

Pengaruh Penambahan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada Bioremediasi *Total Petroleum Hydrocarbon* Penambangan Minyak Bumi Tradisional di Jawa Timur

Istina Nisa' Adzini^{1*}, Denny Dermawan¹, Mirna Apriani¹

¹ Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: denny.dermawan@ppns.ac.id

Abstrak

Penambangan minyak bumi tradisional di Desa Wonocolo, Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro menghasilkan limbah minyak bumi berupa lumpur (*sludge*) yang memiliki kandungan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada proses bioremediasi limbah *sludge*. Penelitian ini diawali dengan menambahkan bakteri kultur murni *Pseudomonas aeruginosa* dengan variasi 8%, 12%, 16%, dan menambahkan serbuk gergaji sebesar 10% sebagai *bulking agent* ke dalam limbah *sludge*. Pemantauan sampel secara berkala dua kali dalam tujuh hari meliputi parameter suhu, kadar air, penurunan TPH, dan jumlah sel bakteri. Hasil analisis kandungan TPH awal limbah *sludge* sebesar 3,4%. Penambahan bakteri pada proses bioremediasi memberikan pengaruh terhadap penurunan TPH. Kondisi optimal dicapai pada sampel S2 (bakteri 12% + serbuk gergaji 10%) dengan efisiensi degradasi TPH sebesar 48,53%.

Keywords: bioremediasi, TPH, *Pseudomonas aeruginosa*.

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Bojonegoro merupakan salah satu wilayah di Jawa Timur yang memiliki kekayaan di bidang minyak dan gas bumi. Kegiatan penambangannya masih menggunakan tenaga manusia atau tradisional. Kegiatan operasi penambangan tradisional dimulai dari eksplorasi, produksi, sampai penimbunan dan berpotensi menghasilkan limbah berupa lumpur minyak bumi (*oil sludge*). *Oil sludge* dibuang pada lahan sekitar penambangan tanpa proses pengolahan karena tidak ada kepedulian dari kegiatan penambangan dan masyarakat sekitar untuk menanggulangi pencemaran lingkungan tersebut.

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 hidup. Pengelolaan dengan menggunakan organisme merupakan alternatif penanggulangan limbah minyak bumi yang murah, efektif, dan ramah lingkungan. Pengelolaan dengan organisme menghasilkan senyawa akhir yang stabil dan tidak beracun, namun metode ini membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan metode fisika atau kimia (Atlas dan Bartha, 1992). Kontaminan tersebut diolah dan direduksi hingga konsentrasi nilai *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) memenuhi persyaratan nilai akhir kurang dari 1% sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis.

Bioremediasi *oil sludge* dilakukan dengan pendekatan metode bioaugmentasi. Prinsip bioaugmentasi adalah penambahan mikroorganisme tertentu pada suatu tempat tercemar yang berfungsi sebagai pembersih kontaminan yang ada di daerah tersebut. Mikroorganisme yang umum digunakan dalam proses bioremediasi limbah pengilangan minyak bumi adalah mikroorganism hidrokarbonoklastik. Mikroorganisme ini memiliki kemampuan mendegradasi senyawa hidrokarbon yang terdapat dalam limbah tersebut (Davids, 1967). Bakteri 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, dkk., 1995).

2. METODE

a. Persiapan alat dan bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pH meter, oven, *thermometer*, ayakan 2x2 mm², *autoclave*, *colony counter*, inkubator, jarum ose, *shaker*, neraca analitik, *hotplate*, *stirrer*, AAS. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah *sludge* minyak bumi penambangan tradisional Wonocolo, bakteri *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, serbuk gergaji, *nutrient agar*, *nutrient broth*, *cetrimide agar*, *n-hexana*, dan gliserol.

b. Proses bioremediasi

Kultur mikroba dalam bentuk cairan tersebut dicampurkan ke dalam limbah *sludge* yang telah diberi serbuk gergaji sebanyak 10% (b/b). Variasi penambahan bakteri yaitu 8%, 12%, dan 16%. Semua bahan dicampur homogen dimasukkan ke dalam wadah kaca yang telah disiapkan sebelumnya. Campuran tersebut di aerasi dengan cara mengaduk setiap 24 jam sekali. Proses bioremediasi dalam limbah *sludge* dilakukan selama ± 5 minggu dengan melakukan pengukuran parameter proses: suhu, pH, kadar air, TPH, dan TPC. Tingkat degradasi TPH dapat diperoleh dengan menghitung selisih berat vial awal dan akhir.

$$\text{TPH (\% b, b)} = \frac{(B-A)\text{gram}}{A \text{ gram}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

