



**POTENSI JAMUR INDIGENUS RIAU (*Penicillium* sp.PN6)  
DAN *Neptunia oleracea* UNTUK BIOREMEDIASI OIL SLUDGE**  
**RIAU INDIGENOUS FUNGI (*Penicillium* sp.PN6) AND *Neptunia oleracea*  
POTENTION IN BIOREMEDIATION OF OIL SLUDGE**

**Wahyu Lestari\*, Atria Martina, Rodesia Mustika Roza, Imelda Wardani**  
*Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau.*  
*Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293*  
*\*Corresponding author: wahyulestari1965@yahoo.com*

Naskah Diterima: 27 November 2017; Direvisi: 17 Januari 2018; Disetujui: 21 Januari 2018

**Abstrak**

Lumpur minyak bumi (*oil sludge*) memiliki kandungan kontaminan petroleum hidrokarbon terbesar, karenanya pengolahan limbah *oil sludge* perlu dilakukan agar tidak mencemari lingkungan. Penelitian yang menguji kemampuan jamur indigenus Riau (*Penicillium* sp. PN6) dan legum akuatik (*Neptunia oleracea*) dalam meremediasi senyawa hidrokarbon dengan pengukuran total petroleum hidrokarbon (TPH) pada limbah *oil sludge* telah dilakukan. Pertumbuhan *N. oleracea* dilakukan pada media limbah *oil sludge* dengan konsentrasi 25, 50, 75, dan 100%. Selanjutnya dilakukan pemberian inokulum *Penicillium* sp. PN6 ke dalam media pertumbuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase pertumbuhan *N. oleracea* adalah 95,58; 85,87; 25,55; dan 0%, berturut-turut pada limbah *oil sludge* 25, 50, 75, dan 100%. Terjadi penurunan konsentrasi TPH awal pada semua perlakuan di akhir pengamatan. *Penicillium* sp. PN6 meningkatkan degradasi TPH dari limbah *oil sludge* dibandingkan dengan kombinasi *Penicillium* sp. PN6 dengan *N. oleracea*, tetapi kombinasi *Penicillium* sp. PN6 dengan *N. oleracea* meningkatkan persentase penurunan TPH dari limbah *oil sludge* dibandingkan menggunakan *Penicillium* sp. PN6 saja. *Penicillium* sp. PN6 dan kombinasinya dengan *N. oleracea* sama-sama mampu menurunkan pH limbah *oil sludge*.

**Kata kunci:** Bioremediasi; *N. oleracea*; *Oil sludge*; *Penicillium* sp. PN6; TPH

**Abstract**

*Oil sludge contains the largest contaminant of petroleum hydrocarbon that needs treatment to prevent its pollution into the environment. A study examining the ability of a Riau indigenous fungi (*Penicillium* sp. PN6) and an aquatic legume (*Neptunia oleracea*) to remediate hydrocarbon compounds by determining total petroleum hydrocarbon (TPH) in oil sludge waste has been conducted. The growth of *N. oleracea* was performed in the oil sludge waste media by concentrations of 25, 50, 75, and 100%. The medium was inoculated with *Penicillium* sp. PN6. The results showed that the percentage of growth of *N. oleracea* were 95.58; 85.87; 25.55; and 0%, in the oil sludge waste of 25, 50, 75, and 100%, respectively. There was a decrease in initial TPH concentration at all treatments at the end of the observation. *Penicillium* sp. PN6 increased more TPH degradation of the oil sludge waste compared to a combination of *Penicillium* sp. PN6 and *N. oleracea*, but the combination increased the decrease percentage of TPH compared to those that used *Penicillium* sp. PN6 only. *Penicillium* sp. PN6 and its combination with *N. oleracea* are both able to decrease pH of the oil sludge waste.*

**Keywords:** Bioremediation; *Neptunia oleracea*; *Oil sludge*; *Penicillium*; Total Petroleum Hydrocarbon

**Permalink/DOI:** <http://dx.doi.org/10.15408/kauniyah.v11i1.6350>

## PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan salah satu hasil alam. Di Wilayah Sumatera, salah satu kawasan terbesar penghasil minyak bumi terdapat di Propinsi Riau. Minyak bumi mengandung senyawa hidrokarbon yang berbahaya. Di antara senyawa hidrokarbon yang sangat toksik adalah *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) yang keberadaannya dapat mempengaruhi sifat fisika, kimia dan biologi sehingga menurunkan produktivitas dan fungsi tanah maupun perairan. Deteksi senyawa PAH dapat dilakukan dengan pengukuran konsentrasi *total petroleum hydrocarbon* (TPH). Menurut Dave dan Ghaly (2011), besarnya nilai TPH yang terdeteksi mengindikasikan bahwa sampel telah mengalami kontaminasi.

Pencemaran akibat tumpahan minyak bumi dapat ditanggulangi secara fisik, kimia dan biologi. Penanggulangan pencemaran yang ramah lingkungan dilakukan secara biologi melalui teknik bioremediasi yang saat ini telah banyak dilakukan.

