

UJI KEMAMPUAN KONSORSIUM BAKTERI HIDROKARBONOKLAS- TIK SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI

Dwi Hardestyari^{1*}, Bambang Yudono² dan Munawar¹

^{1*}Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sriwijaya

²Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya

*Corresponding author

E-mail address: dhardestyari@gmail.com (Dwi Hardestyari); yudonob@hotmail.com (Bambang Yudono)

Peer review di bawah tanggung jawab Departemen Biologi Universitas Sriwijaya

Abstract (English):

This study aims to obtain rhizosphere bacteria as a potential agent of bioremediation. The method of sampling the plant rhizosphere by purposive sampling. Soil samples were taken from around the rhizosphere of plants that live in soil contaminated oil. Bacteria were isolated from the rhizosphere soil samples, then they were selected into steps : performed purification, selection I and selection II. The results showed that there were as many as 34 rhizosphere bacterial isolates were collected from three different sampling locations. Fourth isolates of bacteria which had good ability in bioremediation were obtained, namely isolate A.4.10; A.6.3; C.6.7; and A.5.8. The mixed cultures of the four bacterial isolates are known to be used as bioremediation agents which can be seen from the increase in bacterial population, the percentage of Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) degradation, and the increase in CO₂ levels in the bioremediation process.

Keywords: bioremediation, rhizosphere, TPH

Abstrak (Indonesia)

Penelitian ini bertujuan untuk mencapatakan bakteri rizosfer yang berpotensi sebagai agen bioremediasi. Pengambilan sampel pada rizosfer tanaman digunakan metode purposive sampling. Sampel tanah di ambil dari sekitar rizosfer tanaman yang tumbuh di tanah yang terkontaminasi oleh minyak. Bakteri di isolasi dari sampel tanah di sekitar rizosfer, yang kemudian dilakukan seleksi dengan langkah-langkah yaitu dilakukan pemurnian, seleksi tahap 1 dan seleksi tahap 2. Hasil dari penelitian ini didapatkan sebanyak 34 bakteri yang di isolasi dari 3 lokasi sampling yang berbeda. Dari keseluruhan bakteri diperoleh 4 isolat bakteri yang memiliki kemampuan baik dalam bioremediasi, yaitu isolat A.4.10 ; A.6.3 ; C.6.7; dan A.5.8. Kultur campur keempat isolat bakteri tersebut diketahui dapat dijadikan sebagai agen bioremediasi yang dapat dilihat dari peningkatan populasi bakteri, persentase degradasi TPH, dan peningkatan kadar CO₂ dalam proses bioremediasi,

Kata Kunci : bioremediasi, rizosfer, TPH

Diterima: , Disetujui: 19 Maret 2020

1. Pendahuluan

Kegiatan penambangan minyak secara tradisional memberikan perubahan terhadap kondisi sosial maupun lingkungan masyarakat. Mata pencaharian masyarakat di desa menjadi meningkat karena adanya pekerjaan melalui pengeboran di sumur-sumur minyak, perekonomian masyarakat terbantuan karena adanya lapangan kerja baru yang sangat mendukung dalam meningkatkan pendapatan masyarakat dan pengangguran di desa. Sementara itu

dampak lingkungan oleh minyak bumi dapat terjadi karena kecerobohan manusia, baik sengaja maupun tidak di sengaja. Pencemaran minyak bumi di tanah merupakan ancaman yang serius bagi kesehatan manusia. Minyak bumi yang mencemari tanah dapat mencapai lokasi air tanah sehingga menjadi masalah serius bagi daerah yang mengandalkan air tanah sebagai sumber utama kebutuhan air bersih atau air minum [1].

Pencemaran minyak bumi dapat berupa tumpahan atau ceceran minyak yang berasal dari penambangan di

sumur minyak. Pencemaran minyak tersebut dapat menimbulkan dampak yang negatif bagi lingkungan disekitarnya [2]. Degradasi lingkungan yang terjadi di sekitar area penambangan tersebut meliputi perubahan sifat fisik dan kimia tanah. Hal ini akan menyebabkan penurunan drastis pada kelimpahan spesies baik flora, fauna serta mikroorganisme tanah.

Penanganan kondisi lingkungan yang tercemari minyak bumi dapat dilakukan secara fisika, kimia dan biologi. Salah satu metode alternatif pengolahan limbah minyak bumi dengan metode biologi dapat dilakukan menggunakan metode bioremediasi [3]. Bioremediasi adalah proses penguraian limbah (pencemar) menggunakan agen biologis (mikroba) yang dilakukan dalam kondisi terkendali. Biodegradasi polutan dalam proses bioremediasi merupakan proses yang kompleks dan sangat bergantung pada kondisi lingkungan, jumlah polutan serta komposisi komunitas mikroba lokal (*indigenous*) di tempat tersebut [4].

