ANALISIS BIAYA MANFAAT BERBAGAI TEKNIK REMEDIASI AIR TERPRODUKSI DARI KEGIATAN INDUSTRI MINYAK DAN GAS BUMI

Cost-Benefit Analysis of Selected Remediation Techniques of Produced Water from Oil and Gas Industry Activities

Nugroho Adi Sasongko¹⁾, Rani Agustiani²⁾, dan Khusnul Khotimah²⁾

¹⁾Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK)

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Gedung 625 Kawasan PUSPIITEK Serpong - Tangerang Selatan 15314

²⁾Program Studi Keamanan Energi, Universitas Pertahanan Indonesia (UNHAN)
Bogor, Indonesia

Email: nugroho.adi.sasongko@bppt.go.id

Diterima: 23 Oktober 2017; Diperiksa: 16 Nopember 2017; Revisi: 28 Nopember 2017; Disetujui: 12 Desember 2017

Abstract

Oil and gas industries play a crucial role to generate profits for Indonesia foreign exchange and economic development in the country. Its exploration and production activities contribute a negative impact on the environment, such as produced water. To handle the environmental conditions contaminated with petroleum and gas production can be done by bioremediation. The object of this study is to compare and analyze the efficiency of each bioremediation technique regarding the qualitative and quantitative costs and benefits used for handling waste oil and gas industry. The highest benefit to the environment also can be obtained to support the rationalization of the Environmental Protection and Management Act (PPLH) no. 128 in 2003, among others by using bioremediation as an environmentally recovering technique that is exposed to contamination and assists the oil and gas industry in the management of waste. The result of this study found that bioremediation techniques that can be used include: (1) landfarming treatment; (2) bio-cell treatment; (3) composite treatment; (4) bio-venting treatment; (5) bio-slurry treatment; (6) phytoremediation treatment. The best bioremediation techniques are landfarming and phytoremediation. Landfarming only cost USD 30 – USD 70/m³. It can reduce TPH 91.15% for four weeks treatment period. Phytoremediation takes cost USD 21.53 – USD 75.35. it can reduce TPH 36% for one and half weeks treatment period. The methods contribute between 1-10% to the crude oil production cost from a specific oil and gas field.

Keywords: biodegradation, bioremediation, cost-benefit analysis, environmental protection, produced water, oil and gas industries

Abstrak

Industri minyak dan gas memainkan peran penting dalam menghasilkan keuntungan bagi devisa dan pembangunan ekonomi Indonesia. Kegiatan eksplorasi dan produksi memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, contohnya adalah air terproduksi. Untuk mengatasi kondisi lingkungan yang terkontaminasi minyak dan gas bumi dapat dilakukan dengan bioremediasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan dan menganalisis efisiensi setiap teknik bioremediasi mengenai biaya dan manfaat kualitatif dan kuantitatif yang digunakan untuk penanganan industri limbah minyak dan gas bumi. Manfaat lain yang dapat didapat yaitu untuk mendukung rasionalisasi Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan (PPLH) no. 128 pada tahun 2003, antara lain dengan menggunakan bioremediasi sebagai teknik pemulihan lingkungan yang terkena kontaminasi dan membantu industri minyak dan gas dalam pengelolaan limbah. Hasil penelitian ini menemukan bahwa teknik bioremediasi yang dapat digunakan meliputi: (1) pengolahan landfarming; (2) pengolahan bio-cell; (3) pengolahan composite; (4) pengolahan bio-venting; (5) Pengolahan bio-slurry; (6) pengolahan phytoremediation. Teknik bioremediasi terbaik adalah landfarming dan fitoremediasi. Landfarming menghabiskan biaya sebesar USD 30 – USD 70 /m³. Proses pengolahan ini dapat mengurangi TPH 91,15% selama empat minggu masa pemulihan. Fitoremediasi memakan biaya USD 21,53 - USD 75,35/m³. Proses pengolahan ini dapat mengurangi TPH 36% selama satu setengah minggu masa pemulihan. Metode ini menyumbang antara 1-10% dengan biaya produksi minyak mentah dari ladang minyak dan gas.

Kata kunci: biodegradasi, bioremediasi, analisis biaya-manfaat, perlindungan lingkungan, industri air minum, minyak dan gas.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki cadangan minyak dan gas bumi cukup banyak. Hingga saat ini, minyak dan gas bumi masih menjadi salahsatusumber energi utama yang digunakan oleh Indonesia. Selain itu, migas juga masih menjadi salah satu sumber ekonomi yang andal karena bisa menjadi salah satu penghasil devisa bagi Negara. Dengandemikian eksplorasi dan eksploitasi tambang minyak dan gas bumi masih dilakukan secara intensif mengingat potensi cadangan minyak dan gas yang belum dieksplorasi, terutama di daerah terpencil, laut dalam, sumur tua, dan kawasan timur Indonesia yang belum dieksplorasi sepenuhnya (OECD, 2015).

