

PENGUJIAN TOLERANSI MANGROVE MUDA TERHADAP CEMARAN MINYAK BUMI

Adaptation Experiments of Young Mangrove on Spill Oil Contaminant

Titiresmi dan Titin Handayani
Balai Teknologi Lingkungan,
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Jalan M.H. Thamrin No. 8 Jakarta 10340
Email :titi.resmi@bppt.go.id

Diterima : 2 Mei 2012; Revisi : 16 Mei 2012; Disetujui : 25 Mei 2012

Abstract

The experiment were conducted at Green House of Environmental Institute of Technology, BPPT, PUSPIPTEK Serpong Tangerang in 2011. The study were taken on four species of young mangroves (*Rhizophora mucronata*, *Bruguiera sp*, *Sonneratia sp*, and *Avicenia sp*) in order to determine any sublethal impact and growth abnormalities affected by four concentration of oil (0%, 10%, 20%, and 30%). Measurements recorded include: percent survival, growth rate, leaf development, percent defoliation, number of developing branches, and any unusual growth patterns that may have developed as a result of oil contamination. The results of this study showed that no significant deferent of oil affected. The highest concentration of treatment oil was not affects to young mangrove until the end of this experiment. *Rhizophora mucronata* showed able to degrade TPH highest among the four mangrove species in all oil concentrations treatment. Observation on six weeks showed an average of TPH reduction 38.1% of 10% oil concentration, 21.1% of 20% oil concentration and 21.1% of 30% oil concentration. While observations on the twelfth week showed an average of TPH reduction 81.6% of 10% oil concentration, 69% of 20% oil concentration and 66% of 30% oil concentration. It shows that young mangrove effective to degrade petroleum hydrocarbons.

Keywords: oil pollution, phytoremediation, mangrove, *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera sp*, *Sonneratia sp*, *Avicenia sp*.

Abstrak

Percobaan dilakukan di Rumah Kaca Balai Teknologi Lingkungan, BPPT, PUSPIPTEK Serpong Tangerang pada tahun 2011. Penelitian ini diambil pada empat spesies mangrove muda (*Rhizophora mucronata*, *Bruguiera sp*, *Sonneratia sp*, dan *Avicenia sp*) untuk menentukan dampak subletal dan kelainan pertumbuhan dipengaruhi oleh empat konsentrasi minyak (0%, 10%, 20%, dan 30%). Pengukuran dicatat meliputi: survival persen, tingkat pertumbuhan, perkembangan daun, persen defoliasi, jumlah pengembangan cabang, dan setiap pola pertumbuhan yang tidak biasa yang mungkin telah berkembang sebagai akibat dari kontaminasi minyak. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tidak ada yang signifikan relatif kecil minyak terpengaruh. The konsentrasi tertinggi minyak pengobatan tidak mempengaruhi mangrove muda sampai akhir percobaan ini. *Rhizophora mucronata* menunjukkan mampu menurunkan TPH tertinggi di antara empat spesies mangrove di semua konsentrasi minyak pengobatan. Pengamatan pada enam minggu menunjukkan rata-rata penurunan TPH 38,1% dari konsentrasi minyak 10%, 21,1% dari konsentrasi minyak 20% dan 21,1% dari konsentrasi minyak 30%. Sementara pengamatan pada minggu kedua belas menunjukkan rata-rata penurunan TPH 81,6% dari konsentrasi minyak 10%, 69% konsentrasi minyak 20% dan 66% dari konsentrasi minyak 30%. Hal ini menunjukkan bahwa bakau muda yang efektif untuk menurunkan hidrokarbon minyak bumi.

Kata kunci : polusi minyak, fitoremediasi, bakau, *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera sp*, *Sonneratia sp*, *Avicenia sp*.

1. PENDAHULUAN

Telah banyak dipelajari tentang pengaruh tumpahan minyak pada ekosistem mangrove. Jika cemaran minyak memasuki hutan mangrove, maka akan menutupi perairan mangrove perakaran mangrove yang akan menyebabkan kematian mangrove. Selain itu, fraksi toksik dari cemaran minyak akan penetrasi ke dalam tanah yang menyebabkan cemaran jangka panjang terhadap ekosistem mangrove termasuk mangrove muda yang sedang tumbuh di sekitar pohon mangrove induknya.

Salah satu proses pemulihan lingkungan tercemar dengan menggunakan tumbuhan telah dikenal luas, yaitu fitoremediasi yang dapat dilakukan di wilayah pesisir, terutama kejadian pencemaran minyak atau pembuangan residu minyak berada di lahan basah pesisir.