Pada rhizosfer yang tercemar minyak dapat dilakukan pengamatan terhadap bakteri-bakteri yang mempunyai potensi dalam mendegradasi minyak. Hal ini dikarenakan, rhizosfer mampu meningkatkan aktivitas enzimatik dan populasi bakteri. Pertumbuhan mikroba di perakaran akan naik 2 kali lipat dan adanya jenis mikroba yang lebih efektif dalam mendegradasi polutan, khususnya di daerah yang tercemar hidrokarbon [5]. Di sekitar rhizosfer tanaman legum yang tumbuh pada tanah tercemar minyak ditemukan beberapa jenis bakteri. Hasil penelitian menunjukkan, bahwa dari hasil karakterisasi dan identifikasi, didapatkan isolat bakteri dari jenis gram positif yaitu *Rhodococcus*, *Bacillus* dan *Arthrobacter*, sedangkan bakteri gram negatif adalah *Pseudomonas* [6].

Mikroba yang bekerja dalam proses biodegradasi di tanah tercemar minyak terdiri atas beberapa jenis mikroba yang bekerja saling sinergis. Untuk mendapatkan jenis-jenis mikroba tersebut, tahap awal yang harus dilakukan adalah mengisolasi mikroba indigen di sekitar rhizosfer tanaman yang hidup disekitar tanah tercemar minyak bumi. Pada penelitian ini dilakukan isolasi bakteri indigen yang berperan sebagai agen bioremediasi dan pengujian kemampuan bakteri indigen dalam menurunkan kadar TPH (*total petroleum hydrocarbon*) minyak yang bersumber dari sumur minyak di Desa Sungai Angit, Kecamatan Babat Toman. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium yang merupakan langkah awal untuk mengetahui potensi konsorsium bakteri hidrokarbonoklastik sebelum di aplikasikan di lapangan. Mengingat kompleksitas senyawa hidrokarbon yang menjadi penyusun minyak bumi, maka perlu dikembangkan formulasi konsorsium mikroba yang tepat untuk mendegradasi cemaran minyak bumi.

Mikroorganisme yang berperan utama dalam mendegradasi minyak adalah dari jenis bakteri dan jamur tertentu yang terdapat di alam. Tetapi, tidak semua

mikroba dapat mendegradasi minyak, maka banyak upaya yang perlu dilakukan untuk mengisolasi mikroba terutama dari kawasan tercemar minyak. Pada lingkungan yang tercemar minyak, beberapa jenis mikroba setempat tumbuh dan beradaptasi dengan lingkungan yang tercemar. Mikroba yang diisolasi dari tempat yang tercemar minyak memiliki kemampuan tinggi dalam mendegradasi minyak [2].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

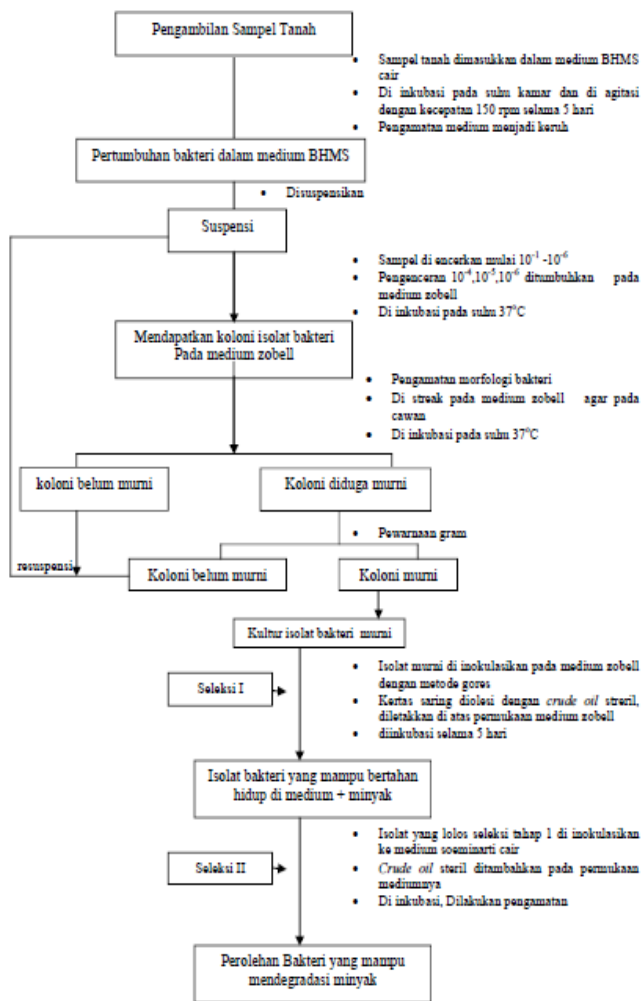
Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah autoclave, bilik hitung, botol vial, bunsen, buret, cawan petri, colony counter, corong pemisah, erlenmeyer, gelas ukur, hot plate, inkubator, jarum ose, kaca penutup, magnetik stirrer, pipet serologis, pipet tetes, shaker, spatula, tabung reaksi dan timbangan. Sedangkan bahan-bahan yang diperlukan yaitu alkohol, aquades, garam fisiologis, medium uji yaitu medium *Bushnell-Hass Mineral Salt* (BHMS) cair sebagai medium pengayaan, medium Soemnarti cair sebagai medium seleksi tahap II, medium Zobell agar sebagai medium isolasi, pemurnian dan seleksi tahap I, medium *Sulfide-Indol-Motility* (SIM) agar, medium *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), medium Indol, Medium *Simon's Citrate Nutrient Agar*, Medium MR-VP, *Nutrient Agar* (NA), *Nutrient Broth* (NB), *Nutrient Gelatin*, Agar Pati, *Urease Broth*, Medium MR-VP, Phenol ptalin, reagen karakterisasi (Barrit's A & B, H₂O₂ 3%, Iodine, kovac's dan metil merah), sampel tanah, dan spritus.