Kegiatan produksi minyak dan gas bumi, tidak hanya memberi manfaat bagi Indonesia namun juga berdampak buruk terhadap lingkungan. Meski sudah diatur dalam UU Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH) no. 128 pada tahun 2003, antara lain dengan menggunakan bioremediasi sebagai teknik pemulihan lingkungan yang terpaparkontaminasi dan membantu industri minyak dan gas dalam pengelolaan limbah yang dihasilkan, namun implementasinya masih belum tepat. Polusi lingkungan akibat kegiatan usaha industri minyak dan gas bumi berpotensi terjadi dari proyek hulu pada saat eksplorasi dan eksploitasi, pada saat pengolahan, transportasi, penyimpanan, dan pada saat komersial. Ketika proyek produksi minyak dan gas berjalan yang berdampak, meliputi: kontaminasi gas hidrokarbon, limbah pengeboran, air yang dihasilkan, tumpahan minyak, dan lumpur minyak.

Eksplorasi minyak dan gas menghasilkan air terproduksi selama proses penyulingan. Air terproduksi dihasilkan dari air lapisan bawah tanah yang ikut terbawa ke permukaan selama produksi minyak dan gas. Air terproduksi memiliki jumlah yang besar dalam minyak dan gas yang telah dieksplorasi. Senyawa kimia yang terkandung dalam air terproduksi tergolong dalam limbah B3 (Berbahaya dan Zat Beracun). Kontaminasi langsung terhadap tubuh manusia akan menyebabkan masalah kesehatan yang serius untuk manusia, termasuk penyebab kematian. Oleh karena itu, sangat penting agar mengambil langkah serius dalam menangani kontaminasi tersebut. Menangani kondisi lingkungan yang terkontaminasi dari air terproduksi dapat dilakukan dengan remediasi secara fisik, kimia dan biologi. Remediasi fisik dan kimia dapat dilakukan hanya untuk jangka pendek dan remediasi yang belum sempurna (transfer massa dengan media lngkungan), hanya dapat menghilangkan sekitar 10-15% dari media laut. Untuk pemulihan remediasi secara sempurna diperlukan dengan teknik biologi (bioremediasi) agar memperoleh hasil yang optimal (Nugroho, 2006).

Ada beberapa teknik bioremediasi yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah polusi yang

sangat beracun untuk makhluk hidup dalam lingkungan produksi minyak dan gas, yaitu: Teknik land venting, Teknik bio-cell, Teknik composite, Teknik bioventing, Teknik bio-slurry, dan Teknik fitoremediasi. Pemerintah melalui Kementerian lingkungan hidup telah mengeluarkan regulasi hukum untuk mengatasi pencemaran lingkungan melalui Kep Men. No 128 tahun 2003, antara lain dengan menggunakan bioremediasi sebagai teknik pemulihan perawatan lingkungan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan rasio biaya dan manfaat diantara beberapa metode teknik bioremediasi yang biasanya dilakukan serta keuntungan yang dihasilkan. Keuntungan menggunakan teknik bioremediasi untuk mengatasi limbah dari industri minyak dan gas akan dianalisa berdasarkan analisis biaya dan manfaat untuk menilai kelayakan ekonomi dan keberlanjutan teknologi di masa depan, yang dapat mendukung rasionalisasi perlindungan lingkungan dan manajemen hukum (PPLH) dan membantu industri minyak dan gas dalam pengelolaan limbah yang dihasilkan.

2. BAHAN DAN METODE

Sumber data untuk studi ini adalah sumber dari literatur, serta penelitiannya masih dalam tahap proses pengembangan. Beberapa kajian studi literatur yang dilakukan oleh beberapa penulis sebelumnya terhadap kontaminasi hidrokarbon minyak, mengungkapkan bahwa Bioremediasi adalah salah satu teknik remediasi dengan biaya yang paling efektif. Oleh karena itu, data yang bersumber dari literatur penelitian ini dilakukan pada wilayah dengan metode yang berbeda dari teknologi bioremediasi diterapkan (Gambar 1).

Bersamaan dengan produksi minyak dan gas, selalu ada air yang ikut terbawa selama proses produksi yang disebut air terproduksi. Air terproduksi akan dibawa ke permukaan ketika minyak atau gas dimanfaatkan. Air terproduksi memberikan kontribusi terbesar sebagai limbah di lingkungan kita. Lebih dari 77 miliar bbl air terproduksi yang dihasilkan per tahun di dunia. Sifat air terproduksi tergantung pada lokasi geografis bidang dan jenis produk hidrokarbon yang membentuk secara berbeda. Air terproduksi larut dan tersebar dalam senyawa minyak. Kemudian, air terproduksi juga terlarut dalam senyawa mineral dan senyawa kimia, sehingga sangat korosif dan juga beracun (Duraisyami, 2013). Indonesia memiliki 82 kegiatan eksplorasi darat dan lepas pantai. Eksplorasi minyak mentah di Indonesia, misalnya memiliki lebih dari 30 kali kasus tentang tumpahan minyak mentah yang menghasilkan air terproduksi selama Tahun 1975-2008.