Proses fitoremediasi secara umum dibedakan berdasarkan mekanisme fungsi dan struktur tumbuhan [1,2,3]. Secara umum klasifikasi proses adalah sebagai berikut: Pertama, Fitostabilisasi yaitu akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengadsorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan presipitat polutan dalam zone akar. Proses ini secara tipikal digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik yang terkandung minyak yaitu sulfur, nitrogen, dan beberapa logam berat (sekitar 2 %-50 % kandungan minyak [4]). Kedua, Fitoekstraksi/ fitoakumulasi yaitu akar tumbuhan menyerap polutan dan selanjutnya ditranslokasi ke dalam organ tumbuhan. Proses ini adalah cocok digunakan untuk dekontaminasi zat-zat anorganik seperti pada proses fitostabilisasi. Ketiga, Rizofiltrasi yaitu akar tumbuhan mengadsorpsi atau presipitasi pada zone akar atau mengadsorpsi larutan polutan sekitar akar ke dalam akar. Proses ini digunakan untuk bahan larutan yang mengandung bahan organik maupun anorganik [5]. Keempat, Fitodegradasi/fitotransformasi yaitu organ tumbuhan menguraikan polutan yang diserap melalui proses metabolisme tumbuhan atau secara enzimatis. Kelima, Rizodegradasi yaitu polutan diuraikan oleh mikroba dalam tanah, yang diperkuat/sinergis oleh ragi, fungi, dan zat-zat keluaran akar tumbuhan (eksudat) yaitu gula, alkohol, asam. Eksudat itu merupakan makanan mikroba yang menguraikan polutan maupun biota tanah lainnya. Proses ini adalah tepat untuk dekontaminasi zat organik. Keenam, Fitovolatilisasi yaitu penyerapan polutan oleh tumbuhan dan dikeluarkan dalam bentuk uap cair ke atmosfer. Kontaminan bisa mengalami transformasi sebelum lepas ke atmosfer. Kontaminan zat-zat organik adalah tepat menggunakan proses ini.

Informasi tentang pengaruh cemaran minyak terhadap mangrove muda sangat diperlukan,

karena mereka berperan dalam penambahan populasi mangrove dan konservasi ekosistem mangrove. Pengujian toleransi mangrove muda bertujuan untuk menentukan kesesuaian klasifikasi mangrove dalam proses fitoremediasi berdasarkan mekanisme toleransi terhadap cemaran minyak dan menentukan jenis-jenis mangrove toleran terhadap cemaran minyak serta melakukan desain awal model sistem fitoremediasi mangrove.

2. BAHAN DAN METODE

Kajian dan pemantauan remediasi area tercemar minyak adalah keharusan karena bersifat site-specific dan untuk penentuan teknik yang tepat efektif dan efisien dalam kegiatan remediasi. Kajian dan pemantauan minimum yang diperlukan meliputi hal-hal di bawah ini.

Tahap 1: Kajian Prediksi Cemaran.

Kajian ini merupakan langkah awal untuk penetapan teknologi remediasi. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui secara prediktif kelakuan minyak di area tercemar minyak baik mengenai sebaran konsentrasi minyak di media air, udara, zat padat/sedimen dan biota. Model kajian ini dapat digunakan multi media fugacity model atau release from the technosphere, dan masih banyak model yang dapat dikembangkan.

Dalam kajian ini dilakukan studi karakterisasi site cemaran minyak di lokasi BOB PT Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu Pekan Baru Riau. Sebagai studi banding dilakukan survei di lokasi cemaran minyak Indramayu Jawa Barat.

Tahap 2: Kajian Toleransi Mangrove terhadap Cemaran

Kajian ini merupakan kelanjutan dari kajian prediksi cemaran. Setelah diketahui sebaran konsentrasi minyak di media lingkungan maka besaran konsentrasi minyak di tiap media diuji dengan teknik remediasi fisik, kimia, mikrobiologis, dan tumbuhan. Dalam studi ini digunakan tumbuhan yaitu mangrove yang diperoleh dari hasil semai propagul dan ditanam dalam pot yang mengandung media tanah bercampur minyak dari BOB PT Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu Pekan Baru Riau. Jenis mangrove yang digunakan dalam kajian ini adalah: *Rhizophora mucronata* berumur 6 bulan setelah semai (berdaun 4), *Bruguiera sp* berumur 6 bulan setelah semai (berdaun 4), *Sonneratia sp.* berumur 1 bulan setelah semai (berdaun 14) dan *Avicenia sp* berumur 1 bulan setelah semai (berdaun 14).

Percobaan dilakukan pada tahun 2011 di Green House Balai Teknologi Lingkungan Serpong Tangerang dengan Rancangan Percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK). Kelompok adalah perlakuan dan ulangan

3 kali masing-masing 5 tanaman untuk setiap jenis mangrove. Perlakuan media tumbuh berupa tanah lumpur ditambah dengan minyak (sampel dari BOB-Pertamina Pekanbaru) dengan tingkat konsentrasi crude oil dalam media tumbuh 0% (kontrol), 10%, 20% dan 30%. Karena minyak selalu dalam bentuk padat, maka setiap kali akan digunakan untuk mencampur ke media harus dijemur lebih dahulu. Data dianalisis menggunakan Analysis of Variance (ANOVA) and Duncan New Multiple Range Test (DNMRT) pada $\alpha = 5\%$ untuk membandingkan antar perlakuan minyak.