2.2. Pengambilan Sampel Tanah Rhizosfer

Sampel yang digunakan sebagai sumber isolat diambil dari rhizosfer tanaman dominan di sekitar sumur minyak. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 4 titik perakaran rizosfer. Sebanyak 0,5-1 kg sampel tanah dari masing-masing titik pengambilan dikompositkan. Sampel tanah diambil dari jarak yang paling dekat dengan akar tanaman yaitu pada kedalaman 15 cm [7].

2.3. Tahap Pengayaan

Sampel tanah dari rizosfer tanaman diambil sebanyak 5 g, kemudian dimasukkan ke dalam erlemeyer yang berisi 45 ml BHMS cair, selanjutnya diinkubasi pada suhu kamar dan diagitasi dengan kecepatan 150 rpm selama 5 hari atau sampai menunjukkan pertumbuhan yang dicirikan campuran limbah dan medium BHMS berubah menjadi keruh [8]. Tahapan selanjutnya untuk mendapatkan isolat bakteri hidrokarbonoklastik ialah dilakukan isolasi, pemurnian, seleksi I dan seleksi II yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Tahap Isolasi, Pemurnian, dan Seleksi Bakteri

2.4. Pembuatan Konsorsium Bakteri

Masing-masing isolat bakteri yang terpilih, ditentukan kurva pertumbuhannya. Penentuan kurva pertumbuhan dilakukan dengan cara menginokulasikan masing-masing isolat bakteri dengan kepadatan 10^8 sebanyak 1 ml pada 50 ml mineral medium dan *crude oil* sebanyak 2 %. Kultur di inkubasi pada suhu ruang dan dihitung jumlah sel masing-masing bakteri setiap 3 jam sampai menunjukkan jumlah yang menurun. Data jumlah masing-masing bakteri pada setiap waktu pengamatan yang diperoleh dibuat grafik sehingga diketahui fase-fase pertumbuhannya. Setiap kurva pertumbuhan dari bakteri yang diperoleh ditentukan waktu generasi terpendek pada fase pertumbuhan eksponensial. Waktu generasi terpendek yang diperoleh dari masing-masing bakteri digunakan sebagai dasar pembuatan starter baik yang berisi kultur campur [9].

2.5. Uji Kemampuan Konsorsium Isolat Bakteri Hidrokarbonoklastik dalam Mendegradasi Minyak

Isolat bakteri hidrokarbonoklastik yang bersifat sinergis dapat dijadikan sebagai agen bioremediasi. Bakteri yang dapat digunakan sebagai agen bioremediasi adalah bakteri yang memiliki kemampuan dalam menurunkan kadar TPH (*Total petroleum hidrokarbon*) yang terkandung di dalam minyak. Pengujian biodegradasi TPH dilakukan pada botol yang telah berisi 12,5 ml mineral medium, *crude oil* sebanyak 0,25 g dan kultur campur bakteri dengan kepadatan 10^7 sebanyak 2 ml. Kultur diinkubasi pada *orbital shaker* dengan putaran 100 rpm pada suhu kamar (26 – 31°C) selama delapan hari. Selanjutnya dilakukan penghitungan populasi bakteri menggunakan bilik hitung, % degradasi TPH, serta analisis CO_2 menggunakan metode titrasi asidik-alkalimetri setiap 2 hari sekali [10].