Teknik yang dapat digunakan untuk mengembalikan kondisi lingkungan polusi dari polusi dari limbah minyak dan gas termasuk:

- Teknik land venting, dimana proses bioremediasi dilakukan dengan mengontrol

Gambar 1. Tahapan Studi Literatur

kondisi lingkungan dalam bentuk kontrol kelembaban, menambah nutrisi dan juga lapangan. Metode ini dapat menghitung sebanyak 80-90%.

- Teknik bio-cell, sebuah metode inovatif untuk mengurangi sejumlah kecil tanah yang terkontaminasi dengan konsentrasi rendah sampai menengah dari hidrokarbon minyak. Teknologi ini mengurangi kandungan hidrokarbon dalam tanah yang terkontaminasi oleh minyak bumi dalam suatu penampungan, dan merangsang aktivitas mikroba aerobik melalui aerasi (Trotsky, 1998).
- Teknik composite, Bio-komposit dapat didefinisikan sebagai bahan yang diproduksi oleh dua atau lebih kombinasi bahan berasal dari makhluk hidup atau bahan baku yang terbarukan.
- Teknik bioventing adalah proses bioremediasi yang dapat dilakukan untuk proses insitu dan ex-situ dengan memanfaatkan lokal mikro-organisme membusuk organik kontaminan diserap ke dalam tanah di zona jenuh (putri, 2013).
- Teknik bio-slurry, adalah teknik dekomposisi berasal dari mikroorganisme ke dalam bentuk cair Lumpur (slurry)
- Teknik fitoremediasi, adalah salah satu teknik bioremediasi yang dapat dilakukan dalam memurnikan kembali lingkungan dari kontaminasi lingkungan dengan cara fitoremediasi. Dalam proses ini, polutan diserap dengan baik menyerap atau oleh penyerapan tanaman, serta melalui degradasi oleh enzim selama metabolisme (Fatmawati, 2013). Fitoremediasi menawarkan alternatif ramah pemulihan karena luas permukaan dapat menyerap zat dan mekanisme yang efisien mengumpulkan air, nutrisi dan mineral, menyerap ion selektif, dan mampu berkembang dan beradaptasi dengan logam berat atau polutan lain pada tingkat tinggi (Carvalho & Martin, 2001; Chojnacka, 2009).

Kajian ini akan membahas tentang analisis biaya dan manfaat dari berbagai jenis remediasi yang telah dijelaskan sebelumnya. Pertimbangan analisis biaya dan manfaat dapat diimplementasikan dalam penggunaan teknologi bioremediasi minyak dan gas. Penilaian dampak sosial dan ekonomi terhadap biaya dan manfaat yang dihasilkan dari perkembangan teknologi memiliki fungsi yang lebih penting daripada sekedar pertimbangan ekonomi dalam menentukan teknologi yang efisien dalam meningkatkan perekonomian negara dan industri dan kesejahteraan rakyat. Selain itu, analisis biaya dan manfaat juga mempertimbangkan manfaat dan siapa yang akan membayar atau akan dikenakan biaya dari pengembangan teknologi ini. Oleh karena itu, penilaian sosial termasuk dilema moral dan teoritis, seperti yang diperkenalkan dalam kriteria elektif Hicks-Kaldor bahwa teknologi yang efisien memiliki potensi untuk menghasilkan keberlanjutan dampak dalam kesejahteraan masyarakat di suatu negara. Kondisi ini hanya

akan terjadi jika ada kebijakan baru yang ditemukan yang dapat membuat kondisi kesejahteraan masyarakat setiap individu lebih baik atau sama dengan kondisi seperti kondisi teknologi lama (Perkins, 1994).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Industri pertambangan minyak di Indonesia telah menghasilkan banyak kasus pencemaran limbah yang sangat berbahaya. Minyak yang dihasilkan dari fasilitas produksi minyak dan gas yang memiliki bahan bakar yang disimpan di bawah tanah atau di atas tanah, pemeliharaan dan peralatan area produksi, dimana terjadi tumpahan minyak di tanah. Industri swasta juga menghadapi masalah yang sama di tempat produksi minyak dan gas. Pembuangan off-site secara tradisional dapat digunakan untuk membuang limbah dalam jumlah kecil dari tanah yang terkontaminasi. Namun, pembuangan off-site sangat mahal.