Sebelum dilakukan penanaman dan setelah penanaman selama 6 dan 12 minggu diambil contoh media tanah pada setiap perlakuan untuk dianalisa kadar TPH (Total Petroleum Hidrokarbon) di Laboratorium Analitik, Balai Teknologi Lingkungan. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan parameter pertumbuhan batang, tinggi dan diameter daun, pertambahan jumlah daun dan perubahan warna serta foliasi. Waktu pengamatan: pengamatan dilakukan setiap bulan selama 13 (tiga belas) minggu.

Metode pengukuran TPH yang digunakan adalah metode yang berasal dari United State Environmental Protection Agency (US EPA), berdasarkan pada metode analisis untuk sampel limbah padat (solid waste) SW-846 metode 9071B (HEM) yang dilanjutkan dengan perlakuan silica gel (SGT_HEM) sesuai dengan metode 1664. Metode pengukuran tersebut adalah metode yang didasarkan pada pengukuran secara gravimetrik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kajian Prediksi Cemaran

Kajian ini telah dilakukan survei karakterisasi site di lokasi BOB PT Bumi Siak Pusako -Pertamina Hulu Pekan barau Riau. Sebagai studi banding untuk area cemaran minyak, telah dilakukan survei ke Indramayu.

Lokasi cemaran minyak di pantai Indramayu terjadi karena terjadi tumpahan minyak yang mencemari pantai hingga beberapa ratus meter ke arah darat. Di lokasi tersebut terdapat ekosistem mangrove yang terdiri atas jenis *Rhizophora* sp dan *Avicenia* sp.

Areal pantai terparah tercemar minyak terdapat pepohonan *Avicenia* sp yang tetap bertahan hidup bahkan tumbuh kecambah di perairan mengandung cemaran minyak (Gambar 1).

3.2. Kajian Toleransi Mangrove terhadap Cemaran Minyak Bumi

Hasil analisis laboratorium terhadap TPH media perlakuan yang mengandung campuran minyak 0% (kontrol), 10%, 20% dan 30% yang belum ditanami mangrove