B = berat vial akhir (dengan minyak hasil ekstraksi)

A = berat vial awal (sebelum ekstraksi)

Variasi penambahan serbuk gergaji dan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

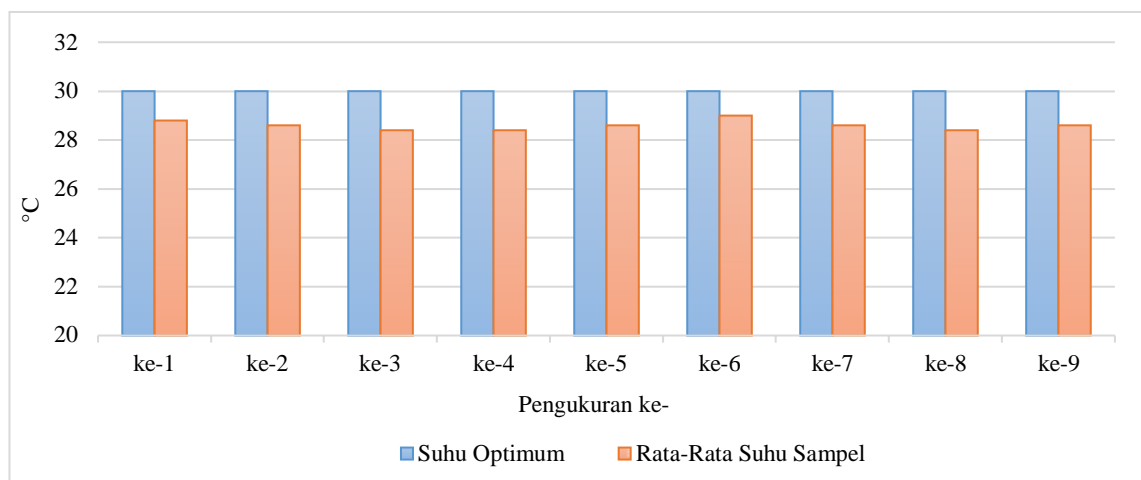
Tabel 2.1 Variasi Penelitian

Serbuk Gergaji	Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Nama Sampel
-	-	Kontrol 1 (K1)
10%	-	Kontrol 2 (K2)
10%	8%	Sampel 1 (S1)
10%	12%	Sampel 2 (S2)
10%	16%	Sampel 3 (S3)
Penelitian dilakukan selama ±5 minggu dengan pengujian dua kali dalam satu minggu Total Sampel: 5 sampel x 10 = 50 sampel x 2 (Duplo analisis) = 100 sampel		

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Suhu

Suhu tanah merupakan salah satu faktor penting dalam proses biodegradasi kontaminan senyawa hidrokarbon. Pengukuran suhu dilakukan dua kali dalam tujuh hari. Hasil analisis suhu dapat dilihat pada



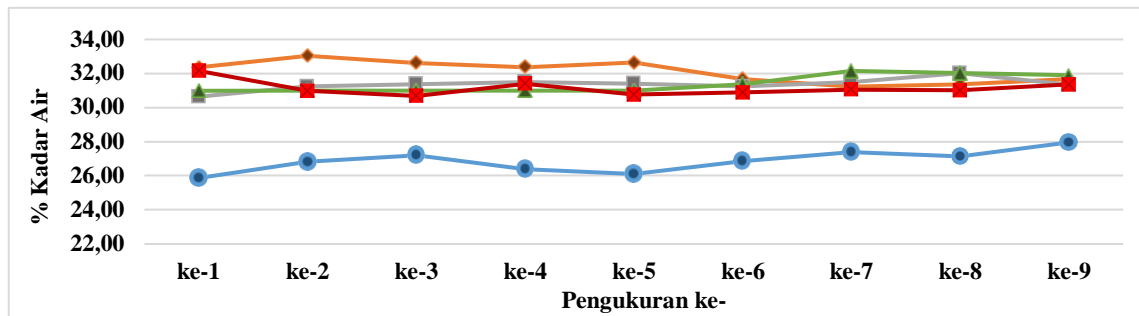
Gambar 3.1 Grafik Rata – Rata Suhu

Gambar 3.1 menunjukkan hasil pengukuran suhu sampel K1, K2, S1, S2, dan S3 dengan kisaran 28 – 29°C. Kisaran tersebut mengindikasikan bahwa bakteri *eksogenous* berupa *Pseudomonas aeruginosa* dapat

tumbuh pada suhu optimum 25 - 35° C. Suhu cenderung rendah disebabkan adanya *bulking agent* berupa serbuk gergaji yang dapat menyerap kalor, sehingga meningkatkan porositas tanah yang mengakibatkan hilangnya kalor yang terbentuk (Retno, D.I., dkk., 2013). Suhu optimum yang diperlukan bagi pertumbuhan bakteri dalam biodegradasi lumpur minyak adalah 20-30°C (Helmy, dkk., 2006 dalam Retno, D.I., dkk., 2013), sedangkan suhu yang optimal untuk degradasi hidrokarbon adalah 30-40°C (Antizar, dkk., 2007).