Teknik bioremediasi merupakan suatu aplikasi proses biologi untuk mengolah tanah, lumpur dan air tanah yang terkontaminasi bahan-bahan kimia yang berbahaya menggunakan makhluk hidup diantaranya tumbuhan dan mikroba. Beberapa tumbuhan telah diketahui memiliki kemampuan dalam mendegradasi hidrokarbon minyak bumi seperti *Amaranthus* sp. (Lestari, 2015) dan *legume cover crop* (legum penutup tanah) *Mucuna bracteata* (Alfianti *et al.*, 2016), mikroba seperti bakteri (Olajide & Ogbeifun, 2010) dan jamur *Penicillium* sp. PN6 (Martina & Roza, 2014; Alfianti *et al.*, 2016).

*Penicillium* sp. PN6 adalah jamur indigenus Riau yang diisolasi dari tanah gambut dan memiliki kemampuan menguraikan lignin dan selulosa serta bersifat termotoleran (Martina & Roza, 2012). *Penicillium* sp. PN6 juga berpotensi sebagai agen mikoremediasi minyak bumi pada medium *bushnell hass* (Martina & Roza, 2014) dan pada tanah terkontaminasi minyak bumi (Alfianti *et al.*, 2016) serta mampu menghasilkan asam giberelat (GA<sub>3</sub>) pada media *Potato Dextrose Broth* (PDB) dan *Czapek Dox Broth* (CDB) (Gustina *et al.*, 2016). Kombinasi antara tumbuhan (*M.*

*bracteata*) dan jamur indigenus Riau (*Penicillium* sp. PN6) oleh Alfianti *et al.* (2016) memiliki kemampuan yang tinggi dalam menurunkan konsentrasi TPH dari TPH awal tanah 12,32% menjadi 2,44% selama 35 hari, sedangkan *M. bracteata* dapat menurunkan konsentrasi TPH awal menjadi 3,61%, namun remediasi oleh *Penicillium* sp. PN6 hanya mampu menurunkan konsentrasi TPH awal menjadi 4,95%.

Cemaran minyak bumi tidak hanya terikat oleh partikel tanah saja. Kotoran minyak yang terbentuk dari proses pengumpulan dan pengendapan kontaminan minyak dikenal sebagai limbah *oil sludge* atau lumpur minyak bumi yang memiliki kandungan kontaminan terbesar yaitu petroleum hidrokarbon, karenanya perlu dilakukan pengolahan *oil sludge* agar tidak mencemari lingkungan. Berdasar penelitian Alfianti *et al.* (2016), bahwa jamur indigenus Riau (*Penicillium* sp. PN6) mampu menurunkan konsentrasi TPH pada tanah terkontaminasi minyak bumi, maka jamur ini beserta tumbuhan legum akuatik diharapkan juga dapat menurunkan konsentrasi TPH dari lumpur minyak bumi (*oil sludge*). Penggunaan legum akuatik untuk mengurangi bahan pencemar di perairan telah banyak dilakukan, diantaranya legum air *Neptunia oleracea* pada limbah cair pupuk untuk mengurangi kadar amoniak (Juswardi *et al.*, 2010), tumbuhan akuatik lain seperti *Ipomoea aquatica* pada limbah cair rumah tangga untuk mengurangi kadar logam berat Pb (Lestari, 2013) dan gulma terestrial *Amaranthus spinosus* pada limbah oli bekas untuk menurunkan konsentrasi PAH dengan pengukuran TPH (Lestari, 2015). Beberapa tumbuhan mampu tumbuh pada lingkungan yang terkontaminasi bahan pencemar, namun kurang mampu meminimalisir bahan pencemar karenanya tumbuhan ini tidak efektif digunakan untuk teknik fitoremediasi. Penggunaan tumbuhan yang toleran terhadap kontaminan hidrokarbon ataupun kombinasinya dengan mikroba, ternyata lebih efektif digunakan untuk bioremediasi kontaminan hidrokarbon di lingkungan (Qixing *et al.*, 2011). Mengingat potensi jamur indigenus Riau *Penicillium* sp. PN6 beserta legum tanah mampu menurunkan konsentrasi PAH, diharapkan penggunaannya

bersama legum akuatik *N. oleracea* pada limbah *oil sludge* berpotensi juga sebagai agen bioremediasi. Tujuan penelitian adalah untuk menguji kemampuan legum akuatik (*N. oleracea*) dan jamur indigenus Riau (*Penicillium* sp. PN6) dalam meremediasi senyawa hidrokarbon dengan pengukuran TPH pada limbah *oil sludge*.

## MATERIAL DAN METODE

### Peremajaan Isolat dan Pembuatan Inokulum

Isolat jamur indigenus Riau *Penicillium* PN6 adalah koleksi Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Riau. Isolat jamur ditumbuhkan dan diremajakan pada medium PDA miring dengan menggunakan metode *streak*. Kultur kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama 7 hari dan isolat selanjutnya digunakan sebagai inokulum (Gandjar *et al.*, 1999). Ke dalam kultur jamur yang telah berumur 7 hari dimasukkan 10 mL akuades steril. Selanjutnya dilakukan pengerikan dan divortex hingga diperoleh suspensinya. Suspensi jamur dimasukkan ke dalam medium Czhapex dan diagitasi pada kecepatan 150 rpm selama 14 hari.