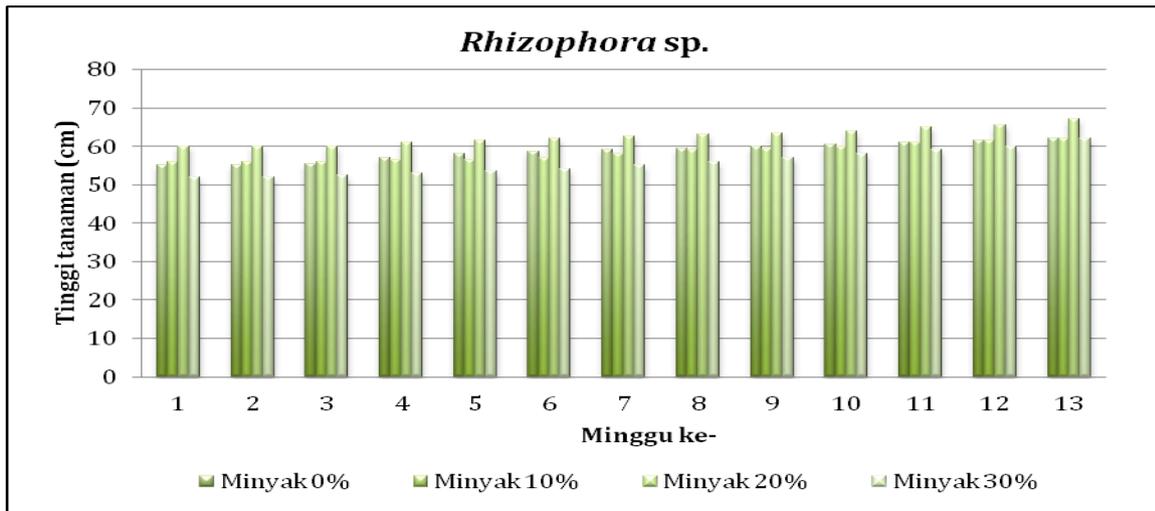


Gambar 1. Kecambah *Avicenia* sp di area cemaran minyak pantai Indramayu

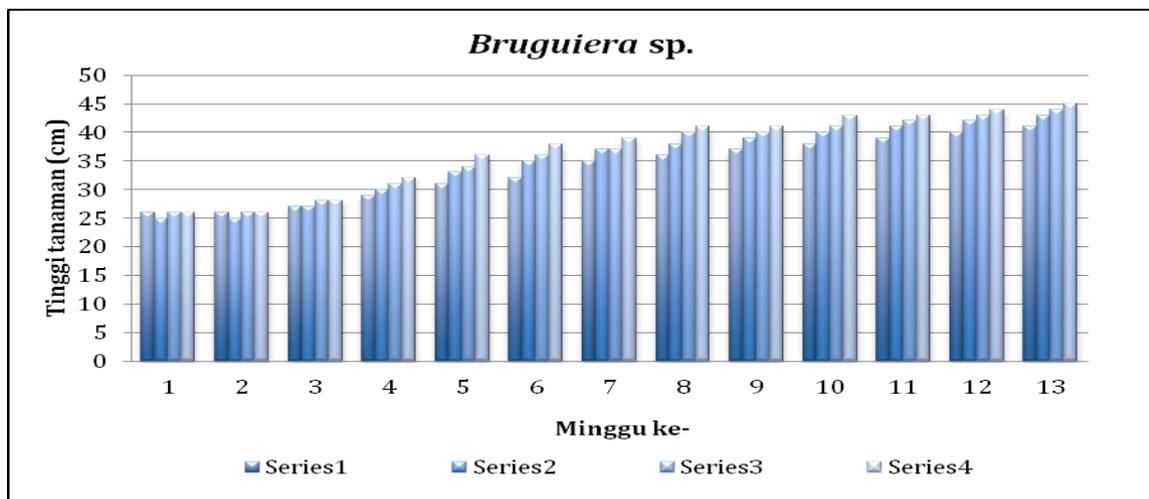
ternyata diperoleh hasil bahwa kandungan TPH 2,84% w/w, 5,01% w/w, dan 9,65% w/w.

Pengamatan yang dilakukan selama 13 bulan setelah tanam terhadap mangrove yang ditumbuhkan dalam pot dengan media lumpur mengandung minyak menunjukkan bahwa pada semua jenis mangrove mampu tumbuh dengan perlakuan minyak bumi dan tidak ada gejala gangguan pertumbuhan oleh adanya cemaran minyak. Bibit mangrove yang tumbuh tidak tampak beda nyata dalam pertambahan diameter batang. Parameter yang jelas dapat diukur adalah tinggi tanaman dan jumlah daun. Secara visual dapat dilaporkan bahwa jenis *Rhizophoramucronata* menunjukkan pertumbuhan daun dan percabangan; jenis *Bruguiera* sp. menunjukkan pertambahan daun; jenis *Sonneratia* sp menunjukkan pertumbuhan yang cepat yaitu pertambahan cabang dan jumlah daun; dan jenis *Avicenia* sp seperti *Sonneratia* yaitu pertumbuhan cepat dengan pertambahan cabang dan daun. Selama pengamatan tidak tampak adanya foliasi yang nyata karena pengaruh cemaran minyak. Toleransi keempat jenis mangrove tersebut disebabkan oleh kemampuan menahan masuknya minyak kedalam akarnya. Konsep ini berdasarkan pada kesamaan proses toleransi terhadap garam [6].

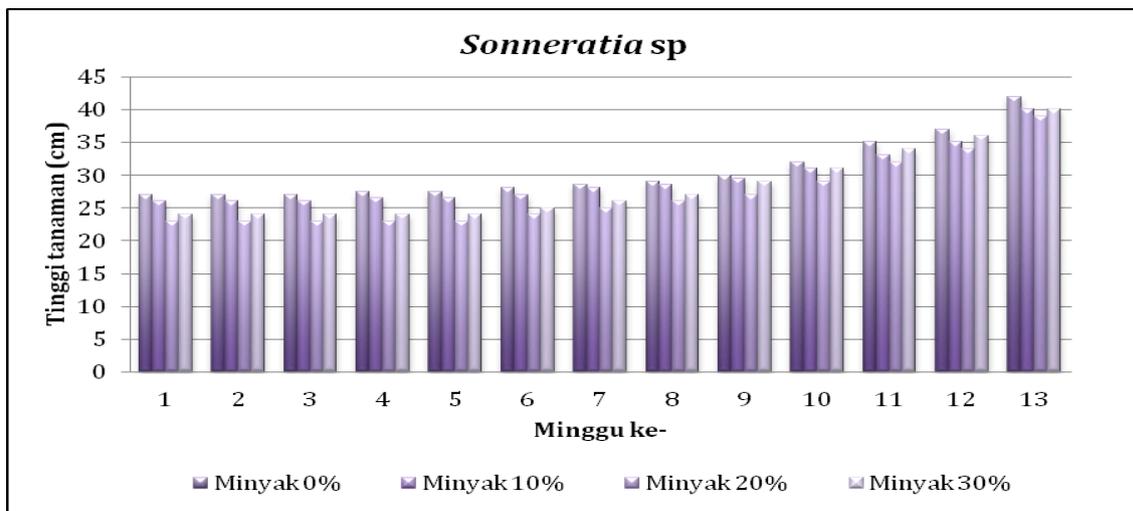
Telah dilakukan penelitian tentang dampak cemaran minyak terhadap kecambah mangrove dan disimpulkan bahwa kecambah mangrove *Rhizophora mangleri* relatif lebih toleran terhadap cemaran minyak dibandingkan *Avicenia germinans* dan *Laguncularia racemosa* [7]. Uji secara artifisial simulasi dengan minyak bumi terhadap kecambah *Rhizophora mangle* menunjukkan bahwa kematian sangat rendah dan pertumbuhan meningkat setelah minyak bumi dilakukan pengerukan pada permukaan perairan mangrove.