Pada pengujian konsorsium bakteri hidrokarbonoklastik dilakukan rancangan percobaan menggunakan rancangan dasar berupa rancangan acak lengkap (RAL) berpola faktorial dengan 2 faktor perlakuan dan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali, faktor tersebut terdiri atas :

Faktor 1. Waktu Pengamatan Selama Masa Inkubasi (T) dengan taraf :

- T_0 : Hari ke-0 inkubasi
- T_2 : Hari ke-2 inkubasi
- T_4 : Hari ke-4 inkubasi
- T_6 : Hari ke-6 inkubasi
- T_8 : Hari ke-8 inkubasi

Faktor 2. Penggunaan Konsorsium Bakteri Hidrokarbonoklastik (K) dengan taraf :

- K_0 : Tanpa Konsorsium bakteri hidrokarbonoklastik
- K_1 : Konsorsium bakteri hidrokarbonoklastik

2.6. Variabel Pengukuran

Variabel pengukuran pada penelitian ini meliputi analisa TPH, jumlah populasi bakteri, dan pengukuran CO_2

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jenis Bakteri yang Terdapat di Rhizosfer

Total bakteri yang didapat dari ketiga rhizosfer tumbuhan yang mendominasi di 3 lokasi sampling tersebut adalah berjumlah 34 isolat bakteri yang selanjutnya di seleksi untuk mendapatkan bakteri yang dapat digunakan sebagai agen bioremediasi. Jumlah secara rinci dari bakteri yang terdapat pada rhizosfer terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Isolasi Bakteri Rhizosfer di Tiga Sumur Minyak berupa tumpahan minyak yang telah mencemari tanah. Keberadaan 11 bakteri yang dapat ditemui pada setiap Tabel 1. Hasil Isolasi Bakteri Rhizosfer di Tiga Sumur Minyak

No	Lokasi Sampling	Jenis Tanaman mendominasi	Jumlah Isolat Bakteri	Kode Isolat Bakteri
1	A	<i>Scleria sp.</i>	14	A.4.8 ; A.4.10 ; A.5.4 ; A.5.6 ; A.5.8 ; A.5.10 ; A.5.1 ; A.5.3 ; A.6.1 ; A.6.2 ; A.6.3 ; A.6.4 ; A.6.8 ; (A.6.6 = B.5.1)
2	B	<i>Clidemia sp.</i>	9	(B.4.7 = A.5.8) ; (B.4.2 = A.6.3) ; (B.4.4 = A.6.4) ; (B.4.5 = A.5.1) ; (B.6.2 = A.6.2) ; (B.6.4 = A.5.4) ; (B.6.5 = A.6.1) ; B.5.1 ; B.6.1
3	C	<i>Panicum sp.</i>	11	(C.4.2 = A.6.1) ; (C.4.5 = A.6.2) ; (C.4.6 = A.6.4) ; (C.5.1 = B.5.1) ; (C.6.4 = A.6.3) ; (C.6.6 = A.4.8) ; C.4.1 ; C.6.1 ; C.6.2 ; C.6.5 ; C.6.7

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa lokasi sampling A memiliki jumlah 11 energi 11 bakteri paling banyak yaitu sebanyak 14 isolat bakteri. Sedangkan pada lokasi B terdapat sebanyak 9 isolat bakteri dan pada lokasi sampling C terdapat sebanyak 11 isolat bakteri. Menurut Ali [11] pengaruh kontaminasi hidrokarbon petroleum terhadap populasi mikroba di tanah sangat tergantung pada besarnya konsentrasi, lamanya kontaminasi berlangsung, dan juga kondisi lingkungan. Menurut Nursyirwani & Amolle [12], jumlah bakteri yang mampu mendegradasi minyak bumi, terutama senyawa hidrokarbon akan melimpah di daerah yang tercemar minyak. Penggunaan bakteri hidrokarbonoklastik pada lingkungan yang tercemar minyak juga akan lebih efektif apabila bakteri berasal dari areal tercemar tersebut.

Diketahui bahwa ada 5 isolat bakteri yaitu dengan kode A.6.1 ; A.6.2 ; A.6.3 ; A.6.4 ; dan B.5.1 yang sama-sama terdapat pada ketiga lokasi sampling. Hal tersebut dapat diartikan bahwa bakteri tersebut mampu hidup di beberapa area di sekitar sumur minyak dan dapat

sumur minyak berarti bakteri ini merupakan bakteri yang mampu beradaptasi dengan baik dengan lingkungan sekitarnya di sumur minyak dan mampu menggunakan senyawa hidrokarbon minyak bumi sebagai sumber karbonnya [13].