b. Analisis Kadar Air

Keberadaan air di dalam tanah sangat dibutuhkan untuk aktivitas metabolik dari mikroorganisme pada limbah minyak bumi karena mikroorganisme hidup aktif pada interfase air dan minyak (Udiharto, dkk., 1995 dalam Retno, D.I., dkk., 2013). Hasil pengamatan kadar air dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 3.2 Grafik Kadar Air Sampel Limbah

Keterangan:

- : Sampel K1 (Kontrol)
- ◇— : Sampel K2 (10% serbuk gergaji)
- : Sampel S1 (10% serbuk + 8% bakteri)
- △— : Sampel S2 (10% serbuk + 12% bakteri)
- : Sampel S3 (10% serbuk + 16% bakteri)

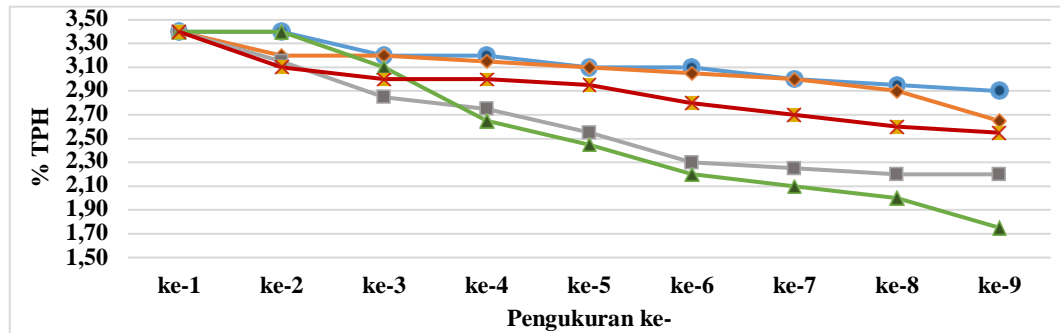
Grafik hasil uji kadar air pada Gambar 3.2 menunjukkan bahwa kadar air pada sampel kontrol (sampel K1) berkisar 25,48% - 28,12% lebih rendah dibandingkan dengan sampel bioremediasi yang lainnya yang berkisar 30,29% - 33,53%. Hal tersebut disebabkan karena campuran *bulking agent* berupa serbuk gergaji memiliki kemampuan menyerap air lebih besar dibandingkan limbah *sludge*, sehingga mampu mempertahankan kelembapan sampel limbah. Kondisi sampel limbah yang lembap mengakibatkan degradasi bakteri menjadi optimal karena terpenuhinya nutrisi dan substrat (Retno, dkk., 2013). Kelembapan yang ideal bagi pertumbuhan bakteri adalah 25 - 28%, sedangkan kelembapan optimal untuk mendegradasi hidrokarbon berkisar 30 - 90% (Vidali, 2001 dan Thapa, dkk., 2012).

Menurut Doerffer dalam Nugroho (2006), senyawa hidrokarbon akan mengalami degradasi secara alami karena faktor-faktor lingkungan, meskipun laju degradasi berjalan lambat. Hal tersebut meliputi penguapan, teremulsi dalam air, teradsorpsi pada partikel padat, tenggelam dalam perairan serta mengalami biodegradasi oleh mikroba. Pengadukan juga berpengaruh pada aktivitas bakteri pada proses degradasi hidrokarbon. Bakteri yang digunakan untuk mendegradasi hidrokarbon adalah bakteri aerob, yaitu bakteri yang aktivitasnya membutuhkan oksigen. Oksigen yang diperlukan bakteri dapat diperoleh dari udara melalui proses pengadukan dan penyiraman air.