(Sumber: Satya, 2007)

Gambar 2. Kondisi Kejadian Tumpahan Minyak yang menghasilkan Air Terproduksi di Indonesia

Sumber-sumber tumpahan minyak berasal dari perusahaan lokal (Pertamina), perusahaan asing (Chevron, Exxon, BP, Medco). Oleh karena itu, upaya keras untuk meminimalkan dampak polusi minyak benar-benar diperlukan. Beberapa regulasi meliputi PP No. 23 tahun 1997 tentang pengelolaan lingkungan hidup, Peraturan Pemerintah Nomor 17 tahun 1974 tentang eksplorasi, Peraturan Pemerintah No. 19 tahun 1973 mengenai pencegahan lingkungan, Peraturan Pemerintah No. 82 dari 2001 mengikat pencemar untuk membayar kerusakan, Keputusan bersama komunikasi laut Direktur Jenderal dan Direktur Jenderal minyak dan Gas Alam No. DKP 49/1/1 1981 dan No. DKP 49/1/2 1981 untuk prosedur untuk memerangi polusi minyak di Selat Malaka dan Singapura, Menteri Komunikasi Surat Keputusan No. KM 86 tahun 1990 mengenai pencegahan polusi dan perlindungan lingkungan hidup dan pengelolaannya (PPLH) no. 128 tahun 2003 tentang bioremediasi sebagai teknik lingkungan pemulihan.

Air terproduksi yang dihasilkan mengandung hidrokarbon minyak bumi yang tinggi, kita bisa melihatnya di total hidrokarbon minyak air terproduksi (TPH). Air terproduksi juga mengandung elemen anorganik, dan juga beberapa bahan kimia senyawa yang ditampilkan

pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi (mg/kg atau part per million) kandungan anorganik di air terproduksi

Kandungan	Air laut	Air Terproduksi	
		Konsentrasi Tertinggi	Rata-rata jangkauan
Sodium	10,760	120,000 (J)	23,000-57,300
Chloride	19,353	270000 (P)	46,100-141,000
Calcium	416	205,000 (P)	2530 - 25,800
Magnesium	1294	26,000 (D)	530 - 4300
Potassium	387	11,600 (D)	130 - 3100
Sulfate	2712	8400 (T)	210 - 1170
Bromine	87	6000 (J)	46 - 1200
Strontium	0.008	4500 (P)	7 - 1000
Ammonium	-	3300 (P)	23 - 300
Bicarbonate	142	3600 (T)	77 - 560
Iodide	1767	1410 (P)	3 - 210
Boron	4.45	450 (T)	8 - 40
Carbonate	-	450 (M)	30 - 450
Lithium	0.17	400 (J)	3 - 50

Untuk mengatasi kontaminasi tersebut, kita dapat menggunakan teknik bioremediasi ramah lingkungan. Bioremediasi adalah proses yang dilakukan untuk menurunkan kontaminasi yang terjadi di lingkungan baik dalam air, udara dan tanah dengan bantuan dari mikroorganisme melalui teknik bioremediasi. Bioremediasi dapat menjadi salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk mengontrol kontaminasi logam berat yang membahayakan tubuh secara ekonomi. Selain itu, bioremediasi dapat dilakukan baik di situ, langsung tempat kontaminasi dan alam, atau ex-situ, penghapusan fisik bahan terkontaminasi ke situs Ruangan Khusus (Hardiani, 2011). Kisaran konsentrasi ($\mu\text{g/L}$ = ppb) beberapa logam dalam air laut dan menghasilkan air yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jangkauan Konsentrasi ($\mu\text{g/L}$ = ppb) Beberapa logam berat di air laut dalam air terproduksi

Logam Berat	Air laut	Air Terproduksi (Gulf of Mexico)
Arsenic	1 - 3	0.5 - 31
Barium	3 - 34	81,000 - 342,000
Cadmium	0.001 - 0.55	< 0.05 - 1.0
Chromium	0.03 - 0.35	< 0.1 - 1.4
Copper	0.03 - 0.35	< 0.2
Iron	0.008 - 2.0	10,000 - 37,000
Lead	0.001 - 0.1	< 0.1 - 28
Manganese	0.03 - 1.0	1,000 - 7,000
Mercury	0.00007 - 0.006	< 1.0 - 7.0
Nickel	0.1 - 1.0	< 1.2
Vanadium	1.9	10 - 3,600
Zinc	0.006 - 0.12	
Phosphorus		17.0 mg/l
Organic Carbon		≤ 0.1 - > 11,000 mg/l
Nitrate		31.0 (mg/l)
Nitrite		1.40 (mg/l)
BOD		16,330 mg/l

Dalam proses bioremediasi, mikroorganisme menyerap bahan pencemar dalam dua cara: penyerapan polutan yang bergantung pada metabolisme dan penyerapan polutan yang independen terhadap metabolisme mikroorganisme. Proses penyerapan polutan yang tidak termasuk dalam metabolisme mikroorganisme

terjadi pada permukaan dinding sel serta permukaan eksternal lainnya. Penyerapan terjadi misalnya oleh pertukaran ion, kompleks formasi atau adsorpsi (Salmariza, 2012).

Penelitian dan penerapan bioremediasi telah dimulai di Indonesia (Aditiawati et al., 2001; Sugoro dan Aditiawati, 2003); Namun, di lingkungan laut dan juga air terproduksi masih perlu ditangani karena permasalahannya yang lebih rumit dan kompleks. Oleh karena itu, studi komprehensif dalam biodegradasi proses yang melibatkan berbagai faktor seperti polutan, mikroorganisme, sumber energi, fisik dan kimia kondisi, toksisitas, kompetisi, dan metabolit akumulasi harus dilakukan.