3.2. Hasil Seleksi Isolat Bakteri Rhizosfer

Setelah dilakukan seleksi tahap I terdapat 19 isolat bakteri yang lolos seleksi I. Pada hasil seleksi tahap II, terdapat 11 isolat bakteri yang lolos. Data bakteri yang lolos pada seleksi tahap I dan seleksi tahap II dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa ada bakteri yang lolos seleksi I dan II tetapi ada juga bakteri yang tidak lolos seleksi I maupun II. Tahapan seleksi I merupakan suatu langkah untuk mendapatkan bakteri rhizosfer yang mampu hidup pada lingkungan minyak dan menggunakan medium zobell sebagai nutrisi pertumbuhan. Kemampuan

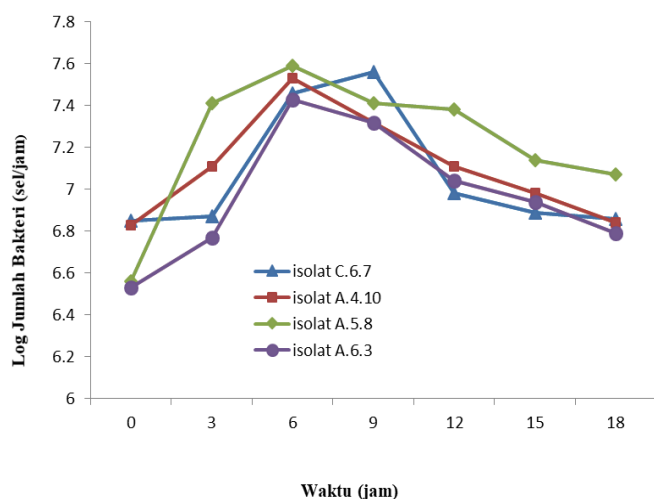
Tabel 2. Hasil Seleksi Tahap I dan Seleksi Tahap II

Lokasi Sampling	∑ Bakteri sebelum seleksi	∑ Bakteri Yang Lolos Seleksi I	∑ Bakteri Yang Lolos Seleksi II	Kode Isolat Bakteri
A	13	13	8	A.4.10 ; A.5.4 ; A.5.6 ; A.5.8 ; A.5.1 ; A.5.3 ; A.6.3 ; A.6.8
B	2	1	1	B.5.1
C	5	5	2	C.4.1 ; C.6.7

di indikasikan bahwa bakteri tersebut memiliki kisaran toleransi yang luas terhadap adanya kontaminan hidup bakteri pada seleksi I belum cukup untuk menduga

bahwa bakteri dapat mendegradasi minyak. Hal ini dikarenakan, bakteri tersebut bisa saja memanfaatkan sumber karbon yang berasal medium zobell bukan berasal dari *crude oil*. Oleh karena itu, bakteri yang lolos seleksi tahap I perlu dilakukan seleksi tahap II.

Pada hasil seleksi tahap II didapatkan 11 isolat bakteri yang berasal dari ketiga lokasi sampling yaitu lokasi A sebanyak 8 isolat, lokasi B sebanyak 1 isolat, dan lokasi C sebanyak 2 isolat, bakteri yang lolos seleksi II dapat diamati dari terbentuknya lapisan interfase antara medium dan minyak. Isolat bakteri yang lolos pada seleksi tahap II merupakan bakteri yang memiliki kemampuan untuk memanfaatkan *crude oil* sebagai sumber karbon. Menurut [8] medium yang digunakan pada seleksi tahap II merupakan medium yang miskin nutrisi. Sehingga sumber karbon yang utama dalam medium seleksi tahap II berupa senyawa hidrokarbon, sehingga bakteri yang mampu tumbuh pada medium miskin nutrisi akan memanfaatkan minyak sebagai sumber karbon dan energi.



3.3. Hasil Pembuatan Kultur Campur

Kultur campur merupakan penggabungan masing-masing bakteri yang telah mencapai waktu generasi terpendek. Kultur campur ini dibuat untuk memaksimalkan proses biodegradasi senyawa hidrokarbon yang berasal dari *crude oil* pada saat pengujian bakteri sebagai agen bioremediasi. Dari 4 isolat bakteri yang dijadikan kultur campur yaitu A.4.10 ; A.6.3 ; C.6.7; dan A.5.8 memiliki waktu generasi terpendek masing-masing secara berurutan adalah 6 jam, 6 jam, 6 jam, dan 3 jam. Waktu generasi terpendek dari bakteri dicapai pada fase eksponensial yang merupakan puncak maksimal dari pertumbuhan bakteri. Kurva pertumbuhan dari masing-masing bakteri dapat dilihat pada kurva (Gambar 2).