Sampel S2 (serbuk gergaji 10% dan bakteri 12%) dengan kadar air berkisar 30,64% - 32,46% memberikan efisiensi degradasi TPH optimal sebesar 48,5%. Hubungan antara efisiensi degradasi TPH dan kelembapan menunjukkan bahwa kelembapan tinggi mengakibatkan efisiensi degradasi TPH meningkat, karena proses transfer nutrisi bagi bakteri berjalan optimal (Retno, D.I., dkk., 2013).

c. Analisis TPH

Hasil pengamatan TPH yang dilakukan dua kali dalam tujuh hari disajikan pada grafik dibawah ini:



Gambar 3.3 Grafik Hasil Analisis TPH

Keterangan:

- : Sampel K1 (Kontrol)
- : Sampel K2 (10% serbuk gergaji)
- : Sampel S1 (10% serbuk + 8% bakteri)
- : Sampel S2 (10% serbuk + 12% bakteri)
- : Sampel S3 (10% serbuk + 16% bakteri)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bakteri kultur murni *Pseudomonas aeruginosa* 12% menghasilkan presentase degradasi TPH yang lebih besar dibandingkan presentase degradasi TPH dengan konsentrasi bakteri yang lainnya (8% dan 16%) atau tanpa penambahan bakteri. Oleh karena itu, disimpulkan bila semakin banyak penambahan konsentrasi bakteri, maka semakin meningkat persen penyisihan TPH. Namun, pada titik tertentu ada batas penambahan bakteri yang sesuai. Hal tersebut tergantung dari kemampuan bakteri dalam mendegradasi bahan pencemar (Sulistiyorini, 2018).

d. Analisis Jumlah Bakteri (TPC)

Uji *Total Plate Count* (TPC) dilakukan untuk melihat aspek mikrobiologis dari setiap reaktor. Jumlah total mikroba yang ada dalam setiap reaktor dapat dihitung melalui metode TPC. Pengujian jumlah total bakteri dengan metode TPC dilakukan dua kali dalam tujuh hari dengan hasil pengamatan seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil Pengamatan TPC

No	Pengecekan ke-	TPC (cfu/mL)									
		K1		K2		S1		S2		S3	
1	ke-1	<250	<250	<250	<250	$1,2 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	<250	<250	<250	<250
2	ke-2	$5,5 \times 10^3$	1×10^4	<250	<250	$1,1 \times 10^7$	$1,3 \times 10^7$	<220	<250	<250	<250
3	ke-3	<250	<250	<250	<250	$2,3 \times 10^7$	$4,4 \times 10^7$	<250	<250	$2,1 \times 10^6$	$2,1 \times 10^6$
4	ke-4	<250	<250	<250	<250	$4,4 \times 10^6$	$4,1 \times 10^6$	$4,9 \times 10^6$	$8,9 \times 10^6$	<250	<250
5	ke-5	<250	<250	<250	<250	$2,7 \times 10^6$	$2,6 \times 10^6$	<250	<250	<250	<250
6	ke-6	<250	<250	<250	<250	$5,9 \times 10^6$	$6,5 \times 10^6$	$1,8 \times 10^6$	<250	<250	<250
7	ke-7	<250	<250	<250	<250	$4,6 \times 10^6$	$5,2 \times 10^6$	<250	<250	$6,4 \times 10^4$	<250
8	ke-8	<220	<250	<220	<250	$1,7 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$	$3,9 \times 10^6$	$6,3 \times 10^6$	<250	<220
9	ke-9	<250	<250	<250	<250	$8,6 \times 10^5$	$9,6 \times 10^5$	<250	<250	4×10^4	$2,6 \times 10^6$

Tabel 3.1 menunjukkan pada sampel K1 (100% limbah *sludge*) dan K2 (90% limbah *sludge* + 10% serbuk gergaji) tidak terdapat bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Populasi bakteri yang mendominasi proses bioremediasi diduga merupakan kelompok bakteri atau kultur campuran yang hidup di tanah, yang disebut bakteri *indigenous*. Hal ini dapat dilihat dari presentase degradasi TPH pada sampel K1 dan K2, dimana pada sampel tersebut mengalami penurunan kandungan hidrokarbon namun hanya berkisar 14,71% - 20,59%. Dengan demikian, proses degradasi pada sampel K1 dan sampel K2 terjadi karena kelompok

bakteri *indigenous* yang sudah beradaptasi dengan lingkungan ekstrim minyak bumi sehingga bakteri tersebut dapat memanfaatkan *sludge* minyak bumi sebagai sumber karbon. Penurunan kandungan hidrokarbon pada sampel K1 dan sampel K2 juga dapat terjadi karena proses pengadukan / aerasi yang dilakukan setiap hari sehingga mengakibatkan penguapan.