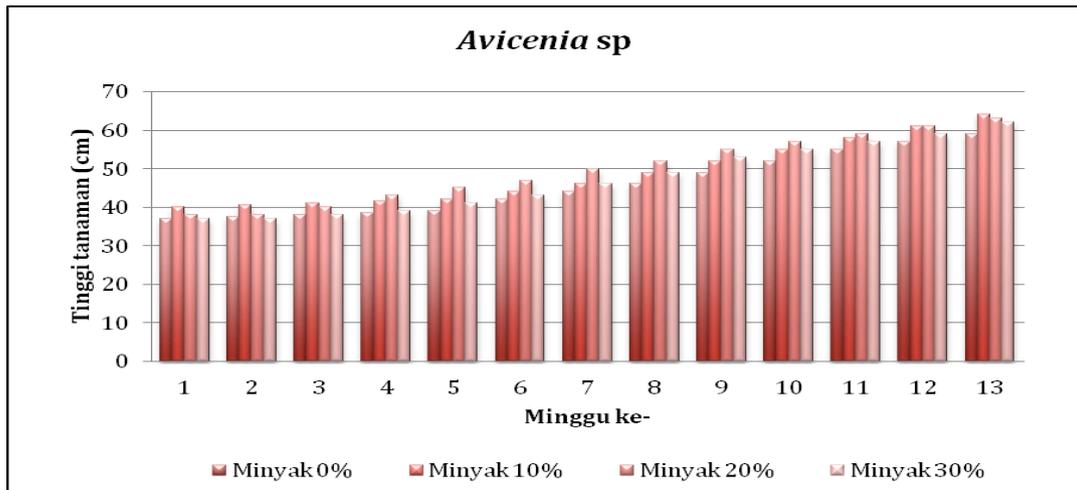
Gambar 2. Pertambahan tinggi mangrove Rhizophoramucronatayang ditanam pada pot dengan media lumpur ditambah minyak 0%, 10%, 20% dan 30%.



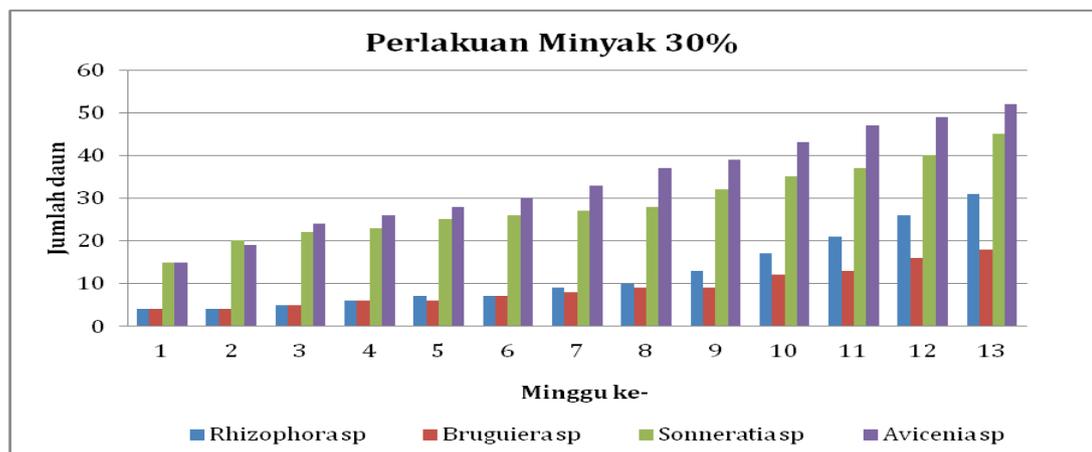
Gambar 3. Pertambahan tinggi mangrove Bruguiera sp yang ditanam pada pot dengan media lumpur ditambah minyak 0%, 10%, 20% dan 30%.