### Pengambilan *Oil Sludge*, Persiapan Media Tanam, Penyediaan dan Penanaman Bibit

*Oil sludge* diambil secara *purposive* pada 3 titik lokasi di sekitar kegiatan pengeboran yang berbeda di Desa Bekasap Rokan Hilir kemudian dikompositkan. Selanjutnya *oil sludge* dibawa ke kebun percobaan dan ditempatkan ke dalam pot-pot percobaan sebagai media tanam. Konsentrasi limbah *oil sludge* sebagai media tanam *N. oleracea* adalah 25, 50, 75 dan 100% (tanpa penambahan isolat jamur). Sebelum penanaman terlebih dahulu ditentukan konsentrasi TPH dari masing-masing konsentrasi limbah *oil sludge* yang digunakan. Bibit *N. oleracea* yang digunakan adalah bibit hasil persemaian benih pada media tanah lumpur yang tidak terkontaminasi hidrokarbon berumur 3 bulan dengan tinggi  $\pm 15$  cm.

Pada konsentrasi media *oil sludge* tertinggi dimana persentase pertumbuhan tanaman masih tinggi menunjukkan bahwa tanaman masih toleran. Selanjutnya konsentrasi media tanam tersebut digunakan

untuk menguji kemampuan pertumbuhan tanaman dan jamur beserta kombinasi antara tanaman dengan jamur serta kemampuannya mendegradasi TPH dari limbah *oil sludge*.

### Penyediaan Media *Oil Sludge* untuk Pertumbuhan Tanaman dan Jamur

Konsentrasi media tanam yang digunakan selanjutnya adalah limbah *oil sludge* dengan konsentrasi berdasarkan kemampuan pertumbuhan tanaman pada pengujian tahap awal. Pelaksanaan penelitian menggunakan rancangan acak lengkap. Bibit *N. oleracea* ditanam pada media tanam limbah *oil sludge*, selanjutnya inokulum *Penicillium* sp. PN6 dengan jumlah populasi  $10^8$  cfu/mL diinokulasikan pada media tanam sebanyak 200 mL (Alfianti *et al.*, 2016), perlakuan lain adalah inokulasi media tanam limbah *oil sludge* dengan inokulum *Penicillium* sp. PN6 saja. Pemeliharaan dilapangan dilakukan selama 21 hari.

### Parameter dan Analisis Data

Pengukuran TPH dilakukan pada awal pengambilan sampel limbah *oil sludge*, setelah pengenceran (tahap awal) dan akhir pengamatan (21 hari) dengan metode Gravimetri (Ali, 2012), yaitu menimbang residu minyak yang tertinggal pada tiap perlakuan. Pengukuran total degradasi petroleum hidrokarbon dilakukan menurut Ijah & Upke (1992). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan *Analysis Of Variance* (ANOVA). Jika hasil analisis antar perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata, maka di uji lanjut dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) taraf 5% menggunakan SPSS versi 17.0.

## HASIL

Penelitian tentang potensi jamur indigenus Riau (*Penicillium* sp. PN6) dan *N. oleracea* untuk bioremediasi limbah *oil sludge* telah dilakukan. Kemampuan pertumbuhan dan kondisi morfologi *N. oleracea* yang ditumbuhkan pada media limbah *oil sludge* disajikan pada Tabel 1. *N. oleracea* memiliki kemampuan yang tinggi untuk tumbuh pada konsentrasi limbah *oil sludge* 25 dan 50% (95,58% dan 85,87%) disertai dengan pembentukan cabang baru. Tanpa pengenceran (100% limbah *oil sludge*) tanaman tidak

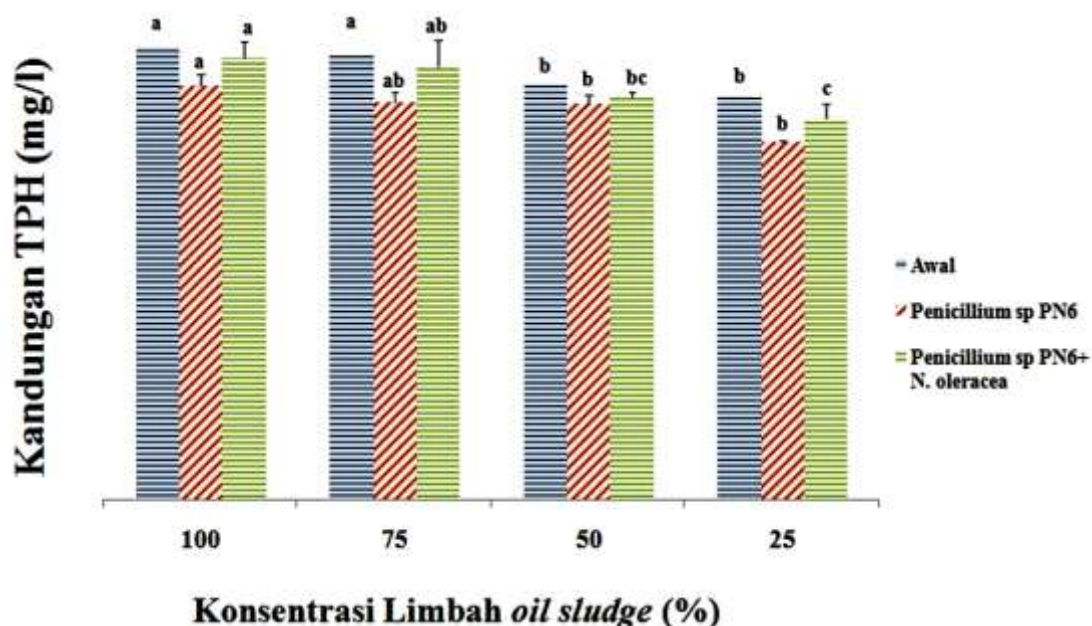
mampu bertahan hidup (persentase pertumbuhan 0%), sedangkan tanaman yang mampu bertahan hidup pada konsentrasi limbah *oil sludge* 75% tidak membentuk cabang baru. Pertumbuhan tanaman pada media *oil sludge* memperlihatkan bahwa, klorosis umumnya dimulai pada 3 hingga 5 hari setelah tanam (hst) yang diawali terjadi pada daun tua atau daun dewasa.

