Diesel Oil Degradation Potential of Hydrocarbonoclastic Bacteria In Tanjung Perak Port Area

Potensi Degradasi Minyak Solar oleh Bakteri Hidrokarbonoklastik di Perairan Pelabuhan Tanjung Perak

Ika Nurjanah, Mauludiyah, Misbakhul Munir

Marine Science Program, Science and Technology of Faculty, UIN Sunan Ampel Surabaya
ikanur300596@gmail.com

ABSTRACT

The high traffic density at the Port of Tanjung Perak in Surabaya can cause new problems, namely increasing the capacity of diesel oil refilling on ships so that the volume of oily waste tends to increase. The alternative to handle it correctly and not disturb the environment is by using bacteria that can degrade diesel oil. The purpose of this study was to determine the bacteria that have the potential to degrade diesel oil in the port of Tanjung Perak and be able to determine the ability of these bacterial isolates to degrade it. This study uses an observational methods in the laboratory for the isolation of oil degrading bacteria, bacterial observation characteristics, and diesel oil biodegradation tests. The results showed that in the waters of the port of Tanjung Perak obtained seven isolates of diesel oil degrading bacteria. Five isolates were found at Station 1, an area where the potential for diesel oil pollution is higher, including *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, and *Citrobacter*. Two other isolates, namely the genus *Bacillus* and *Klebsiella*, were obtained from Station 2. The result of the identification of bacteria that can significantly degrade diesel oil is a consortium (mixed isolates in the genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter* and *Citrobacter*) with a percentage of biodegradation of 94.57%. In a single isolate, Station 1 which has the highest percentage of biodegradation is the genus *Pseudomonas* and *Bacillus* with the percentage of biodegradation of 91.94% and 89.99%, respectively. At Station 2, the degrading bacteria that had the highest percentage were the genus *Bacillus* with a percentage of 88.61%.

Keywords: Biodegradation, Diesel Oil, Isolat Hydrocarbonoclastic Bacteria, Port of Tanjung Perak

ABSTRAK

Tingginya kepadatan trafik di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dapat menimbulkan masalah baru yaitu peningkatan kapasitas pengisian minyak solar pada kapal sehingga mengakibatkan volume buangan yang mengandung minyak (oily waste) cenderung meningkat. Alternatif penanggulangan secara tepat dan tidak mengganggu lingkungan yaitu dengan cara menggunakan bakteri yang mampu mendegradasi minyak solar. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui bakteri yang berpotensi mendegradasi minyak solar di pelabuhan Tanjung Perak dan dapat mengetahui kemampuan isolat bakteri tersebut dalam mendegradasi minyak solar. Penelitian ini menggunakan observasi di laboratorium untuk isolasi bakteri pendegradasi minyak, karakterisasi pengamatan bakteri, dan uji biodegradasi minyak solar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perairan pelabuhan Tanjung Perak diperoleh tujuh isolat bakteri pendegradasi minyak solar. Lima isolat terdapat pada Stasiun 1, area dimana potensi pencemaran minyak solar lebih tinggi, yaitu genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, dan *Citrobacter*. Dua isolat lainnya yaitu genus *Bacillus* dan *Klebsiella* diperoleh dari Stasiun 2. Hasil identifikasi bakteri yang mampu mendegradasi minyak solar secara signifikan adalah konsorsium (isolat campuran pada genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter* dan *Citrobacter*) dengan persentase biodegradasi sebesar 94,57%. Pada isolat tunggal, pada Stasiun 1 yang memiliki persentase biodegradasi tertinggi adalah genus *Pseudomonas* dan *Bacillus* dengan persentase biodegradasi masing – masing sebesar 91,94 % dan 89,99%. Pada Stasiun 2, bakteri pendegradasi yang memiliki persentase tertinggi adalah genus *Bacillus* dengan persentase 88,61 %.

Kata kunci: biodegradasi, minyak solar, bakteri hidrokarbonoklastik, Pelabuhan Tanjung Perak

PENDAHULUAN

Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya merupakan pelabuhan yang memiliki trafik yang cukup padat. Dilansir dari trans.com (2017), data tahun 2015 menunjukkan

terdapat kapal luar negeri sebanyak 1.781 unit dengan volume 34,9 juta GT sedangkan kapal dalam negeri sebanyak 11.671 unit dengan jumlah berat volume 42,1 juta GT. Tahun 2016 mengalami kenaikan trafik pada kapal

luar negeri sebanyak 2.009 unit dengan total volume angkutan 40,6 juta GT, dan pada kapal lingkup dalam negeri meningkat menjadi 12.482 unit dengan berat volume 51,9 GT.

