

EFEKTIVITAS SERBUK GERGAJI SEBAGAI CAMPURAN MEDIA PADA REMEDIASI LAHAN TERCEMAR LUMPUR MINYAK BUMI

Tri Retno Dyah L^{*} dan Arief Adhari

^{*)}Bidang Industri dan Lingkungan – Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR)
Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
Jln. Lebak Bulus Raya No.49 Jakarta 12440
Telp 021-7690709, Fax 021-7691607
email : tretno@batan.go.id

ABSTRACT

Effectiveness of Sawdust as Mixture of Media on Remediation of Oil Sludge Contaminated Soil

This study aimed to determine the effectiveness the media mixture of sawdust and residual sludge biogas enriched by functional microorganism to degrade petroleum sludge. Compost was sterilized by using γ -ray irradiation with a dose of 25 kGy which was used as carmer in production inoculant microbial (IM). Variation of sludge treatment used was 20 % oil, 5 % NPK, the addition of IM (inoculants microbial) and without IM, soil were 30 %, 50 % and 80 %, sawdust were 0 %, 10 %, 20 % and 30 %, biogas sludge were 0 %, 10 %, 20 %, 30 % and 40 % (A0, A1, B0, B1, C0, C1, D0, D1, E0, E1, F0, F1). Statistical design using CRD (Completely Randonized Design) in three replication with Duncan's test further. Parameter observations of bioremediation proceas on 0, 30, 60 and 90 days included : temperature , pH , moisture content, ash content, organic matter content and TPH concentrations. The results showed that the optimal conditions bioremediation of soil contaminated with oil sludge was E1 composter, which was a compost irradiated-based consortium of microbial inoculant in a mixture of bulking agent using sawdust 20%, biogas sludge 30 % and soil 30 % to degrade hydrocarbons in oil sludge 20% with an efficiency of 83.14% TPH degradation during 60 days composting. The results of the GC-MS analysis showed that E1 treatment in the initial distribution of hydrocarbon C-7 to C-54 in day-60 degraded to hydrocarbons with rantar with C-6 to C-16.

Keywords : mixture of media, bioremediation, microbial inoculants, degradation, hydrocarbons

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh efektivitas campuran media serbuk gergaji dan *sludge* sisa biogas yang diperkaya dengan mikroorganisme fungsional berbasis kompos iradiasi untuk mendegradasi lumpur minyak bumi. Kompos disteril menggunakan iradiasi sinar- γ dengan dosis 25 kGy, digunakan sebagai bahan pembawa dalam pembuatan mikroba inoculan (IM). Variasi perlakuan yang digunakan adalah lumpur minyak 20%, NPK 5%, penambahan IM (konsorsium inoculan mikroba) dan tanpa IM, tanah 30%, 50% dan 80%, serbuk gergaji : 0%, 10%, 20% dan 30%, *sludge* biogas : 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% (A0, A1, B0, B1, C0, C1, D0, D1, E0, E1, F0, F1). Rancangan percobaan menggunakan 3 ulangan dengan RAL serta digunakan analisa statistik ANOVA dengan uji lanjut *Duncan*. Pengamatan parameter proses bioremediasi pada hari ke-0, ke-30, ke-60 dan ke-90 meliputi : suhu, pH, kadar air, kadar abu, kadar bahan organik, serta konsentrasi TPH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimal bioremediasi lahan tercemar lumpur minyak adalah *composter* E1, yakni konsorsium inoculan mikroba berbasis kompos radiasi di dalam campuran media menggunakan serbuk gergaji 20% dan *sludge* biogas sebesar 30% serta tanah 30% mampu mendegradasi hidrokarbon dalam *oil sludge* sebesar 20% dengan efisiensi degradasi TPH sebesar 83,14% selama 60 hari. Analisis GC-MS pada perlakuan E1 menunjukkan bahwa pada hidrokarbon awal distribusi C-7 sampai C-54 sampai hari ke-60 terdegradasi menjadi hidrokarbon dengan rantar dengan C-6 sampai C-16.