Berikut pertimbangan proses remediasi berbagai teknik yang dapat digunakan adalah:

a). Land venting (Bio-kompos)

Salah satu teknik bioremediasi yang dapat dilakukan untuk mengatasi pencemaran minyak dan gas limbah adalah biokompos. Melalui biodegradasi, bio-kompos ini mampu merendahkan hidrokarbon minyak sebesar 58% dengan kombinasi mikroba dan tanaman 162 hari percobaan (Tang, 2010). Untuk mengukur hasil dari teknik ini, antara lain dapat dari PH, kapasitas menahan air, kadar, kadar abu, dan juga Total minyak hidrokarbon (TPH).

PH pada kondisi tanah yang diberikan tanah pertanian perawatan biasanya akan mengalami penurunan pH. Aktivitas mikroorganisme penyebab alkana dalam minyak bumi berbentuk alkohol yang kemudian akan membentuk asam lemak. Kemudian, asam lemak teroksidasi dan membentuk asam asetat dan asam propionat yang menurunkan nilai pH. Berikutnya adalah aktivitas mikroorganisme konten, metabolik air untuk menurunkan Perminyakan kontaminasi sangat penting. Mikroba akan tinggal di interaksi minyak dan air yang sangat mempengaruhi proses degradasi. Dalam proses perbaikan, jumlah kandungan air akan meningkat sehingga proses degradasi minyak akan dengan cepat mengambil tempat. Selain kadar air, hal berikutnya yang perlu diperhatikan adalah kemampuan mengikat air. Minyak yang terkontaminasi di tanah, dapat diatasi dengan teknik ini untuk menyerap air terproduksi di dalam tanah. Teknik land farming ini dapat meningkatkan porositas tanah sehingga dapat menahan air terproduksi hingga 40-60%. Selain itu, mikroba akan membuat kontaminasi menjadi salah satu sumber nutrisi untuk mikroba. Setelah itu, hal ini juga perlu untuk mengetahui tingkat abu setelah perbaikan lahan pertanian teknik. Penyediaan bio-kompos memberikan pengaruh yang signifikan dalam bentuk kandungan abu meningkat pada akhir proses. Tingkat peningkatan abu disebabkan oleh mineralisasi proses metabolisme tanaman dan mikroba di daerah remediasi. Mineral ini

tersedia dalam bentuk organik garam, Garam anorganik. Selain itu, ada juga senyawa organik kompleks dalam yang menunjukkan kesuburan tanah. Selain itu, teknik Land venting akan dapat membantu degradasi hidrokarbon minyak. Teknik ini dapat menurunkan tingkat TPH sebanyak 91.15% (Aliyanta, 2011). Untuk pengolahan tanah yang terkontaminasi menggunakan teknik land farming, menurut Federal remediasi teknologi Roundtable (RFTR) (2017), menyatakan bahwa sebelum biaya diremediasi (\$ 25,000 ke \$ 50.000 untuk penelitian laboratorium; biaya \$ 100.000 untuk tes pilot atau bidang demonstrasi. Biaya teknik Land venting: \$ 30 sampai \$ 70 per meter kubik (\$ 25 sampai \$ 50 per halaman kubik).

b). Bio-cell

Bio-cell mampu menghilangkan polutan dalam air terproduksi dalam jumlah beragam, mulai dari kuantitas kecil, dengan hanya mengisi sebagian dari wadah, untuk jumlah besar, dengan menggunakan beberapa wadah (modular pendekatan). Menambahkan kelembaban dan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor dapat meningkatkan aktivitas mikroba. Aktivitas mikroba mendegradasi konstituen minyak bumi berbasis adsorbed untuk mengurangi konsentrasi ini kontaminan. Teknologi bio-cell memiliki biaya tertinggi remediasi.

Panduan aplikasi Bio-cell "TR-2092-ENV menyediakan aplikasi untuk instalasi desain, prosedur operasi dan pemeliharaan, dan ekonomi bagi Angkatan Laut. Daftar peralatan dasar dan bagian-bagian yang diperlukan untuk membangun sebuah bio-cell. Bio-cell ini mampu mengurangi TPH 57.14%, rincian efektivitas operasi bio-cell, mencakup unit biaya per yd^3 diamortisasi lebih dari 5 tahun dengan tiga operasi per tahun, masing-masing \$ 53,4/ m^3 untuk satu bio-cell, \$48.07/ m^3 untuk dua bio-cell, dan \$ 45,2/ yd^3 untuk tiga bio-cell. Oleh karena itu, tanah harus ditimbun sampai bio-cell dapat dioperasikan pada kapasitas 100 persen. Bila dibandingkan dengan biaya pembuangan off-site, teknologi bio-cell yang digunakan berkisar antara \$52.3 m^3 dan \$627.8/ m^3

Teknologi bio-cell dapat menjadi pilihan yang sangat hemat biaya. Teknologi bio-cell menawarkan keuntungan sebagai berikut:

- Sistem bio-cell relatif mudah untuk merancang dan membangun.
- Pada situs-situs angkatan laut, teknik ini dapat diselesaikan dalam waktu yang relatif singkat 3 sampai 6 bulan; bio-cell memungkinkan biaya kompetitif daripada biaya off-site
- bio-cell berlaku untuk berbagai macam kondisi dan berbasis kontaminasi minyak bumi
- Volume tanah yang diperbaiki berkisar

antara 20 sampai 200 yd^3 per tahun.

c). Teknik Composite

Teknik Composite sebagai membran hijau menunjukkan potensi besar dalam mengatasi air terproduksi. Konsentrasi nitrogen, fosfor, hidrokarbon jumlah memanfaatkan bakteri (THUB), total heterotrof bakteri (THB) dan total minyak hidrokarbon ditentukan menggunakan remediasi oleh Teknik Composite di ladang minyak mentah yang terkontaminasi. Statistik menunjukkan bahwa teknologi membran teknik composite berkontribusi hingga 53% dari total air terproduksi, yang meningkat seiring permintaan di teknologi membran komposit. Utamanya karena teknologi ini sendiri memiliki kemampuan untuk diterapkan dalam industri berkelanjutan. Idealnya, membran harus memiliki karakteristik seperti peningkatan efisiensi penggunaan, baik mekanik, termal, dan stabilitas, biaya rendah, dan pemeliharaan yang minimal. Pemakaian membrane juga memungkinkan peningkatan kualitas industri, konsumsi energi rendah, dan tanpa bahan kimia tambahan yang diperlukan bila dibandingkan dengan konvensional teknologi. Ini menjadikan membran sebagai teknologi ekonomis dengan potensi dalam berbagai bidang seperti pemisahan, filtrasi dan katalis untuk pengolahan air (Hanif, 2016). Untuk perawatan ini, biaya \$62/ m^3 untuk harga minimal \$250/ m^3 untuk harga maksimum untuk 21 hari (SJ, 2014).

d). Bioventing adalah teknologi baru yang menjanjikan yang merangsang biodegradasi insitu alami di tanah dengan menyediakan oksigen untuk mikroorganisme tanah yang sudah ada. Berbeda dengan tanah uap vakum ekstraksi, bioventing menggunakan laju aliran udara rendah untuk menyediakan hanya cukup oksigen untuk mempertahankan aktivitas mikroba.

Dalam perbaikan dilakukan dengan teknik bioventing, pH pada menghasilkan perubahan air cenderung tidak teratur selama proses budaya. pH cenderung meningkat, tetapi masih dalam batas wajar mulai dari 6-8. Perubahan pH ini membuktikan keberadaan kegiatan bakteri dalam proses biodegradasi (putri, 2013). Selama proses degradasi yang berlangsung 5 minggu, penurunan nilai TPH akhir diperoleh sebanyak 82.21%. Biaya yang dihabiskan pada teknologi ini dapat dibagi menjadi dua skenario, yaitu skenario untuk tanah kecil dan area yang luas. Tanah kecil biaya mencapai \$ 928 / m^3 - \$ 970 / m^3 . Padahal, untuk tanah besar biaya yang diperlukan adalah \$ 79 / m^3 - \$ 109 / m^3 . Semakin besar daerah yang akan diremediasi, biaya akan lebih murah (RFTF, 2017).

e). Bio-slurry

Bio-slurry digunakan untuk mengurangi beracun dalam air karena minyak minyak telah menjadi masalah lingkungan yang signifikan karena racunnya. Degradasi logam berat (Zn,

Cd dan Pb) menunjukkan bahwa ketika Bio-slurry ditambahkan sebagai remediasi, itu dipercepat rincian logam berat menjadi 34 persen dalam 21 hari, dibandingkan dengan kontrol. Bio-slurry tampaknya untuk mendukung pertumbuhan mikroba maksimum yang mengakibatkan tertinggi disipasi logam berat. Meskipun potensi manfaat ekonomi dari peningkatan hasil melalui penggunaan bio-slurry tinggi, sulit untuk mengukur peningkatan kemungkinan hasil di situs tertentu tanpa rinci dinamis simulasi pemodelan dan analisis remediasi. Biaya perawatan menggunakan bio-slurry berkisar dari \$130 untuk \$200 per meter kubik (\$100-\$150 per halaman kubik). Biaya berkisar \$160-\$210 per meter kubik (\$125 sampai \$160 per halaman kubik) dikeluarkan ketika bio-slurry off-gas telah diperlakukan dengan lebih lanjut yang menunjukkan kemampuan bioremediasi baik terlepas dari jenis polutan hidrokarbon dan konsentrasi (Uma, 2014).

f). Fitoremediasi

Fitoremediasi pada hidrokarbon minyak: berbagai tanaman telah diidentifikasi untuk potensi fitoremediasi dalam menangani kontaminan dengan minyak hidrokarbon. Di sebagian besar studi, rumput dan kacang-kacangan telah menjadi bagian dari kontaminan air terproduksi yang diatasi dengan teknik fitoremediasi dalam hal ini (Aprill dan Sims, 1990; Qiu et al., 1997; Gunther et al, 1996; Reilley et al., 1996). Namun, Ndimele (2008) begitu juga dengan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Banyak manfaat fitoremediasi telah didirikan atau dihipotesiskan:

- Fitoremediasi dapat kurang invasif dan merusak dibandingkan dengan teknologi lain.
- Penelitian telah menunjukkan bahwa menerapkan fitoremediasi dapat mengakibatkan penghematan biaya 50 sampai 80 persen atas teknologi tradisional (EPA2000b).
- Fitoremediasi mungkin memberikan habitat hewan, mempromosikan keanekaragaman hayati, dan membantu mempercepat pemulihan ekosistem yang sebelumnya terganggu oleh aktivitas manusia di sebuah situs (EPA 2000b; DOE 2003; Wilson 2004).
- Instalasi fitoremediasi dapat meningkatkan estetika brownfields atau situs lainnya terkontaminasi.
- Fitoremediasi dapat mempromosikan lebih baik udara atau kualitas air di sekitar situs (Wilson, 2004). Vegetasi dapat membantu mengurangi erosi oleh angin atau air (Wilson, 2004).
- Menanam pohon juga dapat menyediakan naungan bangunan, membantu untuk mengurangi konsumsi energi (Nowak, 2002).
- Hutan dan vegetasi lainnya berfungsi

sebagai penyerap karbon untuk membantu mengasingkan karbon yang dipancarkan dari sumber lain.

Remediasi dengan menggunakan teknik fitoremediasi memberikan beberapa efek untuk menghasilkan pH air, meskipun tidak yang penting. Hal ini menunjukkan terdapat beberapa kegiatan dari mikroba. Tingkat pH masih asam klorida konten menunjukkan bahwa air masih sangat asin. Pengurangan yang paling signifikan yang diamati pada Direksi yang menunjukkan 5% efisiensi dan sulfat Perminyakan teknologi pengembangan jurnal (ISSN 1595-9104): International Journal; Jan. 2012 - Vol. 6 1 (SO_4^{2-}) dengan sekitar 50% penghapusan. Ini menunjukkan penurunan dalam sampah organik dan peningkatan rasa dan bau. Pengurangan kesadahan total sekitar 7,5% tidak terlalu signifikan sebagai efluen masih agak sulit (140-210 ppm). Penurunan nilai TDS cukup kecil (sekitar 7,4%), meskipun pengobatan telah membawa tingkat TDS dibawah standar EPA kurang dari 500 ppm. Konten besi mengalami pengurangan sekitar 2,15%. Teknik ini juga mampu mengurangi TPH dalam menghasilkan air sampai 36%. Disisi lainnya, total biaya untuk menghasilkan air diperkirakan \$ 75.35 /m³ untuk pengobatan sulit, \$21.53/m³ untuk mudah perawatan (Dune, 2012). Biaya dan manfaat dari jenis dari teknik bioremediasi terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Biaya dan Manfaat Berbagai Jenis Teknik Bioremediasi

No	Teknik Remediasi	Biaya \$/ m ³		Manfaat		
		Minimum	Makimum	pH	TPH %	Periode (minggu)
1	Land venting	30	70	Lebih rendah	91.15	4
2	Bio-cell	45.2	53.4	Stabil	57.14	12
3	Composite	62	250	Stabil	53	3
4	Bioventing	109	928	Lebih tinggi	82.21	5
5	Bio-slurry	130	210	Lebih tinggi	34	3
6	Phytoremediation	21.53	75.35	Lebih rendah	36	1.5

Gambar 3. Evaluasi Biaya Teknik Bioremediasi

Jika kita lihat dari data dan grafik, kita akan mengetahui bahwa fitoremediasi memiliki biaya minimum daripada teknik yang lain, itu \$ 21.53/m³. Metode ini dapat mengurangi TPH hanya 36% selama 1,5 minggu perawatan. Biaya minimum kedua land venting, dikenakan biaya \$ 30/m³. Dengan demikian, Land venting adalah teknik terbaik untuk mengurangi TPH dari menghasilkan air, yang mampu mengurangi 91.15% untuk jangka