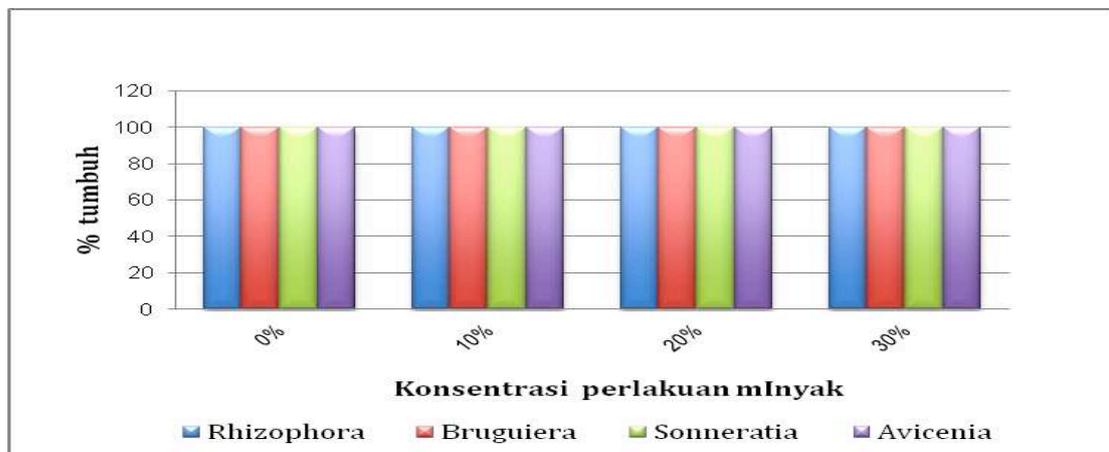
Gambar 4. Pertambahan tinggi mangrove Sonneratia sp yang ditanam pada pot dengan media lumpur ditambah minyak 0%, 10%, 20% dan 30%.



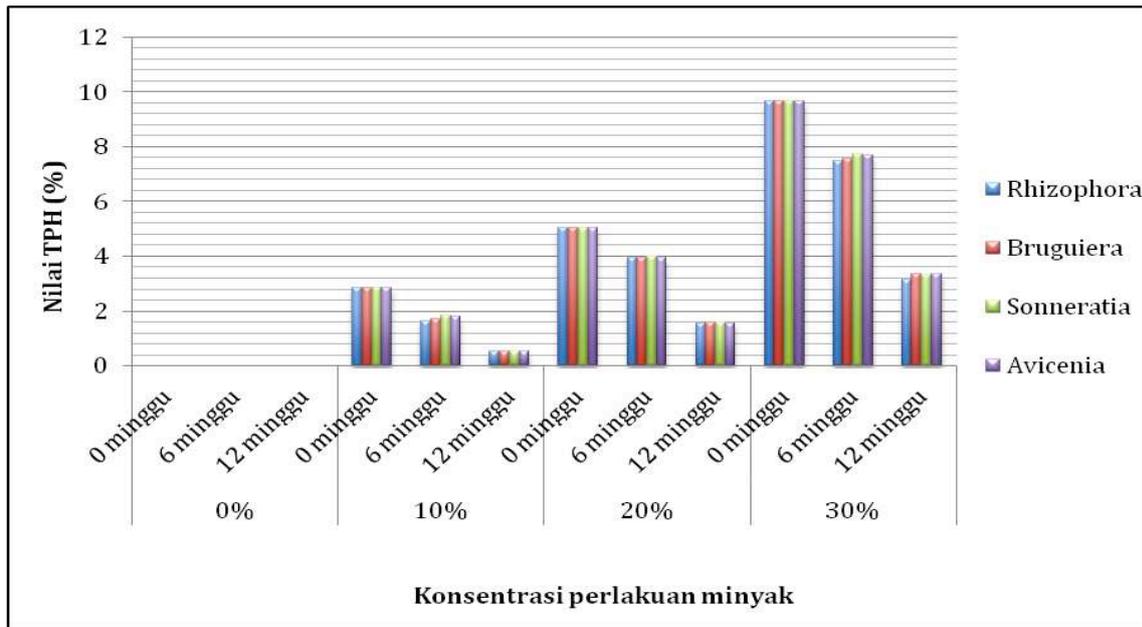
Gambar 5. Pertambahan tinggi mangrove *Avicenia sp* yang ditanam pada pot dengan media lumpur ditambah minyak 0%, 10%, 20% dan 30%.



Gambar 6. Hasil pengamatan jumlah daun dari keempat jenis mangrove dengan perlakuan minyak 30% pada minggu ke 13.



Gambar 7. Hasil pengamatan jumlah tanaman mangrove dari keempat jenis yang hidup pada perlakuan minyak 0%, 10%, 20% dan 30% hingga minggu ke 13. Semua tanaman uji dari keempat jenis mangrove hidup (100%) pada perlakuan keempat konsentrasi minyak.



Gambar 8. Hasil analisis TPH sebelum dan setelah penanaman 6 dan 12 minggu menunjukkan penurunan kandungan TPH pada semua konsentrasi perlakuan minyak.