Kata Kunci : campuran media, bioremediasi, mikroba fungsional, degradasi, hidrokarbon

PENDAHULUAN

Menurut PP No.85 tahun 1999 *oil sludge* dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan berbahaya dan Beracun). Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan agar tidak mencemari lingkungan. Kandungan terbesar dalam *oil sludge* adalah *petroleum hydrocarbon* yang dapat diolah dengan proses bioremediasi. Bioremediasi merupakan suatu proses pemulihan (remediasi) lahan yang tercemar limbah organik maupun limbah anorganik dengan memanfaatkan mikroorganisme fungsional. Mikroorganisme fungsional yang berperan adalah mikroba *indigenous* yaitu mikroba yang hidup di lingkungan tercemar dan mikroba *eksogenous* yaitu mikroba yang ditambahkan dari luar dan berpotensi tinggi untuk mendegradasi hidrokarbon. Degradasi hidrokarbon berlangsung dalam suasana aerob. Proses bioremediasi tersebut dapat dilakukan secara pengomposan [15]. Selain itu laju biodegradasi dalam proses remediasi tanah tercemar dapat ditingkatkan dengan penambahan campuran media yang dipergunakan untuk memperbaiki permeabilitas, *water holding capacity* dan porositas untuk meningkatkan laju biodegradasi dalam proses pemulihan [18]. Campuran media tanah tersebut berfungsi sebagai pengatur porositas, kelembaban, dan sumber nutrisi. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan serbuk gergaji sebagai bahan campuran medium tanah dalam bioremediasi lahan tercemar hidrokarbon memberikan hasil yang optimal [19].

Kelompok Lingkungan, bidang Industri dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, PAIR-BATAN telah mengembangkan konsentrat yang berisi kultur mikroba pendegradasi hidrokarbon berbasis kompos iradiasi. Mikroorganisme fungsional yang digunakan adalah konsorsium fungi (F) pendegradasi minyak (*Aspergillus niger* dan *Trichoderma zeamum*) dan sebagai konsorsia mikroba *non-indigenous* (B) adalah *Bacillus sphaericus*, *Bacillus cereus* dan *Pseudomonas aeruginosa* yang merupakan hasil isolasi dari Pertambangan

minyak Rakyat di Cepu, Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas komposisi serbuk gergaji dan *sludge* sisa biogas sebagai bahan campuran campuran media pada proses bioremediasi lahan tercemar *oil sludge* untuk mengoptimalkan mengoptimalkan % laju degradasi TPH (*Total Petroleum Hydrocarbons*) dan aplikasi hasil remediasi pada tanaman uji.

BAHAN DAN METODA

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah : sampel lumpur minyak bumi dari Cepu, *sludge* sisa biogas yang telah dikomposkan, serbuk gergaji, konsorsium inokulan mikroba pendegradasi hidrokarbon hasil isolasi kelompok Lingkungan PAIR – BATAN, bahan pembawa berupa kompos yang telah diradiasi dengan dosis 25 kGy dan pupuk urea, SP-36 serta KCl sebagai sumber nutrisi nitrogen dan fosfor. Bahan kimia yang digunakan meliputi : larutan buffer, H₂SO₄ pekat, n-heksana, selenium mixture merk 10830, NaOH, H₃BO₃ dan HCl 0,01 N. Alat yang digunakan terdiri dari wadah/tong (diameter 40 cm dan tinggi 60cm) sebagai *composter* tempat proses bioremediasi secara pengomposan dan alat-alat laboratorium lainnya (gelas ukur, oven, pH meter, termometer, tanur dan lainnya).

Metode

Pembuatan inokulan

Bahan pembawa berupa kompos sebanyak 9 gr dengan ukuran partikel sekitar 200 µm dan kadar air 22,23% dikemas dalam kantong plastik (*polyethylene*) dan ditutup rapat dengan *sealer*. Kemudian disterilkan dengan iradiasi gamma pada dosis 25 kGy [9]. Bahan pembawa steril tersebut digunakan sebagai media pada pembuatan konsorsia inokulan F yang terdiri dari *Aspergillus niger*, *Pseudomonas aeruginosa* dan *Trichoderma zeamum* sedangkan inokulan

B adalah *Bacillus sphaeric* dan *Bacillus cereus* dengan konsentrasi masing – masing sekitar 10^9 cfu/g. Konsorsia inokulan mikroba indigen (F) dan eksogen (B) tersebut diinkubasi pada suhu 28°C selama 14 hari, sebelum digunakan sebagai stimulan *Bulking agent* dalam bioremediasi lahan tercemar lumpur minyak bumi.