Hasil pengamatan pada Tabel 3.1 menunjukkan nilai TPC pada sampel S1 (limbah + 10% serbuk gergaji + 8% bakteri) jauh lebih tinggi dari sampel lain, namun hal ini tidak linier dengan penurunan kandungan TPH. Penurunan kandungan TPH pada sampel S1 sebesar 35,39% sedangkan pada sampel S2 sebesar 48,53%. Data tersebut menunjukkan bahwa penambahan satu jenis bakteri kultur murni berpengaruh terhadap penurunan kandungan TPH limbah *sludge* namun pengaruhnya sangat kecil.

Tingginya tingkat degradasi TPH pada perlakuan dapat dipengaruhi oleh faktor penguapan dan kemampuan dari bakteri hidrokarbonoklastik yang ditambahkan dalam mendegradasi senyawa – senyawa hidrokarbon. Atlas (1981) mengemukakan tidak ada individu mikroorganisme yang dapat mendegradasi hidrokarbon secara sempurna. Oleh karena itu, populasi campuran mikroorganisme dengan berbagai macam kapasitas enzimatis diperlukan untuk mendegradasi campuran hidrokarbon yang kompleks seperti minyak bumi. Sugoro (2002), Verania (2002), dan Astuti (2003) menambahkan penambahan kultur campuran akan meningkatkan degradasi minyak bumi. Hal ini disebabkan kultur campuran memiliki kemampuan mendegradasi komponen minyak bumi yang berbeda-beda, sehingga memiliki kemampuan enzimatis yang lebih lengkap dalam mendegradasi minyak bumi.

4. KESIMPULAN

Penambahan bakteri eksogenous berupa bakteri kultur murni *Pseudomonas aeruginosa* memberikan pengaruh terhadap penurunan TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) dengan kondisi optimal dicapai sampel S2 (bakteri 12% + serbuk gergaji 10%) dengan efisiensi degradasi TPH sebesar 48,53%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Antizar-Ladislao, B., Beck, A.J., Spanova, K., Lopez-Real, J., Russell, N.J. 2007. The Influence Of Different Temperature Programmes On The Bioremediation Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Pahs) In A Coal-Tar Contaminated Soil By In vessel Composting. *J. Hazard. Mater.* 144, 340—347.
- Astuti, D, I. 2003. Pemanfaatan Kultur Campuran Isolat Mikroba Lokal Untuk Degradasi Minyak Bumi dan Produksi Biosurfaktan. Disertasi Doktor Institut Teknologi Bandung, Bandung. Atlas.
- Atlas, R. M. 1981. Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon : An Environmental Perspective. *Microbiol. Rev.* 45, 297 – 308.
- Atlas, R. M., and Bartha, R. 1992. *Microbial Ecology*. Benjamin Cummings Science, California.
- 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.
- Davids, J.B. 1967. *Petroleum Microbiology*. Elsevier Publishing Co., Amsterdam.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003. Tata Cara dan Persyaratan Teknik Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis.
- Nugroho, A. 2006. Bioremediasi Oil sludge Minyak Bumi dalam Skala Mikroskopis: Simulasi Sederhana Sebagai Kajian Awal Bioremediasi Land Treatment. *Mukaru Teknologi*, 10(2): 82-89.
- Retno, D.I. Tri dan Nana Mulyana. 2013. Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Menggunakan Campuran *Bulking Agent* yang Diperkaya Konsorsia Mikroba Berbasis Kompos Iradiasi. *Pusat Aplikasi dan Teknologi Isotop dan Radiasi - Batan*.
- Sugoro, I. 2002. Bioremediasi Sludge Limbah Minyak Bumi Lahan Tercemar Dengan Teknik Landfarming Dalam Skala Laboratorium. Tesis Magister Biologi Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sulistyorini, Dr. dan Ir. Munaraw Ali., MT. 2018. Bioremediasi dengan *Pseudomonas putida* terhadap Pencemaran Tanah Minyak Bumi dengan Bioaugmentasi. *Jurnal Envirotek* Vol.10 No.1.
- Thapa, Bijay., Ajay Kumar Kc, Anish Ghimire. 2012. A Review On Bioremediation Of Petroleum Hydrocarbon Contaminants In Soil, *Kathmandu University Journal Of Science, Engineering And Technology*, Vol. 8, No. I, February, 2012, Pp 164-170.
- Vidali, M. 2001. Bioremediation. an overview. *Pure Applied Chem.* 73 (7) pp.63-172.
- Verania, 2002. Pengaruh Variasi Jumlah Bakteri Penghasil Biosurfaktan dan Bakteri Pendegradasi Terhadap Biodegradasi Limbah Minyak Bumi. Tesis Magister Biologi Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Halaman ini sengaja dikosongkan