.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Alat Penelitian

Bahan penelitian adalah isolat bakteri yang diisolasi dari limbah minyak bumi yang berasal dari tanah yang tercemar limbah pengilangan minyak bumi di Sungai Pakning. Medium pertumbuhan bakteri menggunakan "Stone Mineral Salt Solution" (SMSS), dibuat dengan cara melarutkan lima g  $\text{CaCO}_3$ ; 2,5 g  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; satu g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,5 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,5 g  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; dan 0,2 g  $\text{MnCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ke dalam satu liter akuades, pH diatur tetap 6,5 (Sharpley, 1966), dan *bulking agent* yang digunakan yaitu serbuk gergaji.

Subkultur bakteri menggunakan agar miring yang berisi medium agar nutrisi ("nutrien agar"), dengan komposisi lima g pepton, tiga g ekstrak daging sapi dan 20 g agar bacto. Medium dibuat dengan cara melarutkan masing-masing komponen ke dalam labu Erlenmeyer yang berisi satu liter akuades

(sambil dipanaskan di atas penangas), kemudian disterilisasi. Larutan pengencer garam fisiologis NaCl 0,85% digunakan untuk mengencerkan suspensi sel bakteri, dibuat dengan cara melarutkan 8,5 g kristal NaCl ke dalam satu liter akuades, kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak sembilan mL.

Bahan kimia yang diperlukan dalam pengukuran COD adalah  $K_2Cr_2O_7$  0,25 N,  $H_2SO_4$  pekat, kristal  $HgSO_4$ , FAS [ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ], dan indikator Ferroin. Pengukuran menggunakan metode *Dichromate Reflux Technique Standar* (Anonimus, 2005).

Isolat bakteri yang digunakan adalah *Acinetobacter baumannii*, *Alcaligenes eutrophus*, *Bacillus* sp1., *Methylococcus capsulatus*, *Bacillus* sp2., *Morococcus* sp., *Pseudomonas diminuta*, *Xanthomonas albilineans*, *Bacillus cereus* dan *Flavobacterium branchiophiia*. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu Erlenmeyer, cawan Petri, tabung reaksi, mikropipet, pipet ukur, labu pemisah, dan mikrokosmos.

## Tata Kerja

### **Sterilisasi Alat dan Bahan**

Bahan dan alat tahan panas yang digunakan dalam penelitian ini disterilisasi dengan menggunakan autoklaf pada suhu  $121^{\circ}C$  dengan tekanan 15 lbs selama 15 menit. Peralatan yang tidak tahan panas disterilisasi dengan menggunakan alkohol 90%.

### **Proses Bioremediasi**

Proses bioremediasi dilakukan di dalam mikrokosmos dengan penambahan *bulking agent* 10% dari berat tanah. Optimasi pH dilakukan dengan penambahan NaOH untuk meningkatkan pH medium. pH ditingkatkan dari 6,5, 7,0, dan 7,5 (Mulvey, 2002; Pelczar dan Chan, 1995; Mateo, 2006). Proses bioremediasi dilakukan selama tujuh minggu. Setiap satu minggu sekali dilakukan pengadukan untuk aerasi. Selain itu juga dilakukan pencuplikan untuk enumerasi yang digunakan dalam pembuatan pola pertumbuhan bakteri. Pada hari terakhir dilakukan pengukuran tingkat degradasi limbah minyak bumi dan penurunan COD. Perlakuan yang memberikan hasil terbaik dilakukan GC/MS

terhadap minyak sisa degradasi. Konsentrasi inokulum yang digunakan 10% (v/v), sedangkan rasio C:N:P 100:5:1 (Satitiningrum, 2004; Zam, 2006).