Tingginya kepadatan trafik di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dapat menimbulkan masalah baru yaitu peningkatan kapasitas pengisian minyak (bunkering) pada kapal dan mengakibatkan volume buangan yang mengandung minyak (oily waste) cenderung meningkat. Kondisi pada sekitar perairan tersebut diperparah dengan aktivitas tumpahan minyak. Pada kondisi over kapasitas, maka akan berpotensi rawannya kecelakaan pelayaran. Pencemaran minyak tersebut akan dapat merusak kualitas perairan serta biota yang ada pada badan perairan.

Penanggulangan pencemaran minyak secara garis besar dapat dilakukan dengan berbagai cara baik secara fisik, kimiawi, maupun biologis^[1]. Alternatif teknologi penanggulangan pencemaran minyak secara biologis adalah teknik bioremediasi. Bioremediasi yaitu proses pemulihan suatu wilayah seperti tanah, air, atau pantai yang tercemar dengan memanfaatkan bakteri hidrokarbonoklastik^[2].

Menurut Nugroho (2007)^[3], bakteri hidrokarbonoklastik merupakan bakteri yang memiliki kemampuan senyawa hidrokarbon untuk keperluan metabolisme dan perkembangannya. Kelompok bakteri hidrokarbonoklastik merupakan kelompok bakteri yang mudah beradaptasi dengan lingkungan, sehingga dapat menggunakan residu minyak bumi sebagai sumber karbon dan energi^[4].

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui bakteri yang berpotensi mendegradasi minyak solar di Pelabuhan Tanjung Perak dan kemampuan isolat bakteri tersebut dalam mendegradasi minyak solar.

METODE PENELITIAN

Pengambilan Sampel

Sampel air laut diambil dengan metode purposive sampling pada dua stasiun di perairan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Pengambilan sampel air laut dilakukan pada Stasiun 1 di area Pelabuhan Dermaga Jamrud Utara dengan titik koordinat 7o11'55,45" LS – 112o43'26,95" BT. Lokasi ini merupakan pelabuhan bongkar muat barang dan pernah mengalami tumpahan minyak solar. Stasiun 2 adalah area Terminal Gapura Surya Nusantara dengan titik koordinat 7o11'50,08" LS – 112o 43' 55, 50" BT. Lokasi ini merupakan terminal penumpang dan terdapat aktivitas pembuangan sisa bahan bakar kapal. Titik pengambilan sampel penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Sampel air laut diambil dengan cara memegang botol bagian bawah yang telah disterilkan dan mencelupkan botol tersebut 20 cm di bawah permukaan air laut dengan posisi botol berlawanan dengan arah aliran air. Botol sampel kemudian diberi label dan disimpan di kotak es yang selanjutnya akan dianalisis di Laboratorium Mikrobiologi UIN Sunan Ampel Surabaya.

Sterilisasi Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian terlebih dahulu dicuci dan dikeringkan. Alat yang telah bersih kemudian dibungkus dengan kertas pembungkus lalu dimasukkan ke dalam uap tahan panas. Langkah selanjutnya melakukan sterilisasi uap pada alat menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C dengan tekanan 1 atm selama 15 menit.

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Pembuatan Media

Media yang digunakan dalam isolasi dan uji pendegradasi minyak solar adalah Stone Mineral Salt Solution Extract Yeast (SMSSe). Pembuatan media SMSSe pada pertumbuhan bakteri terdiri dari 0,5 gram CaCO_3 ; 0,25 gram NH_4NO_3 ; 0,1 gram $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,05 gram KH_2PO_4 ; 0,05 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,02 gram $\text{MnCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan ditambahkan ekstrak ragi sebanyak 0,01% (b/v) atau setara dengan 0,02 gram yang dilarutkan dalam 200 ml aquades steril. Sedangkan untuk media padat SMSSe ditambahkan 2% bacto agar sebagai bahan pematat pada media. Dalam media tersebut ditambahkan minyak solar sebagai media selektif sebanyak 2% (b/v) serta sebagai sumber karbon dan pH media tersebut sampai mencapai nilai 6,8 – 7^[5]. Masing – masing media yang telah disiapkan selanjutnya disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 1 atm dengan waktu selama 15 menit.