Tabel 1. Hasil analisis penurunan Total Petroleum Hidrokarbon (% w/w) pada media tanam mangrove sebelum ditanami (0 minggu) dan setelah ditanami (6 minggu dan 12 minggu).

No	Jenis mangrove	Perlakuan minyak											
		0%			10%			20%			30%		
		0	6	12	0	6	12	0	6	12	0	6	12
1	<i>Rhizophora</i>	0	0	0	2,84	1,62	0,51	5,01	3,93	1,53	9,65	7,47	3,12
2	<i>Bruguiera</i>	0	0	0	2,84	1,71	0,52	5,01	3,94	1,56	9,65	7,56	3,35
3	<i>Sonneratia</i>	0	0	0	2,84	1,82	0,54	5,01	3,97	1,56	9,65	7,72	3,32
4	<i>Avicenia</i>	0	0	0	2,84	1,81	0,53	5,01	3,95	1,54	9,65	7,69	3,34
	Rata-rata	0	0	0	2,84	1,74	0,52	5,01	3,95	1,55	9,65	7,61	3,28
	% penurunan					38,1	81,6		21,1	69,0		21,1	66,0

Jenis mangrove *Rhizophora* lebih toleran dibandingkan dengan jenis mangrove lainnya [8,9,10]. Pada mangrove yang telah berumur lebih dari 10 tahun, dilaporkan terjadi kematian setelah tercemar oleh tumpahan minyak bumi. Hal itu diduga karena terjadinya dua proses. Proses pertama, yaitu secara fisik terjadi penutupan pada permukaan jaringan vital tanaman oleh minyak, seperti daun dan akar yang mengakibatkan terhambatnya fotosintesis, pertukaran gas dan peningkatan suhu melalui peningkatan absorpsi radiasi [11]. Proses kedua, yaitu kematian mangrove karena keracunan minyak bumi. Akan tetapi pada proses kedua jarang dijumpai pada mangrove, tetapi kemungkinan minyak menghambat proses desalinasi atau osmoregulasi [12].

Pertumbuhan dengan parameter tinggi tanaman dan jumlah daun terhadap setiap jenis mangrove muda yang diuji yaitu *Rhizophora*

mucronata (Gambar 2), *Bruguiera* sp (Gambar 3), *Sonneratia* sp (Gambar 4) dan *Avicenia* (Gambar 5). Pertumbuhan daun dari keempat jenis disajikan pada Gambar 6 dan persentase jumlah yang hidup hingga minggu ke-13 dari keempat jenis mangrove disajikan pada Gambar 7.

Setelah penanaman selama 6 dan 12 minggu menunjukkan penurunan kandungan TPH pada setiap perlakuan. Penurunan TPH tertinggi diantara keempat jenis mangrove terjadi pada jenis *Rhizophora mucronata* terhadap semua perlakuan konsentrasi minyak (Gambar 8). Pengamatan pada minggu ke-6 menunjukkan rata-rata penurunan TPH sebesar 38,1% dari konsentrasi minyak 10%, 21,1% dari konsentrasi minyak 20% dan 21,1% dari konsentrasi minyak 30%. Sedangkan pengamatan pada minggu ke-12 menunjukkan rata-rata penurunan TPH sebesar 81,6% dari konsentrasi minyak 10%, 69% dari konsentrasi minyak 20% dan 66%

dari konsentrasi 30%(Tabel1). Hal tersebut menunjukkan bahwa mangrove muda efektif dalam mendegradasi hidrokarbon minyak bumi.

Terjadi pertumbuhan yang lebih tinggi pada mangrove *Rhizophora mangle* yang ditanam pada sedimen terkontaminasi minyak (46.3 cm) dibandingkan yang ditanam dalam sedimen tanpa kontaminan minyak (34.4cm dalam waktu 90 hari. Efisiensi degradasi TPH menunjukkan 87%. Keadaan ini menunjukkan adaptasi yang baik dari mangrove *Rhizophora mangle*[13].

Penelitian yang sama menggunakan mangrove *Avicenia schaueriana*. Setelah 90 hari, ditemukan bahwa fitoremediasi lebih efisien dalam degradasi TPH dibandingkan dengan bioremediasi. Fitoremediasi mengurangi konsentrasi awal 32,2-4,2 mg/g konsentrasi minyak. *A. schaueriana* juga lebih efisien dalam mengatasi degradasi dari fraksi yang berbeda dari hidrokarbon, mencapai efisiensi sebesar 87%. Hasil bioremediasi menunjukkan pertumbuhan yang lebih tinggi dalam model dan tanaman menunjukkan kemampuan fitostimulasi[13].