Penggunaan kombinasi mikroba indigen dan tanaman dapat membantu proses degradasi senyawa hidrokarbon dari limbah *oil sludge*. Gambar 1 menunjukkan bahwa, inokulasi *Penicillium* sp. PN6 dalam media tanam limbah *oil sludge* mampu mendegradasi kandungan TPH lebih tinggi dibanding kombinasinya dengan legum akuatik *N. oleracea*.

**Tabel 1.** Persentase pertumbuhan dan pengamatan morfologi *N. oleracea* pada beberapa tingkat konsentrasi limbah *oil sludge*

Pengenceran <i>oil sludge</i> (%)	Persentase Pertumbuhan (%)	Pengamatan Morfologi
100	0,00	3 hst klorosis, 8 hst nekrosis
75	25,55	5 hst sebagian besar klorosis terutama pada daun tua hingga nekrosis pada 12 hst, yang masih hidup klorosis pada daun tua
50	85,87	5 hst sebagian klorosis pada daun tua hingga nekrosis pada 14 hst, yang masih hidup daun tua sebagian klorosis, terjadi pertambahan tinggi dan pembentukan cabang baru
25	95,58	Sebagian besar yang hidup terjadi pertambahan tinggi dan pembentukan cabang baru pertumbuhannya normal hingga 14 hst, yang mati diawali dengan klorosis umur 5 hst hingga nekrosis pada 14 hst
Kontrol	100,00	Semua hidup dan pertumbuhan normal, terjadi pertambahan tinggi dan pembentukan cabang baru hingga 14 hst

Keterangan; hst = hari setelah tanam

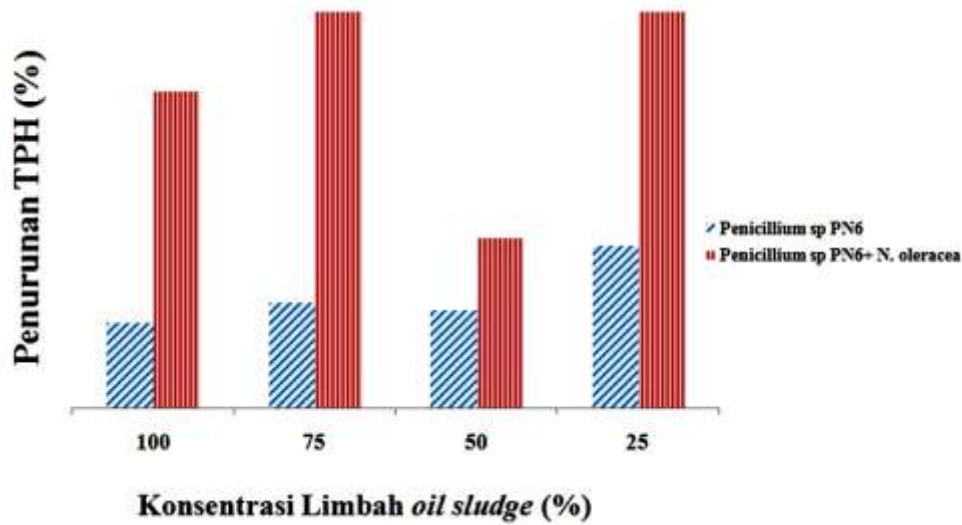


**Gambar 1.** Kandungan TPH pada 21 hari setelah penanaman dan pemberian inokulum



Kandungan TPH pada konsentrasi limbah *oil sludge* 25% tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 50 dan 75%, tetapi berbeda nyata dengan 100% (tanpa pengenceran). Sedangkan kombinasi *Penicillium* sp. PN6

dengan *N. oleracea* menunjukkan bahwa, tidak terdapat perbedaan yang nyata antara konsentrasi 25 dan 50%, tetapi berbeda nyata dengan konsentrasi 75 dan 100%.



**Gambar 2.** Persentase penurunan TPH dari limbah *oil sludge*

Jika dibandingkan kemampuan *Penicillium* sp. PN6 dan kombinasinya dengan tanaman *N. oleracea* dalam mendegradasi kandungan TPH dari limbah *oil sludge*, ternyata kombinasi *Penicillium* sp. PN6 dan *N. oleracea* mampu meningkatkan persentase penurunan kandungan TPH lebih tinggi

dibanding hanya dengan menggunakan *Penicillium* sp. PN6 saja. Kemampuan meningkatkan persentase penurunan kandungan TPH oleh jamur ataupun kombinasinya dengan tanaman disajikan pada Gambar 2.