Uji kemampuan isolat bakteri dalam mendegradasi minyak solar

Pada tahap isolasi dilakukan pengenceran sampel dengan cara memasukkan sampel air laut sebesar 2% (b/v) ke dalam media SMSSe cair yang mengandung minyak solar 2% (b/v) dan diinkubasi pada suhu ruang dengan menggunakan incubator shaker pada kecepatan 120 rpm selama 3 hari^[5]. Untuk keperluan isolasi, selanjutnya sampel diambil sebanyak 1 ml untuk pengenceran dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang telah ditambahkan 9 ml aquades steril lalu dihomogenkan dengan menggunakan vortex.

Masing-masing dari pengenceran terakhir 10-3, 10-4, 10-5 dengan air laut steril, diambil sebanyak 0,1 ml lalu ditumbuhkan di atas lempeng media SMSSe yang mengandung minyak solar 2% (b/v) serta ditambahkan 2% bacto agar sebagai bahan pematat dengan metode cawan sebar dengan menggunakan L glass, selanjutnya diinkubasi pada suhu 35oC selama 24 jam^[6]. Bakteri yang tumbuh lalu dimurnikan kembali berdasarkan karakteristik morfologi yang sama dengan metode goresan pada lempeng media SMSSe dan ditambahkan dengan bacto agar untuk didapatkan hasil koloni tunggal.

Hasil isolat yang telah didapatkan selanjutnya diidentifikasi dengan menggunakan pengamatan makroskopik, mikroskopik dan uji biokimia dengan menggunakan buku Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Eight Edition^[7].

Biakan bakteri yang telah dimurnikan dari media selektif SMSSe digunakan dalam pengujian dan dibuat dalam bentuk suspensi. Jarum ose steril digunakan untuk mengambil sekitar 1-2 ose biakan murni, selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung reaksi steril yang telah berisi larutan NaCl fisiologis/ NaCl 0,85%. Biakan dan larutan tersebut kemudian dihomogenkan. Selanjutnya kekeruhan campuran tersebut dibandingkan dengan kekeruhan Mac Farland 0,5 standard.

Setiap suspensi yang digunakan untuk pengujian selanjutnya diambil sebanyak 1 ml dan ditambahkan ke dalam media SMSSe cair (150 ml) yang telah mengandung minyak solar sebesar 2% (3 ml) secara terpisah^[5]. Kultur diinkubasi pada suhu ruang dan diaduk di atas inkubasi shaker dengan kecepatan 120 rpm selama 24 jam untuk menjaga agar proses berlangsung secara aerob^[6]. Selanjutnya dilakukan analisis kadar minyak solar yang tersisa dan estimasi kepadatan bakteri selama 7 x 24 jam.

Selama masa inkubasi, dilakukan pengamatan pertumbuhan kultur bakteri murni pada media SMSSe cair yang mengandung minyak solar serta kultur bakteri murni pada media SMSSe cair tanpa minyak solar dan diukur berdasarkan kerapatan optik (OD) dengan panjang gelombang 620 nm setiap 24 jam^[8]. Selanjutnya kultur bakteri murni dibuat duplo untuk pembuatan kurva pertumbuhan bakteri dan uji biodegradasi bakteri^[5].

Analisis Gravimetri

Media SMSSe cair yang mengandung minyak solar 2% (b/v) dari uji kemampuan bakteri murni dalam mendegradasi minyak solar dimasukkan ke dalam corong pisah. Media cair pada corong pisah tersebut selanjutnya ditambahkan 5 ml HCl 3 N hingga nilai pada media memiliki pH 2^[9], kemudian ditambahkan pelarut sebesar 30 ml kloroform. Selanjutnya corong pisah dikocok dengan kuat selama 2 menit (dengan sekali-kali tutup pada corong pisah dibuka untuk mengeluarkan gas yang terbentuk). Setelah 2 menit, didiamkan corong pisah sampai terbentuk 2 lapisan memisah dan stabil, dan keluarkan lapisan air (SNI, 06-6989.10-2004).

Lapisan kloroform dan minyak solar dari corong pisah dikeluarkan dan disaring dengan kertas saring yang telah diolesi 0,5 gram Na₂SO₄ ke dalam gelas beaker yang

telah sebelumnya telah ditimbang. Kemudian gelas beaker berisi kloroform dan minyak dipanaskan pada suhu 60°C (sesuai titik didih kloroform) sampai kloroform habis, airnya habis menguap dan yang tersisa hanya minyak^[10]. Selanjutnya gelas beaker yang berisi minyak tersebut diangkat dan didiamkan sampai dingin lalu ditimbang dan dicatat beratnya. Berdasarkan rumus SNI 06 6989.10-2004 kadar minyak dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Kadar Minyak (mg/L)} = \left(\frac{A-B}{\text{mL contoh uji}} \times 1000 \right)$$