waktu pengobatan 1,5 minggu. Biaya minimum tertinggi adalah bio-slurry \$130/m³. Hal ini dapat mengurangi 34% selama 3 minggu perawatan. Kemudian, bio-cell juga mencakup biaya \$ 45,2 / m³. Hal ini dapat mengurangi TPH sampai 57.14% untuk jangka waktu 12 minggu perawatan. Komposit pengobatan biaya \$ 62/m³. Hal ini dapat mengurangi 53% TPH dalam jangka waktu 3 minggu.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data pada kajian ini, kita dapat menyimpulkan bahwa Landventing adalah teknik terbaik untuk mengatasi air terproduksi. Dibutuhkan biaya \$ 30-\$ 70. Hal ini dapat mengurangi TPH 91.15% selama 4 minggu perawatan. Metode ini berkontribusi antara 1-10% untuk biaya produksi minyak mentah dari bidang minyak dan gas tertentu. Manfaat tertinggi bagi lingkungan juga dapat diperoleh untuk mendukung rasionalisasi perlindungan lingkungan hidup dan pengelolaan (PPLH) No. 128 Tahun 2003, antara lain dengan menggunakan bioremediasi sebagai teknik lingkungan pemulihan yang terkena kontaminasi dan membantu industri minyak dan gas dalam pengelolaan limbah yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiawati P., D. Indriani, N.P. Aryantha., 2001. *Production of biosurfactant by hydrocarbonoclastic bacteria for oil spills bioremediation*. Report on Competitive Grant. Microbiology Laboratory – Biology Department, ITB, Bandung.
- Aliyanta, Barokah., Sumarlin, La Ode., Mujab, Ahmad Saepul. 2011. *Penggunaan Biokompos dalam Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Minyak Bumi*. Uin Syarif Hidayatullah. Jakarta. Jurnal. Valensi Vol. 2No.3, ISSN: 1978 – 8193.
- Asghar, H.M.A., Hussain, N.S., Robert, E.P.L., Brown, N.W., Sattar, H. 2012. *Development of Composite Adsorbent for waste Water Treatment Using Adsorption & Electrochemical Regeneration*. World Academy of Science. International Scholarly and Scientific Research & Innovation. Vol:6, No:12.
- Astri Nugroho, 2006, *Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi*, Graha Ilmu Universitas Trisakti, Indonesia
- Dune, Kingdom K., Ezeilo, Fabian E. 2012. *Secondary Treatment of Produce Water from an Oilfield in Niger Delta Using Phytoremediation Tehnique*. Petroleum Technology Development Journal. ISSN 1595-9104. Vol 1.
- Duraisamy, Rangajan T., Beni., Ali Heydari., Henni Amr. 2013. *Industrial/ Process Systems Engineering, Faculty of Engineering and Applied Sciences, University of Regina, Regina, Saskatchewan, Kanada*.
- Fatmawati, Nur. 2013. *Fitoremediasi Logam Berat Kadnium (Cd)*. Jurnal Biogenesis. ISSN 2302-1616. Vol.1, No.1.
- Hardiani, Hemnggar., Kardiansyah, Teddy., Sygesty, Susi. 2011. *Bioremediasi Logam Timbal (Pb) dalam tanah terkontaminasi Limbah Sludge Industri Kertas Proses Deinking*. Jurnal Selulosa, Vol 1, No. 1.
- Neff, Jerry M., at all. 2011. *Produce Water: Overview of Composition, Fates, and Effect*. Research Gate. : <https://www.researchgate.net/publication/225911658>.
- OECD. 2015. *Survei Ekonomi OECD Indonesia*. OECD Economic Surveys. Indonesia.
- Phraba, Yati., at all. 2016. *Potential of Algae in Bioremediation of Water Waste: Current Researc*. Review Article. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. ISSN: 2319-7706 Volume5 Number 2(2016) pp. 693-700.
- Putri, Marsya Dyasti., Ali, Firdaus., Zulkifliani., 2013. *Bioremediasi Tanah yang Terkontaminasi Minyak Bumi dengan Metode Bioventing Terhadap Penurunan Kadar Total Petroleum Hydrocarbon dan BTEX*. Program Study Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- RFTR. 2017. *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*. <https://frtr.gov/matrix2/section4/4-13.html>
- Salmariza, Sy. 2012. *Pemanfaatan Limbah Lumpur Limbah Activated Sludge Industri Karet Remah Sebagai Adsorben*. Jurnal Riset Industri, Vol. VI No. 2, 2012.
- Sugoro I. and P. Aditiawati, 2003. *Analysis of oil sludge biodegradation by hydrocarbonoclastic bacteria using land farming technique in laboratory scale*. P. 530-536, In D. Natalia (ed.), Proceedings of the Annual Scientific Meeting Indonesian Society for Microbiology 2003 Indonesian Society for Microbiology, Jakarta (In Indonesian).
- Sulistiyono. 2015. *Kegiatan Usaha Industri Migas Hubungannya dengan Dampak dan Tanggung Jawab KElestarian Lingkungan Hidup*. Forum Teknologi. Vol.05 No.2.
- Tech Data Sheet.1998. *Biocell Technology Remediation of Petroleum-Contaminated Soils*: California: Naval Facilities Engineering Service Center Hanif, Noor H, dkk. 2016. *Natural composite membranes for water remediation*. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland 2016 M.I. Ahmad et al. (eds.), Renewable Energy and Sustainable Technologies for Building and Environmental Applications, DOI 10.1007/978-3-319-31840-0_2.
- Trotsky, J., Pal, D. 1998. *Biocell Application Guidance*. Naval Facilities Engineering Service Center. California.
- Uma, Takele. 2014. *Investigation of environmental and economic benefits of bioslurry remediation*. Addis Ababa Institute of Technology