**Tabel 2.** pH limbah *oil sludge* pada perlakuan penggunaan *Penicillium* sp. PN6 dan kombinasinya dengan tanaman *N. oleracea*

Konsentrasi limbah <i>oil sludge</i> (%)	pH		
	Awal	<i>Penicillium</i> sp. PN6	<i>Penicillium</i> sp. PN6 + <i>N. oleracea</i>
100	9,2	9,0	9,0
75	9,2	9,0	9,0
50	9,0	9,0	8,7
25	9,0	8,7	8,3

Seiring dengan kemampuannya mendegradasi TPH, *Penicillium* sp. PN6 dan kombinasinya dengan tanaman *N. oleracea* juga mampu menurunkan pH. Namun demikian, *Penicillium* sp. PN6 dan kombinasinya dengan tanaman *N. oleracea* menunjukkan tidak berpengaruh nyata terhadap kemampuannya menurunkan pH awal limbah *oil sludge* pada semua perlakuan. pH terendah (8,3) adalah pada limbah *oil sludge* 25% dengan perlakuan kombinasi *Penicillium* sp. PN6 dan *N.*

*oleracea*. Kemampuan menurunkan pH pada perlakuan *Penicillium* sp. PN6 saja juga dijumpai pada limbah *oil sludge* 25% dimana pH menjadi 8,7. (Tabel 2).

## PEMBAHASAN

*N. Oleracea* masih memiliki ketahanan yang tinggi untuk tumbuh pada konsentrasi limbah *oil sludge* 50%, demikian juga pada konsentrasi 75% (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa *N. oleracea* merupakan

legum akuatik yang memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi untuk hidup pada lingkungan yang tercemar senyawa hidrokarbon. Walaupun mampu tumbuh pada limbah *oil sludge*, namun *N. oleracea* tetap menunjukkan penurunan pertumbuhan akibat senyawa toksik hidrokarbon. Cemaran oleh limbah *oil sludge* menghalangi sistem perakaran untuk menyerap air dan nutrisi disekitarnya, sehingga yang diangkut lewat xilem menjadi terbatas atau berkurang. Kebanyakan nutrisi kemungkinan dimobilisasi dengan cepat ke daerah tajuk, hal ini dapat diketahui dengan terjadinya klorosis dimulai pada daun dewasa atau tua. Penghambatan pertumbuhan juga terjadi dengan tidak terpicunya pemanjangan sel di daerah apeks pucuk sehingga tidak terjadi pemanjangan batang, selain itu juga menghambat pembentukan cabang baru. Cemaran hidrokarbon dari limbah *oil sludge* konsentrasi 100% sangat toksik bagi tumbuhan, sehingga sangat mengganggu aktivitas sel di sistem perakaran diantaranya menghambat transport secara pasif maupun aktif dari anion dan kation terlarut. Sangeetha dan Thangadurai (2014) menyatakan bahwa, peningkatan konsentrasi petroleum *sludge* dapat menghambat pertumbuhan legum *Vigna unguiculata* seperti penghambatan panjang akar ataupun cabang. *Vigna unguiculata* juga tidak mampu tumbuh pada konsentrasi petroleum *sludge* 100%. Menurut Merkl *et al.* (2004), meskipun tumbuhan secara keseluruhan dapat toleran tumbuh dengan adanya cemaran minyak bumi, namun penurunan pertumbuhan akibat adanya minyak dalam tanah dapat terjadi, diantaranya terjadi penghambatan nodulasi pada beberapa legum *Centrosema brasilianum* dan *Calopogonium mucunoides*.

Konsentrasi zat kimia mempengaruhi tingkat biodegradasi. Proses pengenceran akan menurunkan konsentrasi. Hal ini dapat mempercepat proses biodegradasi karena komponen yang konsentrasinya lebih rendah, lebih mudah terdegradasi. Secara umum kemampuan degradasi hidrokarbon dari limbah *oil sludge* dengan memanfaatkan mikroba lebih baik dibanding kombinasinya dengan tanaman (Gambar 1). Inokulasi jamur

indigenus *Penicillium* sp. PN6 dalam media tanam limbah *oil sludge* dapat membantu mempertahankan pertumbuhan *N. oleracea*. Hal ini kemungkinan menunjukkan ada interaksi yang saling menguntungkan antara jamur indigen dengan tanaman. *N. oleracea* dapat tumbuh dan toleran pada semua konsentrasi limbah *oil sludge* yang dipelihara selama 21 hari jika dikombinasikan dengan *Penicillium* sp. PN6. Kombinasi tanaman dengan mikroba pada konsentrasi yang tinggi sekalipun (100%) ternyata juga mampu mempertahankan pertumbuhan *N. oleracea* dibanding tanpa penggunaan mikroba (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa, kombinasi mikroba dan tanaman dapat digunakan untuk mengurangi senyawa hidrokarbon pada konsentrasi yang lebih tinggi walaupun tingkat penurunannya lebih lambat dibanding hanya menggunakan mikroba saja.