### **Tingkat degradasi**

Pengukuran tingkat degradasi dilakukan menggunakan metode Gravimetri. Metode ini dilakukan dengan mengekstraksi lima mg sampel dengan menggunakan benzene, pentana, dan dietileter dengan perbandingan 3:1:1 sebanyak lima mL. Minyak yang diperoleh lalu ditimbang untuk mengetahui jumlah minyak yang terkandung dalam sampel. Tingkat degradasi diukur dengan rumus sebagai berikut (Pikoli, 2000):

$$\% \text{ degradasi} = \frac{A - B}{A}$$

Keterangan :

- A = Total petroleum hydrocarbon (TPH) awal
- B = Total petroleum hydrocarbon (TPH) akhir

### **TPC (Total Plate Count)**

Analisis TPC bertujuan untuk mengetahui pola pertumbuhan bakteri selama proses bioremediasi berlangsung. TPC dilakukan dengan metode cawan tuang yang mengacu kepada Cappuccino dan Sherman (1987). Laju pertumbuhan dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini (Crueger dan Crueger, 1984):

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt}$$

Keterangan :

- X = Konsentrasi biomasa
- dX = X - X<sub>0</sub>
- X = log jumlah sel
- dt = t - t<sub>0</sub>
- t = waktu

### **COD (Chemical Oxygen Demand)**

Pengukuran COD dilakukan untuk mengetahui konsentrasi total bahan kimia yang terdapat pada limbah sebelum dan sesudah bioremediasi. Pengukuran dilakukan dengan metode *Dichromate Reflux Technique Standar*. Metode ini dilakukan dengan cara mengambil 25 mg medium sampel dan 25 mL akuades sebagai blanko ke dalam labu Erlenmeyer 500 mL.

Ditambahkan satu g HgSO<sub>4</sub>, lima mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, dan diaduk sampai HgSO<sub>4</sub> larut. Perlahan-lahan ditambahkan 12,5 mL K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,25 kemudian diaduk hingga homogen. Selama pengadukan ditambahkan 35 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, kemudian direfraksi selama 2 jam. Hasil refraksi didinginkan, kemudian ditambahkan akuades hingga volume 175 mL. Kemudian ditambahkan 2 – 3 tetes indikator Ferroin, selanjutnya dititrasi dengan FAS [Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] sampai terjadi perubahan warna menjadi coklat kemerahan. Kandungan COD ditentukan dengan perhitungan berikut (Anonimus, 2005) :

$$\text{COD (mg/l)} = \frac{(a - b) \cdot (N) \cdot 8000}{v}$$

Keterangan :

a = mL Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> yang digunakan untuk blangko

b = mL Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> yang digunakan untuk sampel

N = normalitas Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>

v = volume sampel

### Kromatografi Gas (GC/MS)

Kromatografi gas dilakukan hanya untuk perlakuan terbaik dari hasil optimasi. Tujuan analisis dengan GC/MS adalah untuk mengetahui komposisi dan jenis senyawa yang terkandung di dalam sampel sebelum dan sesudah bioremediasi. Alat yang digunakan adalah GC jenis HP-5890 dengan detektor FID dan suhu 300°C, kolom GC adalah kapiler kaca (panjang 30 m dan diameter 0,25 mm) dengan tekanan 100 kPa dan aliran kolom 1,6 mL/menit, sedangkan gas pembawa sampel yang akan dianalisis yaitu helium (Gambar 1). Tingkat degradasi senyawa hidrokarbon dihitung dengan cara (Astuti, 2003):

$$\% \text{ degradasi} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Keterangan :

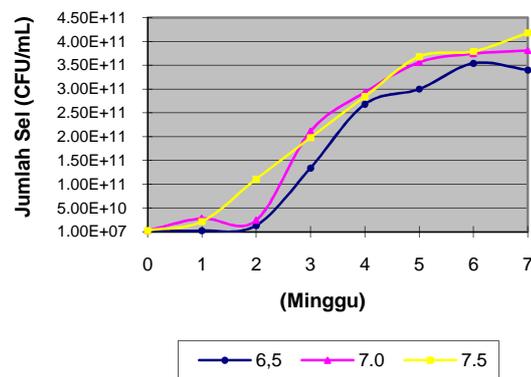
A = Luas fitana awal : luas area awal

B = Luas fitana akhir : luas area akhir

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi pH dilakukan sebanyak tiga variasi perlakuan, yaitu 6,5, 7,0, dan 7,5. Pemilihan variasi pH ini dilakukan karena

pada umumnya kisaran pH optimum bagi pertumbuhan bakteri adalah 6,5 – 7,5. Berdasarkan studi pustaka pada umumnya proses bioremediasi berlangsung dengan baik pada kondisi pH berkisar 6,5 – 8 (Chair *et al.*, 2001). Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan dan Tabel 1. Parameter yang digunakan untuk menentukan perlakuan yang memberikan hasil terbaik adalah TPC, tingkat degradasi TPH, dan penurunan COD, serta laju pertumbuhan kultur campuran bakteri.