Dalam proses biodegradasi dibutuhkan kultur campur dari masing-masing bakteri yang telah mencapai fase eksponensial. Fase eksponensial dari masing-masing bakteri dapat diketahui dari kurva pertumbuhan

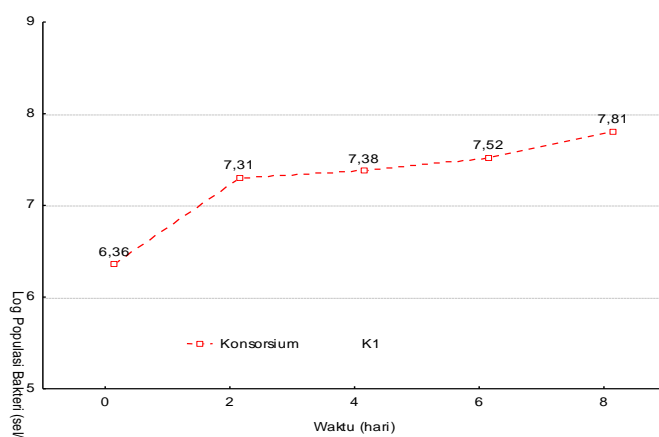
dan bisa dihitung berdasarkan waktu generasi terpendeknya (g). Waktu generasi yang dimiliki oleh masing-masing bakteri tidak selalu sama sehingga perlu dilakukan pembuatan inokulum tunggal dari masing-masing bakteri sesuai dengan g terpendeknya. Setelah semua kultur tunggal di inkubasi sesuai dengan g terpendeknya, maka keempat tersebut dapat dicampurkan. Menurut [14] pembuatan konsorsium dari masing-masing kultur tunggal dapat dicampurkan apabila telah mencapai fase eksponensial dan mencapai kecepatan maksimumnya. Adanya waktu inkubasi selama 2x24 jam setelah pencampuran kultur juga diperlukan supaya konsorsium menjadi stabil.

3.4. Hasil Uji Kemampuan Konsorsium Isolat Bakteri Hidrokarbonoklastik Dalam Mendegradasi Minyak

Proses biodegradasi minyak dengan menggunakan agen bioremediasi berupa mikroba akan menunjukkan hasil yang efektif jika diketahui pertambahan populasi mikroorganisme yang di uji (Gambar 3), penambahan CO₂ sebagai hasil perombakan senyawa hidrokarbon, dan penurunan TPH selama masa proses biodegradasi.

3.4.1. Penghitungan Populasi Bakteri

Pada hasil pengamatan terhadap jumlah populasi bakteri dari awal hingga akhir terjadi peningkatan jumlah populasi bakteri. Pada awal perlakuan dilakukan penghitungan jumlah bakteri terlebih dahulu sehingga pada saat dimasukkan ke dalam medium uji kepadatan bakterinya telah mencapai 10⁶ sel/ml.



Gambar 3. Kurva Jumlah Populasi pada Konsorsium Bakteri Selama Masa Inkubasi 8 hari

Selama masa inkubasi 8 hari menunjukkan peningkatan jumlah populasi bakteri. Pada perlakuan menggunakan konsorsium terdapat bakteri yang mengalami pertumbuhan, sehingga apabila di dalam medium masih tersedianya nutrisi maka jumlah dari populasi bakteri akan terus meningkat selama masa inkubasi. Selain itu juga, di dalam konsorsium terjadi kinerja dari bakteri yang saling

sinergistik sehingga menyebabkan pertambahan sel bakteri karena tidak adanya kompetisi dari masing-masing bakteri. Menurut [15] populasi konsorsium mikroba akan terus meningkat dikarenakan adanya hubungan yang sinergis pada masing-masing bakteri dan adanya substrat bagi mikroba akan mendukung terjadinya peningkatan sel dan kinerja dari mikroba tersebut.

3.4.2. Pengukuran % Degradasi TPH (*Total Petroleum Hydrokarbon*)

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan konsorsium (perlakuan) dan tanpa konsorsium sama-sama terjadi penurunan TPH. Hanya saja pada sampel perlakuan menunjukkan hasil degradasi pada hari ke-8 yang lebih tinggi sebesar 81,33 % yang merupakan hasil degradasi dari konsorsium disertai juga dengan adanya degradasi karena lainnya. Hal ini melihat bahwa pada sampel juga terjadi proses degradasi sebesar 24,00 %. Degradasi pada sampel perlakuan tersebut terjadi dikarenakan adanya peranan mikroorganisme dalam mengurai senyawa hidrokarbon, sedangkan pada sampel disebabkan oleh degradasi secara fisik maupun kimiawi. Oleh karena itu untuk melihat peranan yang dilakukan oleh konsorsium dalam mendegradasi TPH dapat dilihat dari selisih % degradasi antara sampel perlakuan dan pada Tabel 3.