Berbeda dengan penelitian Alfianti *et al.* (2016), kombinasi antara legum penutup tanah (*M. bracteata*) dan jamur indigenus Riau (*Penicillium* sp. PN6) memiliki kemampuan yang tinggi dalam menurunkan konsentrasi TPH dari TPH awal tanah 12,32% menjadi 2,44% selama 35 hari. Kemampuan *M. bracteata* saja untuk menurunkan konsentrasi TPH awal menjadi 3,61%, sedangkan remediasi oleh *Penicillium* sp. PN6 hanya mampu menurunkan konsentrasi TPH awal menjadi 4,95%.

Jenis tumbuhan menentukan komunitas mikroba yang berasosiasi untuk melaksanakan fitoremediasi hidrokarbon. Truu *et al.* (2003) menyatakan bahwa, pertumbuhan mikroba di sekitar perakaran dapat meningkat dua kali lipat sehingga lebih efektif dalam mendegradasi senyawa toksik hidrokarbon. Hal ini menurut Jing *et al.* (2008) disebabkan karena adanya peningkatan aktivitas enzimatis dari mikroba di daerah perakaran. Namun dari percobaan Siciliano *et al.* (2003) menyatakan bahwa, rumput (*Festuca arundinacea*) menaikkan kehadiran gen katabolik yang terlibat dalam degradasi hidrokarbon, sedangkan legum menurunkan keberadaan gen katabolik. Hal inilah kemungkinan yang menyebabkan penggunaan kombinasi legum *N. oleracea* dan *Penicillium* sp. PN6 kurang

bekerja secara sinergis dalam mendegradasi hidrokarbon sehingga kemampuan degradasi hidrokarbon dari limbah *oil sludge* secara umum lebih rendah dibanding penggunaan hanya mikroba saja (*Penicillium* sp. PN6). Menurut Al-Mailem *et al.* (2010), mikroba dapat menggunakan hidrokarbon alifatik dan aromatik murni sebagai sumber karbon. Sebagian besar dari mikroba tersebut mampu tumbuh pada medium bebas-N, karenanya mikroba memiliki peran yang sangat penting di dalam mendegradasi minyak, baik dalam keadaan kaya nitrogen maupun bebas nitrogen.

Pentingnya peranan jamur dalam mendorong terjadinya degradasi minyak bumi diperkuat oleh percobaan Alarcon *et al.* (2008). Penambahan bakteri pendegradasi minyak yang dikombinasikan dengan fungi mikoriza arbuskular pada tanah yang tercemar minyak mentah dan ditanami rumput *Lolium multiflorum* hasilnya menunjukkan bahwa degradasi minyak dipacu secara signifikan dengan penambahan bakteri dan mikoriza dengan laju degradasi tertinggi yaitu sebesar 59%.

Kombinasi *N. oleracea* dengan jamur *Penicillium* sp. PN6 mampu menurunkan kandungan TPH dari limbah *oil sludge* walaupun kemampuannya lebih rendah jika dibanding hanya menggunakan jamur indigenus (*Penicillium* sp. PN6) saja (Gambar 1). Hal ini menunjukkan bahwa jamur indigen mampu bekerja sama dengan tumbuhan dalam menurunkan senyawa toksik hidrokarbon sehingga *N. oleracea* mampu tumbuh pada semua tingkat pengenceran limbah *oil sludge*. Namun demikian jika dilihat dari kemampuannya menurunkan kandungan TPH dari limbah, persentase penurunan TPH (Gambar 2) secara umum lebih tinggi pada perlakuan kombinasi (*Penicillium* sp. PN6 dan *N. oleracea*) berkisar 4,61-10,77% dari TPH awal 15,79-17,80 mg/L (dimana kandungan TPH dalam media setelah 3 minggu perlakuan menjadi 15,01-17,39 mg/L) dibanding hanya menggunakan *Penicillium* sp. PN6 saja, penurunan TPH hanya berkisar 2,32-4,43% (kandungan TPH setelah 3 minggu menjadi 14,09-16,27 mg/L). Hasil penelitian Al-Jawhari (2014) menunjukkan bahwa, *Aspergillus niger* mampu meningkatkan

persentase penurunan konsentrasi petroleum hidrokarbon sebesar 95% setelah 28 hari, sedangkan kombinasinya dengan *A. fumigatus* persentase penurunan sebesar 90%, tetapi persentase penurunan konsentrasi petroleum hidrokarbon menggunakan campuran 4 strain jamur (*A. niger*, *A. fumigatus*, *P. funiculosum* dan *Fusarium solani*) ternyata lebih rendah yaitu hanya sebesar 70%. Hal ini menunjukkan bahwa setiap makhluk hidup memiliki metabolisme yang berbeda terhadap kondisi lingkungan hidupnya. Menurut USEPA 1996 dalam Erdogan dan Ayten (2011), dalam kondisi aerob, mikroba mampu mencerna zat organik yang mengandung atom karbon dan hidrogen untuk nutrisi dan energi. Mikroba tertentu dapat mencerna dan memecah kontaminan organik berbahaya menjadi produk terutama CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

Beberapa bahan kimia dimineralisasi oleh tanaman dengan bantuan air dan CO<sub>2</sub>. Hasil fotosintesis dikeluarkan melalui akar sebanyak 10-20%. Hal ini dapat membantu proses pertumbuhan dan metabolisme mikroba yang hidup disekitar rizosfer. Beberapa senyawa organik yang dikeluarkan melalui akar seperti fenolik, asam organik dan protein dapat menjadi sumber karbon dan nitrogen yang akan digunakan untuk pertumbuhan mikroba (Salt *et al.*, 1998).