Gambar 1. Kurva pola pertumbuhan kultur campuran pada bioremediasi dengan konsentrasi pH berbeda. Kondisi lingkungan : suhu 28°C, tanpa agitasi.

Perlakuan yang memberikan pertumbuhan dan tingkat degradasi terbaik adalah pH 7,5. Hal ini dapat dilihat dari tingkat degradasi TPH dan penurunan COD serta laju pertumbuhan yang tinggi jika dibandingkan dengan pH lainnya. pH tersebut mampu mendegradasi TPH 73,241% dan penurunan COD 86,283% (Tabel 1) serta memiliki laju pertumbuhan 0,0446 jam<sup>-1</sup> (Tabel 3). Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pH tersebut paling sesuai jika dibandingkan dengan pH lainnya. Menurut Mulvey (2002) daerah dengan salinitas rendah rentang pH mendekati 8 dapat meningkatkan proses mineralisasi. pH yang sesuai akan mengakibatkan proses biodegradasi menjadi lebih cepat. Fungsi seluler, transpor membran, dan keseimbangan reaksi katalisis sangat dipengaruhi pH, sehingga mempengaruhi pertumbuhan dan tingkat

degradasi senyawa-senyawa yang terdapat dalam tanah yang tercemar limbah minyak bumi (Cookson,1995; Alexander, 1999).

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan, optimasi pH memberikan pertumbuhan dan

tingkat degradasi serta penurunan COD yang baik. Hal ini dapat diakibatkan oleh pH tersebut masih termasuk rentang yang mendukung pertumbuhan dan proses biodegradasi. Menurut Mateo (2006) pH optimum untuk proses bioremedias

Tabel 1. Tingkat Degradasi TPH dan COD Pada Proses Bioremediasi dengan Konsentrasi pH berbeda

pH	TPH Awal (g/100mL)	TPH Akhir (g/100mL)	Tingkat Degradasi (%)	COD Awal (g/100mL)	COD Akhir (g/100mL)	Tingkat Degradasi (%)
6,5	14,500	4,765	67,138	91,437	14,580	84,055
7,0	14,500	4,582	68,400	91,437	14,007	84,681
7,5	14,500	3,880	73,241	91,437	12,542	86,283

Tabel 2. Tingkat Degradasi Senyawa Hidrokarbon dari Hasil Optimasi Terbaik Setelah Tujuh Minggu Bioremediasi.

Senyawa Hidrokarbon	Tingkat Degradasi (%)	Senyawa Hidrokarbon	Tingkat Degradasi (%)
<i>nC</i> <sub>9</sub>	45,271	<i>nC</i> <sub>20</sub>	46,465
<i>nC</i> <sub>10</sub>	51,527	<i>nC</i> <sub>21</sub>	48,188
<i>nC</i> <sub>11</sub>	41,050	<i>nC</i> <sub>22</sub>	53,478
<i>nC</i> <sub>12</sub>	34,893	<i>nC</i> <sub>23</sub>	58,490
<i>nC</i> <sub>13</sub>	32,292	<i>nC</i> <sub>24</sub>	58,050
<i>nC</i> <sub>14</sub>	31,824	<i>nC</i> <sub>25</sub>	66,221
<i>nC</i> <sub>15</sub>	32,302	<i>nC</i> <sub>26</sub>	58,803
<i>nC</i> <sub>16</sub>	39,823	<i>nC</i> <sub>27</sub>	59,975
<i>nC</i> <sub>17</sub>	36,119	<i>nC</i> <sub>28</sub>	78,161
Pristana	-	<i>nC</i> <sub>29</sub>	67,761
<i>nC</i> <sub>18</sub>	48,999	<i>nC</i> <sub>30</sub>	72,196
Fitana	-	<i>nC</i> <sub>31</sub>	93,966
<i>nC</i> <sub>19</sub>	40,862	<i>nC</i> <sub>32</sub>	94,934
<b>Total</b>			<b>63,120</b>

Tabel 3. Total Plate Count dan laju pertumbuhan pada proses bioremediasi dengan konsentrasi pH berbeda