Bioremediasi secara pengomposan

Konsentrat yang berisi kultur mikroba pendegradasi hidrokarbon berbasis kompos iradiasi tersebut didilusi/diencerkan sampai 10^7 cfu/gr dengan penambahan 10% molasses yang telah dipanaskan, kemudiam dilakukan penggoyangan selama ± 24 jam. Kultur

mikroba dalam bentuk cairan tersebut dicampurkan ke dalam tanah, serbuk gergaji, *sludge* biogas dan *oil sludge* serta diberi penambahan NPK sebanyak 5% dari kandungan *oil sludge* (komposisi variasi perlakuan dilihat pada Tabel 1). Kelembaban tanah dijaga sekitar 60 – 65%. Semua bahan yang telah dicampur homogen dimasukkan ke dalam *Composter* yang telah disiapkan. Kemudian dilakukan aerasi dengan pengadukan untuk memberikan suplai oksigen dalam proses bioremediasi. Pengomposan dilakukan dalam *Composter* selama 90 hari dengan melakukan pengukuran parameter proses : suhu, pH, kadar air, kadar abu, kadar bahan organik (KBO) dan TPH.

Tabel 1. Variasi Perlakuan Penelitian

Perlakuan	Tanah (%)	Crude Oil (%)	Serbuk Gergaji (%)	Sludge Biogas (%)	IM
A0	80	20	0	0	-
A1	80	20	0	0	IM
B0	50	20	10	20	-
B1	50	20	10	20	IM
C0	50	20	20	10	-
C1	50	20	20	10	IM
D0	30	20	30	20	-
D1	30	20	30	20	IM
E0	30	20	20	30	-
E1	30	20	20	30	IM
F0	30	20	10	40	-
F1	30	20	10	40	IM

Keterangan : IM = Inokulam Mikroba, *Aspergillus niger*, *Trichoderma zeamum*, *Bacillus sphaericus*, *Pseudomonas Aeruginosa* dan *Bacillus cereus*

Tingkat % degradasi TPH diukur dengan rumus sebagai berikut (Ijah&Upke, 1992 dalam [11]) :

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{\text{TPH}_0 - \text{TPH}_t}{\text{TPH}_0} \times 100 \%$$

- TPH_0 = TPH hari ke-0 (g)
- TPH_t = TPH hari ke-t (g)

Analisis Senyawa dengan GC-MS

Analisis GC-MS Shimadzu QP 2010 ULTRA dilakukan dengan membandingkan % area senyawa hidrokarbon yang memiliki % efisiensi degradasi TPH terbaik, yakni perlakuan E1 pada awal dan akhir bioremediasi.

Aplikasi Hasil Remediasi

Hasil Remediasi selama 90 hari ditunjukkan dengan makin menurunnya kadar TPH di dalam tanah, sehingga mengindikasikan adanya perbaikan pada lahan yang tercemar lumpur minyak. Oleh karena itu dilakukan aplikasi hasil remediasi menggunakan tanaman uji berupa rumput gajah (*Pennisetum purpureum*).

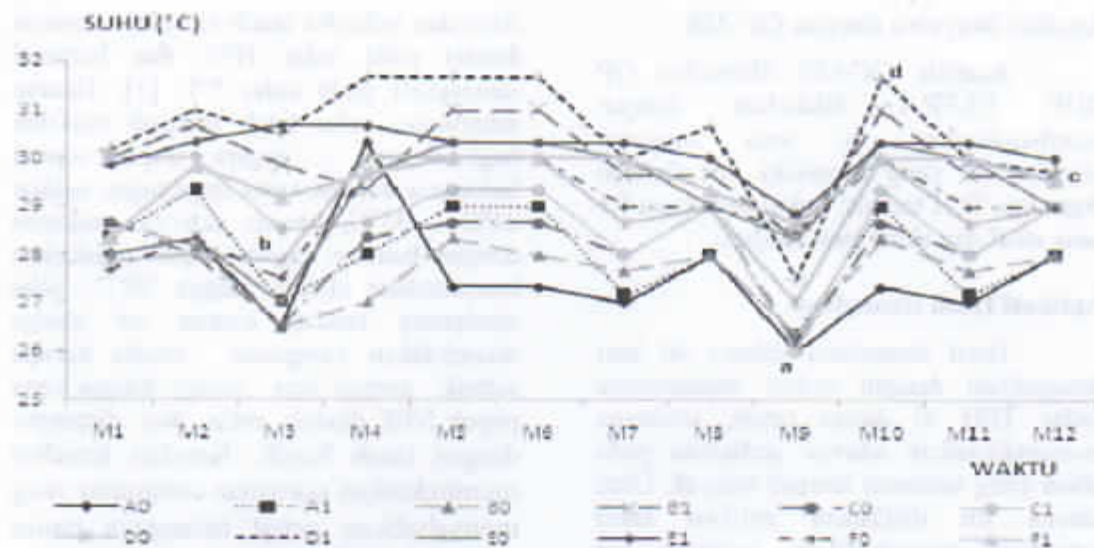
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dan pengamatan parameter dalam pemanfaatan serbuk gergaji sebagai campuran media berbasis kompos radiasi yang diperkaya dengan konsorsia inokulan mikroba hidrokarbonoklastik pada bioremediasi lahan tercemar lumpur minyak bumi selama 90 hari adalah sebagai berikut :