Ket: A = Berat labu + ekstrak (mg)

B = Berat labu kosong (mg)

Menurut Herdiantoro (2005)^[11], rumus untuk menentukan persentase biodegradasi minyak bumi yang terjadi dapat diketahui dengan cara :

$$\%B = \frac{B_{mo} - B_{mn}}{B_{mo}} \times 100$$

Ket : %B = Persentase Biodegradasi

B_{mo} = Bobot minyak bumi awal (g)

B_{mn} = Bobot minyak bumi akhir (g)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar di Pelabuhan Tanjung Perak

Penggunaan bakteri indigenous, bakteri yang berasal dari lokasi terjadinya pencemaran, untuk mendegradasi minyak di lingkungan yang tercemar lebih direkomendasikan. Bakteri dari perairan Pelabuhan Tanjung Perak ditemukan dalam bentuk populasi mikroba campuran. Bakteri yang berpotensi mendegradasi minyak dapat dikultur dengan menggunakan media selektif. Penggunaan media tersebut untuk menumbuhkan bakteri tertentu dan menghambat pertumbuhan bakteri lain (bakteri non target). Media selektif yang digunakan untuk menumbuhkan media bakteri pendegradasi minyak solar pada penelitian ini menggunakan media Stone Mineral Salt Solution Extract Yeast (SMSSe).

Tabel 1. Hasil pengamatan makroskopik, mikroskopik, dan uji biokimia bakteri pendegradasi minyak dari Perairan Pelabuhan Tanjung Perak pada Stasiun 1

Pengamatan	Karakteristik	Sampel I. Kode Isolat				
		SI.1	SI.2	SI.3	SI.4	SI.5
Makroskopik	Ukuran Koloni	Sedang	Kecil	Sedang	Sedang	Kecil
	Bentuk Koloni	Circular	Circular	Circular	Irregular	Circular
	Tepi Koloni	Serrate	Entire	Entire	Undulate	Entire
	Warna Koloni	Putih	Putih	Putih	Putih	Putih
	Elevasi Koloni	Raised	Raised	Convex	Raised	Raised
Mikroskopik	Pewarnaan Gram	-	+	-	-	-
	Bentuk Sel	<i>Streptobacil</i>	<i>Diplococcus</i>	<i>Streptobacil</i>	<i>Streptobacil</i>	<i>Monobacil</i>
Uji Biokimia	Uji TSIA	-/-	-/-	-/+	-/+	-/+
	Uji SCA	+	+	+	+	+
	Uji Nutrien					
	Gelatin	+	+	+	+	+
Genus		<i>Pseudomonas</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Enterobacter</i>	<i>Citrobacter</i>

Hasil isolasi yang telah dilakukan menunjukkan terdapat lima isolat bakteri dari Stasiun 1 dan dua isolat

bakteri yang diperoleh dari Stasiun 2. Banyaknya isolat yang berasal dari Stasiun 1 dikarenakan volume buangan

yang mengandung minyak (oil waste) cenderung meningkat sehingga potensi pencemaran minyak pada lokasi tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan Stasiun 2. Hal ini bersumber dari banyaknya aktifitas kapal yang ada di Pelabuhan Dermaga Jamrud Utara. Dilansir dari www.pelindo.co.id, bahwa menurut Kahumas Pelindo III Tanjung Perak, kenaikan paling tinggi berasal dari bongkar muat barang naik sekitar 31 % sedangkan pada Terminal Gapura Surya Nusantara naik sekitar 2% di tahun 2017. Selanjutnya, morfologi bakteri hidrokarbonoklastik pada perairan Pelabuhan Tanjung Perak dari hasil identifikasi secara makroskopik, mikroskopik dan uji biokimia adalah bakteri dari Genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* (Tabel 1 dan 2).

Tabel 2. Hasil pengamatan makroskopik, mikroskopik, dan uji biokimia bakteri pendegradasi minyak dari Perairan Pelabuhan Tanjung Perak pada Stasiun 2

Pengamatan	Karakteristik	Sampel II.Kode Isolat	
		SII.1	SII.2
Makroskopik	Ukuran Koloni	Kecil	Sedang
	Bentuk Koloni	<i>Circular</i>	<i>Circular</i>
	Tepi Koloni	<i>Entire</i>	<i>Entire</i>
	Warna Koloni	Putih	Putih
Mikroskopik	Elevasi Koloni	<i>Raised</i>	<i>Convex</i>
	Pewarnaan Gram	+	-
	Bentuk Sel	<i>Diplococcus</i>	<i>Streptobacil</i>
	Uji TSIA	-/-	-/+
Uji Biokimia	Uji SCA	+	+
	Uji Nutrien		
	Gelatin	+	+
Genus		<i>Bacillus</i>	<i>Klebsiella</i>