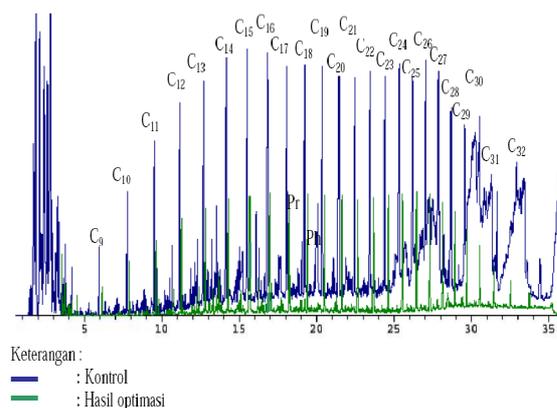
Jumlah Sel (CFU/mL) Minggu Ke-	pH		
	6,5	7,0	7,5
0	2,41 x 10 <sup>6</sup>	3,01 x 10 <sup>6</sup>	2,66 x 10 <sup>6</sup>
1	2,59 x 10 <sup>9</sup>	2,83 x 10 <sup>10</sup>	2,18 x 10 <sup>10</sup>
2	1,35 x 10 <sup>10</sup>	2,39 x 10 <sup>10</sup>	1,11 x 10 <sup>11</sup>
3	1,34 x 10 <sup>11</sup>	2,11 x 10 <sup>11</sup>	1,98 x 10 <sup>11</sup>
4	2,68 x 10 <sup>11</sup>	2,93 x 10 <sup>11</sup>	2,84 x 10 <sup>11</sup>
5	3,00 x 10 <sup>11</sup>	3,56 x 10 <sup>11</sup>	3,68 x 10 <sup>11</sup>
6	3,24 x 10 <sup>11</sup>	3,74 x 10 <sup>11</sup>	3,79 x 10 <sup>11</sup>
7	3,40 x 10 <sup>11</sup>	3,81 x 10 <sup>11</sup>	4,18 x 10 <sup>10</sup>
<b>Laju Pertumbuhan (sel/jam)</b>	<b>0,0289</b>	<b>0,0406</b>	<b>0,0446</b>

minyak bumi berkisar antara 6 sampai 8. Alexander (1999) menambahkan jika komponen lingkungan yang khas dapat dimetabolisme oleh organisme yang berbeda, maka rentang pH akan menjadi

luas sehingga proses degradasi dapat terjadi.

Berdasarkan hasil GC/MS terlihat terjadi degradasi senyawa hidrokarbon *nC*<sub>9</sub> – *nC*<sub>32</sub> berkisar antara 31,824% – 94,934%,

dengan degradasi total 63,120% (Gambar 2 dan Tabel 2). Penggunaan GC/MS bertujuan untuk mengetahui senyawa-senyawa hidrokarbon yang dapat didegradasi oleh kultur campuran bakteri. Terjadinya proses degradasi senyawa-senyawa hidrokarbon tersebut diduga karena terjadi sinergisme dalam kultur campuran tersebut dan terjadi proses kometabolisme.



Gambar 2. Kromatogram hasil proses bioremediasi dari pH terbaik

Peningkatan tingkat degradasi senyawa hidrokarbon dari  $nC_9 - nC_{32}$  pada pH 7,5 dapat diakibatkan pH tersebut meningkatkan aktivitas metabolisme sel dan kerja enzim yang berperan dalam degradasi

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M.1999. *Biodegradation and Bioremediation* 2<sup>nd</sup> edition. Academic Press, San Diego.
- Anonimus. 1994. *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia : Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu*. Project of the Ministry of State For the Environment RI, Jakarta.
- Anonimus. 2005. *Chemical Oxygen Demand (COD)*. Oasis Environmental Ltd., New York.
- Ashok, B. T., Saxena, S., Susarrat, J. 1995. Isolation and Characterization of Four Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Degrading Bacteria From Soil Near on Oil Refinery. *Letter in Applied Microbiology*. The Society for Applied Bacteriology. 21, 246 – 248.