Tabel 3. Peranan Konsorsium Bakteri Dalam Mendegradasi TPH

Hari	% Degradasi TPH pada		Kontribusi konsorsium bakteri dalam mendegradasi TPH (%)
	Kontrol	Konsorsium	
0	0	0	0
2	8,00	33,33	25,33
4	8,00	68,00	60,00
6	20,00	76,00	56,00
8	24,00	81,33	57,33

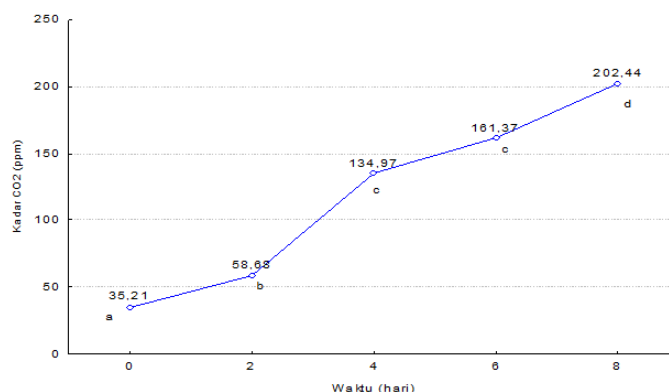
Pada Tabel 3. Dapat terlihat hasil % degradasi dengan adanya penggunaan konsorsium bakteri pada masa inkubasi ke-8 adalah sebesar 57,33 % yang memang merupakan peranan dari konsorsium bakteri hidrokarbonoklastik dalam melakukan perombakan terhadap senyawa hidrokarbon. Berbeda pada sampel yang juga terjadi proses degradasi TPH sebesar 24,00 %. Adanya degradasi TPH pada sampel ini bukan disebabkan oleh aktivitas biologis, tetapi degradasi yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh pengaruh fisik seperti terjadi penguapan dan bukan berasal dari peranan mikroba.

Menurut penelitian yang dilakukan [16] pengujian dengan beberapa bakteri pendegradasi minyak yang dilakukan selama 8 hari menunjukkan adanya pengurangan minyak pada sampel yang telah disterilkan. Pengurangan minyak tersebut dapat disebabkan karena adanya pen-

guapan minyak dan oksidasi udara untuk golongan hidrokarbon tidak jenuh. Berbeda dengan sampel yang di inokulasikan masing-masing bakteri menunjukkan penyisihan TPH mencapai 50,00 % setelah 2 hari penginokulasian dan pada masa inkubasi hari ke-8 masing-masing bakteri menunjukkan % degradasi yang sama yaitu mencapai 80,00 %. Hal ini berarti medium yang ditambah minyak memberikan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik, dibuktikan dengan adanya peningkatan pertumbuhan bakteri selama 8 hari.

3.4.3. Pengukuran Kadar CO₂

Berdasarkan hasil pengujian sampel perlakuan dan terlihat bahwa kadar CO₂ yang dihasilkan tidak berbeda nyata. Pada sampel perlakuan dan sampel ditunjukkan bahwa nilai kadar CO₂ tidak jauh berbeda. Hal ini berarti proses biodegradasi yang dilakukan oleh konsorsium bakteri terhadap senyawa hidrokarbon berlangsung tidak terlalu sempurna, meskipun demikian tetap terjadi proses biodegradasi yang dilakukan oleh konsorsium bakteri yang dibuktikan dari lebih tingginya kadar CO₂ pada perlakuan dibandingkan dengan control Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Hubungan Faktor Waktu Inkubasi Terhadap Peningkatan Kadar CO₂

Menurut [17] mikroorganisme berpartisipasi dalam mengurangi cemaran minyak dengan cara memanfaatkan unsur karbon dan hidrogen yang ada pada minyak bumi dan mengoksidasinya menjadi CO₂ dan H₂O, sedangkan penguraian parsial akan menghasilkan asam lemak dan alkohol. Bakteri dapat memutuskan rantai karbon minyak bumi pada kondisi aerob maupun anaerob. menambahkan bahwa penanggulangan pencemaran petroleum secara bioremediasi akan menunjukkan aktivitas mikroorganisme yang mampu memanfaatkan hidrokarbon petroleum sebagai sumber karbon dan kemudian mengubahnya menjadi karbon dioksida (CO₂), H₂O, biomassa sel, metana, dan senyawa lain yang lebih sederhana [18].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Diperoleh 11 isolat bakteri hidrokarbonoklastik yang memiliki kemampuan untuk memanfaatkan senyawa hidrokarbon
2. Sebanyak 4 isolat bakteri hidrokarbonoklastik yang berpotensi sebagai agen bioremediasi. Masing-masing isolat tersebut adalah isolat A.4.10, isolat C.6.7, isolat A.6.3 yang masing-masing teridentifikasi sebagai *Sporosarcina* sp. A.4.10, *Proteus* sp. C.6.7, *Actinobacillus* sp. A.6.3, dan isolat A.5.8 yang masih diduga sebagai *Flavobacterium* sp. A.5.8
3. Isolat bakteri *Sporosarcina* sp. A.4.10, *Actinobacillus* sp. A.6.3, dan *Flavobacterium* sp. A.5.8 asal rhizosfer *Scleria* sp. , serta *Proteus* sp. C.6.7 asal rhizosfer *Panicum* sp. Dalam bentuk konsorsium mampu menurunkan TPH sebesar 57,33 %. Kemampuan tersebut didukung oleh kenaikan populasi bakteri sebesar 7,81 sel/jam dan juga kenaikan kadar CO₂ pada proses biodegradasi selama 8 hari.