Komponen yang rendah konsentrasinya lebih mudah terdegradasi karena dapat menunjang pertumbuhan dan perkembangan populasi mikroba. Namun jika terlalu rendah konsentrasinya, mikroba tidak cukup mendapatkan energi. Sebaliknya jika komponen yang konsentrasinya terlalu tinggi kemungkinan dapat bersifat toksik bagi mikroba. Bioremediasi berlangsung akibat aktivitas enzim yang di suplai oleh mikroba untuk mengkatalis pemusnahan bahan-bahan kontaminan. Reaksi kimia tersebut merupakan reaksi oksidasi-reduksi yang penting untuk menghasilkan energi bagi mikroba. Bioremediasi membutuhkan kehadiran sumber energi yang sesuai, sistem donor-akseptor elektron dan nutrien (Priyanto, 2010)

Efisiensi bioremediasi dipengaruhi oleh lingkungan, fisik dan kimia. Lingkungan memberikan pengaruh yang besar dalam

proses bioremediasi. Kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan mikroba sebagai pelaku utama pendegradasi pencemar sangat diperlukan. Mikroba sangat sensitif terhadap perubahan temperatur, pH, ketersediaan nutrisi, oksigen dan kelembaban. Faktor fisik yang penting bagi mikroba adalah ketersediaan zat pencemar sebagai sumber energi, air dan akseptor elektron. Air dibutuhkan karena mikroba mendapatkan karbon organik, nutrisi inorganik dan akseptor elektron untuk pertumbuhannya dalam kondisi terlarut. Akseptor elektron terakhir yang paling banyak digunakan oleh mikroba dalam sistem pernapasannya adalah oksigen. Ketersediaan oksigen terbatas, mikroba dapat menggunakan akseptor elektron yang lain diantaranya  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  dan  $\text{CO}_2$ . Sedangkan faktor kimia yang penting dalam bioremediasi adalah struktur molekul zat pencemar. Pada rantai alkana bercabang, sulit didegradasi oleh mikroba. Percabangan juga mempengaruhi tingkat degradasi pada isomer (Priyanto, 2010).

Seiring dengan kemampuannya mendegradasi TPH, secara umum *Penicillium* sp. PN6 dan kombinasinya dengan tanaman *N. oleracea* juga mampu menurunkan pH walaupun tidak terdapat perbedaan yang nyata antara *Penicillium* sp. PN6 dan kombinasinya dengan tanaman *N. oleracea* dalam menurunkan pH (Tabel 2). Mikroba ataupun kombinasinya dengan tanaman diduga mampu melakukan aktifitas metabolisme serta mampu memanfaatkan senyawa kimia yang ada sehingga mampu menurunkan pH limbah *oil sludge*.

Penurunan pH pada tiap perlakuan menunjukkan bahwa, terjadi degradasi senyawa kontaminasi yang ada pada limbah diantaranya adalah senyawa alkana. Menurut Rosenberg *et al.* (1992), alkana adalah komponen yang paling umum dan paling mudah untuk didegradasi. Secara umum proses degradasi alkana adalah melalui tahapan oksidasi terminal yang berubah bentuk menjadi alkohol dan asam lemak. Senyawa tersebut kemudian memasuki jalur  $\beta$ -oksidasi, mengalami katabolisme dan menghasilkan asam-asam organik seperti asam asetat, asam propionat serta karbondioksida. Pelepasan asam-asam organik inilah yang menurunkan pH limbah *oil sludge*.

## SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu *N. oleracea* tidak mampu tumbuh pada limbah *oil sludge* 100%, namun *N. oleracea* dapat tumbuh dan toleran pada semua konsentrasi limbah *oil sludge* jika dikombinasikan dengan jamur indigenus *Penicillium* sp. PN6 dan *Penicillium* sp. PN6 secara umum memiliki kemampuan lebih tinggi dalam mendegradasi TPH dari limbah *oil sludge* dibanding kombinasi *Penicillium* sp. PN6 dan *N. oleracea* tetapi *Penicillium* sp. PN6 dan kombinasinya dengan *N. oleracea* sama-sama mampu menurunkan pH.

Kombinasi *Penicillium* sp. PN6 dan *N. oleracea* secara umum meningkatkan persentase penurunan TPH dibanding hanya menggunakan *Penicillium* sp. PN6 saja.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan pada Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Riau yang turut mendanai penelitian ini melalui program hibah penelitian dengan skema Penelitian Dosen Muda Tahun Anggaran 2017, Nomor: 787/UN.19.5.1.3/PP/2017.