limbah minyak bumi (monooksigenase dan dioksigenase), sehingga mendukung pertumbuhan kultur bakteri dan meningkatkan degradasi limbah minyak bumi. Menurut Bull dan Dalton (1985) kondisi lingkungan yang ideal terutama pH dan konsentrasi inokulum akan mendukung terciptanya suatu proses penyerapan substrat yang baik. Penyerapan substrat yang baik akan memperlancar proses metabolisme dalam sel, sehingga pertumbuhan sel akan berjalan lebih baik. Cookson (1995) dan Alexander (1999) menambahkan fungsi seluler, transpor membran, dan keseimbangan reaksi katalisis sangat dipengaruhi oleh pH, sehingga mempengaruhi pertumbuhan dan tingkat degradasi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa konsentrasi pH 7,5 memberikan hasil bioremediasi terbaik. Hal ini dapat dilihat pada tingkat degradasi TPH 73,241% dan penurunan COD 86,283% serta memiliki laju pertumbuhan 0,0446 jam<sup>-1</sup>.

- Astuti, D, I. 2003. *Pemanfaatan Kultur Campuran Isolat Mikroba Lokal Untuk Degradasi Minyak Bumi dan Produksi Biosurfaktan*. Disertasi Doktor Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Atlas, R. M., and Bartha, R. 1992. *Microbial Ecology*. Benjamin Cummings Science, California.
- Bossert, I., and Bartha, R. 1984. The Fate of Petroleum Soil Ecosystems. *Petroleum Microbiology*. Mcmillan, New York.
- Bull, A.T., and Dalton, H. 1985. Comprehensive Biotechnology : Scientific Fundamental. *Comprehensive Biotechnology. The Principles, Applications and Regulation of Biotechnology In Industry, Agriculture and Medicine*. 1, 345 – 349.

- Capucino, J. B., and Sherman, N. 1987. *Microbiology : A Laboratory Manual*. Addison Wesley Publ. Co., Massachusetts.
- Chair, J. T. N., Goldsmith, C. D., and Evanylo, G. 2001. *Enhanced Biodegradation in Landfills*. Thesis Master of Science Virginia Polytechnic and State University, Virginia.
- Clark, R. B. 1986. *Marine Pollution*. Clarendon Press, Oxford.
- Cookson, W. 1995. *Bioremediation Engineering*. Mc Graw – Hill, New York.
- Crueger, W., Crueger, A. 1984. *Biotechnology : A Textbook of Industrial Microbiology*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland.
- Davids, J.B. 1967. *Petroleum Microbiology*. Elsevier Publishing Co., Amsterdam.
- Englert, C. J. 1993. Bioremediation of Petroleum Product in Soil. *Principles and Practices for Petroleum Contaminated Soil*. Lewis, Michigan.
- Leahy, J. G., and Colwell, R. R. 1990. Microbial Degradation of Hydrocarbons In The Environment. *Microbiol. Rev.* 54, 305 – 315.
- Mateo, S. 2006. *Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons*. <http://www.smhealth.org>. Diakses pada tanggal 7 Mei 2010
- Mulvey, P. 2002. *Treatment, Recovery and Disposal Technology: Bioremediation Techniques for Petroleum Facilities*. Environmental and Earth Sciences Pty Ltd., North Sydney.
- Pelczar, M. J., and Chan, E. C. S. 1993. *Elements of Microbiology*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Pikoli, M. R. 2000. *Isolasi Bertahap Bakteri Termofilik Pendegradasi Minyak Bumi dari Sumur Bangko*. Tesis Magister Biologi Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Rosenberg, E., Legmann, R., Kushmaro, A., Taube, R., Adler, E., and Ron, E. Z. 1992. Petroleum Bioremediation – A Multiphase Problem. *Biodeg.* 3, 213 – 226
- Satitiningrum, Y. 2005. *Optimisasi Proses Bioremediasi Menggunakan Bakteri Hasil Isolasi Dari Sludge dan Oilly Cutting Secara Landfarming*. Tesis Magister Biologi Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sharpley, J. M. 1966. *Elementary Petroleum Microbiology*. Gult. Publ. Co., Texas.
- Udiharto, M. 1992. Aktivitas Mikroba Dalam Mendegradasi Crude Oil. *Diskusi Ilmiah VII*. Hasil Penelitian Lemigas.
- Zam, S. I. *Bioremediasi Limbah Pengilangan Minyak Bumi Pertamina UP II Sungai Pakning Dengan Menggunakan Bakteri Indigen*. Tesis Magister Bioteknologi Institut Teknologi Bandung, Bandung