Keterangan Tabel 1 dan 2

<i>Circular</i>	bulat ber tepi
<i>Irregular</i>	tidak beraturan ber tepi
<i>Entire</i>	rata/utuh
<i>Undulate</i>	keriting
<i>Serrate</i>	bergerigi
<i>Raised</i>	timbul-datar
<i>Convex</i>	timbul-melengkung
<i>Diplococcus</i>	Sel bakteri yang berbentuk bulat yang bergandengan dua dua
<i>Streptobacil</i>	Sel bakteri yang berbentuk batang yang membentuk rantai panjang
TSIA +/+	Lereng kuning/dasar kuning
TSIA -/-	Lereng merah/dasar merah
TSIA -/+	Lereng merah/dasar merah
+	Reaksi positif
-	Reaksi negatif

Biodegradasi Minyak Solar

Berdasarkan hasil pengamatan, bakteri hidrokarbonoklastik dapat tumbuh pada media SMSSe yang ditambahkan minyak solar. Selain isolat tunggal, pada penelitian ini juga digunakan konsorsium. Menurut Jadhav et.al (2008)^[12], konsorsium adalah campuran populasi mikroba dalam bentuk komunitas yang mempunyai

hubungan mutualistik, kooperatif dan komensal. Konsorsium bakteri pada penelitian ini terdiri dari beberapa isolat yaitu *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, dan *Citrobacter*. Isolat-isolat bakteri tersebut memanfaatkan hidrokarbon dari minyak solar sebagai sumber makanannya. Hal tersebut terlihat dari perubahan-perubahan yang teramati sebagai berikut :

1. Warna Media

Menurut Nugroho (2007)^[3], bakteri perombak hidrokarbon akan segera memanfaatkan hidrokarbon setelah komponen ini berada dalam perairan. Batas antara lapisan minyak dan air disebut biofilm, merupakan tempat bakteri biasa hidup. Apabila terjadi perombakan hidrokarbon, secara visual pada media buatan akan terjadi perubahan warna larutan medium. Warna yang terbentuk pada medium minyak yaitu antara kuning hingga jingga tua.

Dari hasil pengamatan selama 7 hari, warna media pada konsorsium, SI.2 (*Bacillus*), SI.3 (*Klebsiella*), isolat bakteri SI.4 (*Enterobacter*), isolat bakteri SI.5 (*Citrobacter*) SII.1(*Bacillus*) dan SII.2 (*Klebsiella*) tidak terlihat perubahan warna yang signifikan pada media SMSSe. Sedangkan pada isolat bakteri SI.1 (*Pseudomonas*) mengalami perubahan warna media menjadi kuning.

Menurut Ristati (2013)^[13], bakteri laut dapat memproduksi pigmen dengan variasi warna. Pigmen tersebut berguna untuk perlindungan bakteri dari sinar matahari dan yang dapat membunuh bakteri. Pigmen tersebut larut dalam air. Adapula bakteri yang tidak menghasilkan pigmen yang larut dalam air.

2. Kekeruhan

Selain perubahan warna pada media, hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa media mengalami perubahan tingkat kekeruhan selama lima hari pengamatan. Pada hari ke-6 dan ke-7, hasil pengamatan menunjukkan tidak terjadi perubahan tingkat kekeruhan. Kekeruhan terjadi karena populasi bakteri pada media tersebut semakin banyak. Kekeruhan pada media yang diinokulasikan bakteri merupakan hasil metabolit-metabolit sekunder hasil perombakan hidrokarbon minyak bumi dan melimpahnya jumlah total sel bakteri^[14].

3. Perubahan pH

Hasil pengamatan juga menunjukkan terjadinya perubahan pH (derajat keasaman) pada media. Pada awal pengamatan media memiliki nilai pH sekitar 7,5. Nilai ini turun menjadi 6 di akhir pengamatan (hari ke-7). Perubahan pH yang terjadi pada media diduga menunjukkan adanya aktivitas bakteri dalam merombak senyawa hidrokarbon. Penurunan nilai pH pada akhir inkubasi disebabkan oleh aktivitas metabolisme isolat bakteri selama proses degradasi hidrokarbon minyak bumi yang membentuk metabolit- metabolit asam^[3].