## REFERENSI

- Alarcon, A., Davies, Jr. F. T., Autenrieth, R. L. & Zuberer, D. A. (2008). Arbuscular mycorrhiza and petroleum-degrading microorganisms enhance phytoremediation of petroleum-contaminated soil. *International Journal Phytoremediation*, 10, 251-263.
- Alfianti R., Lestari, W., Martina, A., Roza, R. M. & Jadmika, E. S. (2016). Efektifitas jamur lignolitik (*Penicillium* PN6 dan *Aspergillus* sp.2) dan *Mucuna bracteata* (Dc.) sebagai agen bioremediasi tanah terkontaminasi hidrokarbon minyak bumi. *Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia* (PERIPI): 379-385. ISBN: 978-979-792-732-5, Pekanbaru.
- Al-Mailem, D. M., Sorkhoh, N. A., Marafie, M., Al-Awadhi, H., Eliyas, M., & Radwan, S. S. (2010). Oil phytoremediation potential of hypersaline coasts of the Arabian Gulf using rhizosphere



- technology. *Bioresource Technology*, 10(1), 5786-5792.
- Ali, M. (2012). *Tinjauan proses bioremediasi melalui pengujian tanah tercemar minyak*. Surabaya: UPN Press.
- AI-Jawhari, I. F. H. (2014). Ability of some soil fungi in biodegradation of petroleum hydrocarbon. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 2(2), 46-52.
- Dave, D., & Ghaly, A. E. (2011). Remediations technologies of marine oil spills: a critical review and comparative analysis. *American Journal of Environmental Sciences*, 7(5), 423-440.
- Enriquez, G. L., Saniel, L. S., Matias, R. R., & Garibay, G. (1995). *General microbiology laboratory manual*. Diliman: University of the Philippines Press.
- Erdogan, E., & Ayten, K. (2011). Bioremediation of crude oil polluted soils. *Asian Journal of Biotechnology*, 3(3), 206-213.
- Ganjar, I., Samson, R. A., Twee-Vermeulen, K. V. N., Oetari, A., & Santoso, I. (1999). *Pengendalian kapang tropic umum*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Gustina, E., Martina, A., & Roza, R., M. 2016. Produksi asam giberelat oleh isolat jamur selulolitik dan ligninolitik lokal Riau. *Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia (PERIPI)* (pp. 122-129).
- Ijah, U. J. J., & Upke, H. (1992). Comparative study of biodegradation of crude oil in soil amended with dropping and NPK fertilizer. *Science World Journal*, 3(2).
- Jing, W., Zhang, Z., Su, Y., He, W., He, F., & Song, H. (2008). Phytoremediation of petroleum polluted soil. *Petroleum Science*, 5, 167-171.
- Juswardi, Sagala, E. P., & Fardini, L. (2010). Kemampuan *Neptunia oleracea* Lour dalam fitoremediasi limbah cair amoniak dari industri pupuk urea. *Prosiding Semirata FMIPA*: 127-132. ISBN: 978-979-1222-93-8, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Lestari, W. (2013). Penggunaan *Ipomoea aquatica* Forsk. untuk fitoremediasi limbah rumah tangga. *Prosiding Semirata FMIPA*: 441-446. ISBN: 928-602-98559-2-0, Universitas Lampung, Lampung.
- Lestari, W. (2015). Fitoremediasi tanah tercemar limbah oli menggunakan tanaman *Amaranthus spinosus* L. *Prosiding Seminar Nasional BIOETI 3*: 368-378. ISBN: 978-602-14989-0-3, Universitas Andalas, Padang.
- Martina, A., & Roza, R. M. (2012). *Aktivitas enzim ligninolitik dan selulolitik dari beberapa jamur termotoleran indigenus Riau* (Laporan penelitian), Lembaga Penelitian, Universitas Riau.
- Martina, A., & Roza, R. M. (2014). *Potensi jamur isolat lokal Riau sebagai agen mikoremediasi minyak bumi* (Laporan penelitian), Lembaga Penelitian, Universitas Riau.
- Merkl, N., Schultze-Kraft, R., & Infante, C. (2004). Phytoremediation in the tropics-the effect of crude oil on the growth of tropical plants. *Bioremediation*, 1(8), 177-184.
- Priyanto, B. (2010). *Pengembangan teknologi fitoremediasi untuk menanggulangi penyebaran pencemaran minyak bumi* (Laporan akhir program insentif tahun 2010). Balai Teknologi Lingkungan Kedeputusan Teknologi Pengembangan Sumberdaya Alam, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Qixing, Z., Zhang, C., Zhineng, Z., & Weitao, L. (2011). Ecological remediation of hydrocarbon contaminated soils with weed plant. *Journal of Resources and Ecology*, 2(2), 97-105.
- Rosenberg, E., Legman, R., Kushmaro, A., Taube, R., Adler, E., & Ron, E. Z. (1992). Petroleum bioremediation-a multiphase problem. *Biodegradation*, 3, 337-350.
- Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Annual review plant physiology and plant molecular biology. *Phytoremediation*, 501-662.

- Sangeetha, J., & Thangadurai, D. (2014). Effect of biologically treated petroleum sludge on seed germination and seedling growth of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae). *Brazilian Archives Of Biology And Technology*, 57(3), 427-433.
- Siciliano, S. D., Germida, I. I., Banks, K. & Greer, C. W. (2003). Changes in microbial community composition and function during a polyaromatic hydrocarbon phytoremediation field trial. *Applied Environmental Microbiology*, 69, 483-489.
- Truu, I., Karne, L., Talpsep, E., Heinaru, E., Vedler, E. & Heinaru, A. (2003). Phytoremediation of solid oil shale waste from the chemical industry. *Acta Biotechnology*, 23, 301-307.