5. SARAN

1. Diperlukan adanya penelitian lanjutan untuk mengetahui kemampuan biodegradasi hidrokarbon menggunakan asosiasi antara bakteri hidrokarbonoklastik dengan tumbuhan indigen.
2. Diperlukan waktu inkubasi lebih lama untuk mengetahui persentase degradasi TPH dan peningkatan kadar CO₂ yang lebih signifikan

References

- [1]. Jati, K.P., Sugiyanto, H, & Muryani, C. 2017. Dampak Penambangan Minyak Tradisional Terhadap Kondisi Sosial Ekonomi dan Lingkungan Hidup. *Jurnal GeoEco*. Vol. 3 No. 1. Hal 58-67
- [2]. Prayitno, J., Mahmudah, A., dan Lisyastuti, E., 2010. Degradasi minyak mentah dan solar oleh konsorium mikroba asal pertambangan minyak cepu. *Jurnal*, 4(1) : 42-48
- [3]. Prakasita, I.G.F & Wulansarie, R. 2018. Review Analisis Teknologi Degradasi Limbah Minyak Bumi Untuk Mengurangi Pencemaran Air Laut di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kmia*, Vol. 3 No 2. Hal 80-86
- [4]. Komarawidjaja, W. & Lysiasuti, E., 2009. Status konsorsium mikroba lokal pendegradasi minyak. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 10(3) : 347-354
- [5]. Priyanto, B., 2010. Pengembangan teknologi fitoremediasi untuk menanggulangi penyebaran pencemaran minyak bumi. Laporan Akhir Program Intenstif. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
- [6]. Jussila, Minna M., German J., Kristina L. M., and Leena S., 2006. Genetic diversity of culturable bacteria in oil-contaminated rhizosphere of *Galega orientalis*. *Journal Environmental Pollution*, 38 (2006). 244-257 hlm.
- [7]. Purwaningsih, 2004. Pengujian mikroba sebagai pupuk hayati terhadap pertumbuhan tanaman. Tesis. Institut Pertanian Bogor. Dipublikasikan
- [8]. Munawar, 1999. Isolasi dan uji kemampuan isolat bakteri rhizosfir dari hutan bakau di Cilacap dalam mendegradasi residu minyak bumi. *Tesis*. Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung. Tidak dipublikasikan
- [9]. Yudono, B., 2011. Sinergi bakteri tanah dan tanaman pada proses bioremediasi tanah terkontaminasi minyak bumi. *Disertasi*. Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya. tidak dipublikasikan (Munawar *et al.*, 2011).
- [10]. Munawar, Aditiawati, P., Astuti, D.I., 2011. Biodegradasi fraksi asfalten oleh bakteri yang di isolasi dari tanah terkontaminasi minyak bumi di propinsi Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional AVoER*. Di Palembang, 26-27 Oktober 2011
- [11]. Ali, M., 2012. *Monograf tinjauan proses bioremediasi melalui pengujian tanah tercemar minyak*. Penerbit UPN Press. Surabaya. X+75 hlmn
- [12]. Nursyirwani & Amolle, K.C., 2007. Isolasi dan karakterisasi bakteri hidrokarbonoklastik dari perairan Dumai dengan sekuen 16S rDNA. *Jurnal. Ilmu Kelautan*, 12(1) : 12-17
- [13]. Suhandi, D., Purwoko, T., dan Pangastuti, A., 2006. Biodegradasi fenol oleh isolat *Bacillus* spp. asal sumur minyak kawengan, Cepu. *Jurnal Bioteknologi*, 3 (1): 8-13
- [14]. Munawar & Elfita, 2011. Ketahanan hidup konsorsium bakteri petrofilik pada media pembawa tanah gambut selama masa penyimpanan. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian*. Di Palembang 1-2 Desember 2011 : 573 -583
- [15]. Irianto, A. dan Komar, M. S., 2000. Bioremediasi in vitro tanah tercemar toluena dengan penambahan *Bacillus* galur lokal. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*, 5(2) : 43-47
- [16]. Xu, J., 2012. *Bioremediation of crude oil contaminated soil by petroleum-degrading active bacteria*. <http://cdn.intechopen.com>
- [17]. Nugroho, A., 2007. Dinamika populasi kon-

sorsium bakteri hidrokarbonoklastik: studi kasus biodegradasi hidrokarbon minyak bumi skala laboratorium. *Jurnal Ilmu Dasar*, 8 (1) : 13-23

- [18]. Charlena, Haris, A., Karwati., 2009. Degradasi hidrokarbon pada tanah tercemar minyak bumi dengan isolat A10 dan D8. *Prosiding Seminar Nasional Sains II*. Biosains di Bogor 14 November 2009