4. Perubahan minyak solar

Pada awal pengamatan, minyak solar terlihat menyatu dan membentuk lapisan sendiri di permukaan larutan media. Lama-kelamaan lapisan ini pecah menjadi butiran-butiran yang lebih kecil. Pada hari ke-4 butiran-butiran kecil tersebut semakin terlihat di permukaan media. Menurut Tarigan (2010)^[15], terbentuknya butiran-butiran kecil pada permukaan disebabkan oleh adanya biosurfaktan oleh isolat bakteri. Semakin banyak butiran –butiran minyak yang terbentuk menandakan semakin banyak biosurfaktan yang menyelimuti minyak tersebut^[13].

Pertumbuhan Bakteri dalam Mendegradasi Minyak Solar

Setiap bakteri memiliki kurva standar pertumbuhan bakteri. Metode perhitungan dilakukan menggunakan spektrofotometer untuk melihat tingkat kekeruhan (*Optical Density*) yang terbaca melalui nilai absorbansi yang dihasilkan. Pada penelitian ini, panjang gelombang yang akan digunakan yaitu sebesar 620 nm. Panjang gelombang 600 - 625 nm digunakan untuk melihat kekeruhan yang berwarna kuning sampai coklat.

Kurva pertumbuhan bakteri pada Stasiun 1 ditunjukkan pada Gambar 2. Media kultur bakteri dengan penambahan substrat minyak solar memiliki nilai absorbansi yang lebih tinggi dibandingkan pada media kultur bakteri tanpa penambahan substrat minyak solar. Hal ini menunjukkan terjadinya degradasi minyak solar dan penggunaan minyak solar sebagai sumber energi bagi bakteri untuk proses metabolisme sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri. Kelima isolat bakteri pada Stasiun 1 yang memiliki nilai absorbansi paling tinggi adalah bakteri *Pseudomonas* (Gambar 2). Sedangkan pada Stasiun 2, media kultur bakteri *Bacillus* yang memiliki nilai absorbansi paling tinggi (Gambar 3).

Pada media konsorsium dengan substrat minyak solar memiliki nilai absorbansi paling tinggi (Gambar 4) dibandingkan dengan isolat-isolat bakteri. Hal ini menunjukkan penggunaan konsorsium bakteri cenderung memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan penggunaan isolat bakteri karena kerja enzim dari tiap jenis bakteri dapat saling melengkapi untuk dapat bertahan hidup menggunakan sumber nutrisi yang tersedia.

Gambar 2. Kurva pertumbuhan bakteri pada stasiun 1

Gambar 3. Kurva pertumbuhan bakteri pada stasiun 2

Gambar 4. Kurva pertumbuhan konsorsium

Hasil Analisis Kuantitatif Biodegradasi Minyak Solar oleh Bakteri

Hasil pengujian kemampuan isolat bakteri dalam mendegradasi minyak solar ditunjukkan pada Gambar 5 – Gambar 10. Hasil tersebut menunjukkan penurunan kadar minyak yang bervariasi. Seluruh isolat pada Stasiun 1 menunjukkan kemampuan dalam mendegradasi minyak solar, dengan tingkat yang berbeda. Sebelum dimasukkan isolat, kadar minyak solar pada seluruh media SMSSe yaitu sebesar 17,238 mg/L. Bakteri dengan genus *Pseudomonas* memiliki kemampuan yang paling besar dalam mendegradasi minyak solar, yaitu hingga 91.94% (Gambar 6).

Gambar 5. Degradasi minyak solar dengan penambahan berbagai isolat pada stasiun 1

Menurut Harayama et.al (1995)^[4], genus *Pseudomonas* merupakan salah satu kelompok bakteri yang memiliki kemampuan yang tinggi dalam mendegradasi minyak bumi. Bakteri ini memiliki kemampuan mendegradasi fraksi alifatik, aromatik dan resin, dimana *Pseudomonas* dapat memiliki kemampuan dalam mendegradasi dari komponen keseluruhan jenis produk

minyak dari yang mudah terdegradasi hingga sulit terdegradasi.

Bakteri pendegradasi minyak solar pada Stasiun 1 selanjutnya adalah genus *Bacillus* dengan persentase degradasi minyak sebesar 89,99%, diikuti dengan *Klebsiella*, *Enterobacter*, dan *Citrobacter* dengan masing-masing persentase sebesar 67,99%, 66,17 %, dan 56,85% (Gambar 6).