Fitoremediasi menunjukkan potensi besar sebagai sarana memulihkan habitat lahan basah tercemar minyak dan meningkatkan degradasi minyak dalam tanah. Mangrove dapat ditanam pada rawa yang terkontaminasi dengan residu minyak setinggi 100 mg/g dan tanah yang terkontaminasi minyak 250 mg/g/l. Selain itu aplikasi pupuk meningkatkan pertumbuhan. Dengan peningkatan biomassa maka toksisitas minyak mentah menurun melalui proses pelapukan.

Sehingga, cukup waktu harus dilalui setelah tumpahan minyak sehingga toksisitas akan berkurang dan penanaman mangrove akan berhasil [14].

4. KESIMPULAN

Jenis mangrove muda *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera sp*, *Sonneratia sp* dan *Avicenia sp* menunjukkan toleransi terhadap cemaran minyak. Hasil pengujian toleransi mangrove terhadap cemaran minyak hingga minggu ke 13 tergolong dalam klasifikasi fitostabilisasi.

Penurunan Total Petroleum Hidrokarbon terjadi pada semua perlakuan konsentrasi minyak. Penurunan tertinggi tampak pada *Rhizophora mucronata* dalam semua perlakuan dan waktu pengamatan. Pengamatan pada minggu ke-6 menunjukkan rata-rata penurunan TPH sebesar 38,1% dari konsentrasi minyak 10%, 21,1% dari konsentrasi minyak 20% dan 21,1% dari konsentrasi 30%. Sedangkan pengamatan pada minggu ke-12 menunjukkan rata-rata penurunan TPH sebesar 81,6% dari konsentrasi minyak 10%, 69% dari konsentrasi minyak 20% dan 66% dari konsentrasi 30%. Hal tersebut

menunjukkan bahwa mangrove muda efektif dalam mendegradasi hidrokarbon minyak bumi.

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa fitoremediasi merupakan proses yang efektif dalam degradasi TPH, maka dapat menjadi pilihan yang menjanjikan dalam penerapan teknik di kawasan mangrove.

DAFTAR PUSTAKA

1. United States Environmental Protection Agency. (1999). Phytoremediation resource guide. Solid Waste and Emergency Response Technology USA.
2. United States Environmental Protection Agency (2001). Use of Bioremediation at Superfund Sites. U.S. EPA, Cincinnati, OH 45268.
3. United States EPA (2005). Use of Field-Scale Phytotechnology for Chlorinated Solvents, Metals, Explosives and Propellants, and Pesticides. Office of Solid Waste and Emergency Response Technology USA.
4. Leahy, J.G and R.R. Colwell. 1990. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbial Reviews*, 53:304-315.
5. Mangkoedihardjo, Sarwoko. 2002. Waterhyacinth leaves indicate wastewater quality. *J. Biosains*, 7 (1): 10-13.
6. Getter, C.D., T.G. Ballou, C.B. Koons. 1985. Effects of dispersed oil on mangroves. Synthesis of a seven year study. *Marine Pollut. Bull.*, 16:318-324.
7. Cintron, G., A.E. Lugo, R. Martinez, B. Cintron, and L. Encamacion. 1985. Impact of oil in the tropical marine environment. Departement of Natural Resources of Puerto Rico.
8. Wardrop, J.A., A.J. Butler, and J.E. Johnson. 1987. A field study of the toxicity of two oils and a dispersant to the mangrove *Avicenia marina*. *Mar. Biol.*, 96:151-156.
9. Proffitt, E., D.J. Devlin and M. Lindsey. 1992. Effect of petroleum on *Rhizophora mangle* and *Avicenia germinans* seedlings. Abstract from 56th Annual Meeting: Florida Academy of Science, Florida.
10. Touchette, B.W., D.K. Stout and B.J. Baca. 1992. Effects of an oil spill in a mangrove mitigation site. Nova University Oceanographic Center and Coastal Science Associates, Inc. Florida.
11. Vandermeulen, J.H. and E.S. Gilfillan, 1985. Petroleum pollution, corals and mangroves. *Mar. Technol. Soc. J.* 18:62-72.
12. Page, D.S, E.S Gilfillan, J.C. Foster, J.R. Hotham, and L. Gonzalez. 1995. Mangrove leaf tissue sodium and potassium ion concentrations as sublethal indications of oil stress in mangrove trees. Proc. Of the 1995 Oil Spill Conference, API, Washington, D.C. Hal. 391-393.
13. Icaro T., A. Moreira, M. Olivia, C. Oliveira, A. Jorge, Triguís, 2011. Phytoremediation using *Rhizophora mangle* L. in mangrove sediments contaminated by persistent total petroleum hydrocarbons (TPH's). *Microchemical Journal*, 01/2011; 99(2):376-382.
14. Lin, Q. and I.R. Mendelssohn. 1998. The combined effects of phytoremediation and biostimulation in enhancing habitat restoration and oil degradation of petroleum contaminated wetlands. *Eco, Eng.* 10 (1998):263-274.