Gambar 6. Diagram presentase biodegradasi minyak solar pada bakteri stasiun 1

Selanjutnya, hasil penelitian menunjukkan bahwa genus *Bacillus* memiliki kemampuan yang paling baik dalam menurunkan kadar minyak solar pada Stasiun 2 (Gambar 7). Hal ini terlihat dengan kadar minyak solar yang lebih rendah dibandingkan dengan isolat *Klebsiella*. Genus *Bacillus* mampu mendegradasi minyak sebesar 88,61% dibandingkan dengan *Klebsiella* yang memiliki persentase sebesar 67,49% (Gambar 8). Penurunan kadar minyak solar tersebut disebabkan karena bakteri menggunakan minyak solar sebagai sumber karbon dan energi untuk aktivitas dan pertumbuhannya^[16].

Gambar 7. Degradasi Minyak Solar dengan Penambahan Berbagai Isolat pada Stasiun 2

Proses biodegradasi senyawa hidrokarbon oleh isolat bakteri sangat bergantung pada komposisi komunitas dan respon adaptif terhadap kehadiran hidrokarbon^[17]. Isolat pendegradasi minyak solar di perairan Pelabuhan Tanjung Perak ditemukan dengan genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, dan *Citrobacter*. Menurut Nugroho (2006)^[3], bakteri-bakteri tersebut adalah kelompok senyawa alkana yang memiliki kemampuan

dalam mendegradasi fraksi alifatik. Menurut Siregar (2009)^[18] alkana merupakan komponen terbesar dalam minyak solar (76%) sehingga mudah didegradasi oleh bakteri karena memiliki rantai karbon lurus.

Gambar 8. Diagram Persentase Biodegradasi Minyak Solar pada Bakteri Stasiun 2

Masih menurut Siregar (2009)^[18], mikroba mendegradasi minyak dengan cara mengeluarkan enzim yang mampu memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Bakteri mendegradasi minyak solar dengan cara mengoksidasi substrat hidrokarbon dengan menggunakan enzim monooksigenase yang mengoksidasi n-alkana menjadi alkohol. Selanjutnya alkohol dioksidasi menjadi aldehid kemudian dihidroksilasi menjadi asam lemak. Hasil akhir tersebut asam lemak kemudian ke jalur β oksidasi yang akan memecah dua fragmen atom karbon yang berurutan^[19].

Gambar 9. Degradasi Minyak Solar dengan Konsorsium

Kadar minyak solar dapat didegradasi secara signifikan oleh konsorsium (campuran isolat-isolat bakteri) hingga menjadi 16,302 mg/L (Gambar 9), dari minyak awal yang memiliki berat sebesar 17,238 mg/L, dengan persentase degradasi minyak solar sebesar 94,57% (Gambar 10).

Konsorsium merupakan pendegradasi minyak solar paling tinggi dibandingkan dengan isolat-isolat tunggal lainnya. Menurut Zhu et.al (2001)^[20], biodegradasi minyak bumi secara alamiah tidak hanya didegradasi oleh satu isolat bakteri, namun melibatkan beberapa isolat bakteri (konsorsium). Dengan adanya isolat campuran tersebut maka degradasi hidrokarbon akan menjadi lebih

efektif. Jumlah bakteri yang cukup akan menghasilkan enzim yang bervariasi dalam mendegradasi minyak secara cepat dibandingkan dengan isolat bakteri tunggal^[3].

Gambar 10. Diagram Persentase Biodegradasi Minyak Solar pada Konsorsium

KESIMPULAN

Pada perairan di area Pelabuhan Tanjung Perak diperoleh tujuh isolat bakteri pendegradasi minyak solar, dimana lima isolat terdapat pada Stasiun 1 yang mempunyai potensi pencemaran minyak solar lebih tinggi. Kelima isolat tersebut yaitu genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, dan *Citrobacter*. Dua isolat yaitu genus *Bacillus* dan *Klebsiella* diperoleh dari Stasiun 2.

Seluruh isolat mampu mendegradasi minyak solar dengan baik. Hasil identifikasi bakteri yang mampu mendegradasi minyak solar secara signifikan adalah konsorsium (isolat campuran pada genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter* dan *Citrobacter*) dengan persentase biodegradasi sebesar 94.57%. Untuk isolat tunggal, pada Stasiun 1 yang memiliki persentase biodegradasi tertinggi adalah genus *Pseudomonas* dan *Bacillus* dengan persentase biodegradasi masing – masing sebesar 91.94% dan 89.99%. Sedangkan pada Stasiun 2, bakteri pendegradasi yang memiliki persentase tertinggi adalah genus *Bacillus* dengan persentase 88.61%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Udiharto, M. 1996. Bioremediasi Minyak Bumi. Prosiding Pelatihan dan Lokakarya. Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan. Cibinong 24-28 Juni 1996. LIPI-BPPT-HSF.
- [2] Mangkoedihardjo S. 2005. Seleksi Teknologi Pemulihan untuk Ekosistem Laut Tercemar Minyak. Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan ITS, Surabaya. p. 1-9.
- [3] Nugroho, Astri. 2007. Dinamika Populasi Konsorsium Bakteri Hidrokarbonoklastik : Studi Kasus Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi Skala Laboratorium. Jurnal Ilmu Dasar. Vol.8 No.1, 2007:13-23.
- [4] Harayama, S., H. Kishira., Y. Kasai & K. Shutsubo. 1999. Petroleum Biodegradation In Marine Environments. Marine Biotechnology Institute 1 (1) :63-70.
- [5] Nababan, B. 2008. Isolasi dan Uji Potensi Bakteri Pendegradasi Minyak Solar dari Laut Belawan. Tesis. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [6] Andina, Fika. 2014. Biodegradasi Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) dengan Bakteri Penghasil Biosurfaktan Asal Air Laut dan Sedimen Pantai Karangsang Kabupaten Indramayu Jawa Barat. Skripsi. Universitas Padjadjaran Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Program Studi Ilmu Kelautan Jatinangor.
- [7] R.E. Bunchanan dan N.E. Gibbons. 1974. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Eight Edition.
- [8] Ismail, Hadija Enryani, Nursia La Nafie, dan Seniwati Dali. 2015. Isolasi Bakteri Pendegradasi Senyawa Piren dari Perairan Pelabuhan Paotere. Jurnal Techno Vol.04 No.02. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- [9] Greenberg, E. A., Clescert, S. L., and Eaton, D. A. 1992. Examination of Water and Wastewater. Standard Methods 18th Edition. 412-418. Washington : American Public Health Association.
- [10] APHA. 1981. Standart and Methoda. 7th Edition. California: Cumming Publishing Company Inc.
- [11] Herdiyantoro, D. 2005. Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi oleh *Bacillus* sp. Galur ICBB 7859 dan ICBB 7865 dari Ekosistem Air Hitam Kalimantan Tengah dengan Penambahan Surfaktan. Tesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- [12] Jadhav, S.U., Jadhav, U.U., Dawkar, V.V., dan Govindwar, S.P. 2008. Biodegradation of Disperse Dye Brown 3REL by Microbial Consortium of *Galactomyces geotrichum* TCC 1360 and *Bacillus* sp. VUS. Biotechnology and Bioprocess Engineering. Vol 13. pp 232-239.
- [13] Ristiati, Ni Putu. 2013. Uji Kemampuan isolat Bakteri Pendegradasi Minyak Solar Terhadap Limbah Oli dari Perairan Pelabuhan Celukan Bawang. Jurusan Pendidikan Biologi FMIPA Undiksha Singaraja. Bali.
- [14] Astuti, Dwi. 2012. Pengaruh Variasi Jumlah Inokulum Konsorsium Bakteri Terhadap degradasi Hidrokarbon Minyak Bumi. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Program Studi Biologi. Universitas Indonesia. Depok.
- [15] Tarigan, Joko Gitoyo. 2010. Biodegradasi Limbah Minyak Berat Menggunakan Isolat Tunggal Dan Campuran Dengan Tambahan Alkilbenzena Sulfonat Linear. Skripsi. Departemen Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [16] Feliatra. 2001. Buku Ajar Mikrobiologi Laut. Pusat Penelitian Kawasan Pantai dan Perairan. Universitas Riau. Pekanbaru.
- [17] Leahy, J.G. dan R.R. Colwell. 1990. Microbial Degradation of Hydrocarbons in the Environments : Microbiological Reviews 54 (3), 305-315
- [18] Siregar, Sri Rahmawaty. 2009. Isolasi dan Uji Potensi Khamir Pendegradasi Minyak Solar dari Air Laut Belawan. Tesis. Pascasarjana Universitas Sumatera Utara. Medan.

- [19] Hajar,Dachniar.2012. Isolasi, Identifikasi dan Analisis Kemampuan Degradasi Hidrokarbon Bakteri Tanah Sampel B, Cilegon, Banten. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Departemen Biologi.Universitas Indonesia. Depok.
- [20] Zhu, X., A. D. Venosa., M. T. Suidan dan K. Lee. 2001. Guidelines for Bioremediation of Marine Shorelines and Freshwater Wetlands. Cincinnati, OH 45268.