A. Pengaruh suhu pada proses bioremediasi

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa bioremediasi selama 90 hari berlangsung pada suhu berkisar 26°C – 31,7°C. Hal ini sesuai dengan yang diperoleh Atlas *et al* yang menyatakan bahwa laju degradasi cemar lumpur minyak bumi yang optimal terjadi pada suhu antara 20°C – 35°C. [2]. Suhu merupakan pengontrol pada aktivitas metabolik dari mikroorganisme karena degradasi bahan organik secara mikrobiologis terjadi melalui aktivitas enzim. Secara umum peningkatan suhu menunjukkan adanya aktivitas metabolik meningkat karena adanya lebih banyak energi dalam sistem. Aktivitas mikroba meningkat sampai sekitar 45°C namun melampaui suhu ini, kegiatan mikrobiologi akan menurun dan akhirnya berhenti.

Aktivitas mikroba tanah terbukti menurun drastis pada suhu 10°C dan berhenti samasekali pada suhu 5°C [1]. Namun seharusnya suhu tidak menjadi masalah bagi negara – negara tropis seperti Indonesia dengan suhu lingkungan sekitar 24°C – 35°C, karena aktivitas mikroba dengan bantuan enzim dapat melakukan bioremediasi efektif hingga 50°C. Suhu cenderung rendah karena *oil sludge* ditambahkan campuran media berupa serbuk gergaji dan *sludge* biogas serta pupuk NPK diaduk rutin dan dicampur dengan tanah bersih. Kondisi tersebut meningkatkan porositas campuran yang menyebabkan cepat hilangnya panas yang terbentuk. Sedangkan pembalikan dan pengadukan yang terlalu sering akan mempercepat penguapan air yang menyebabkan tumpukan menjadi sulit mengisolasi panas. Suhu tanah memberikan efek yang besar dalam aktivitas mikroorganisme dan laju biodegradasi. Peningkatan suhu sebesar 10°C dapat meningkatkan laju reaksi hingga dua kali lipat [8]. Kenaikan suhu juga akan mempengaruhi kenaikan nilai bio-transformasi dalam aktivitas mikroorganisme, kenaikan solubilitas kontaminan dan penurunan proses adsorpsi kontaminan di dalam tanah. Suhu optimum bagi hampir semua mikroorganisme tanah umumnya 0 – 40°C, walaupun ada beberapa yang dapat hidup pada suhu hingga 60°C (bakteritermofilik). Sedangkan pada suhu rendah, proses biodegradasi akan terhenti. Pada penelitian ini baik pada composter bioremediasi ataupun composter kontrol, suhu tanah berada pada kisaran antara 26°C – 31,7°C (Gambar 1). Kisaran tersebut mengindikasikan bahwa bakteri indigenous yang ada di dalam composter kontrol dan bakteri eksogenous dapat hidup pada suhu normal. Hasil statistik Anova untuk analisis suhu menunjukkan nilai signifikan ($P \leq 0,05$) dilanjutkan uji Duncan yang memperlihatkan beda nyata pengaruh campuran media (serbuk gergaji + *sludge* biogas) dan mikroorganisme fungsional berbasis kompos iradiasi terhadap suhu proses bioremediasi.

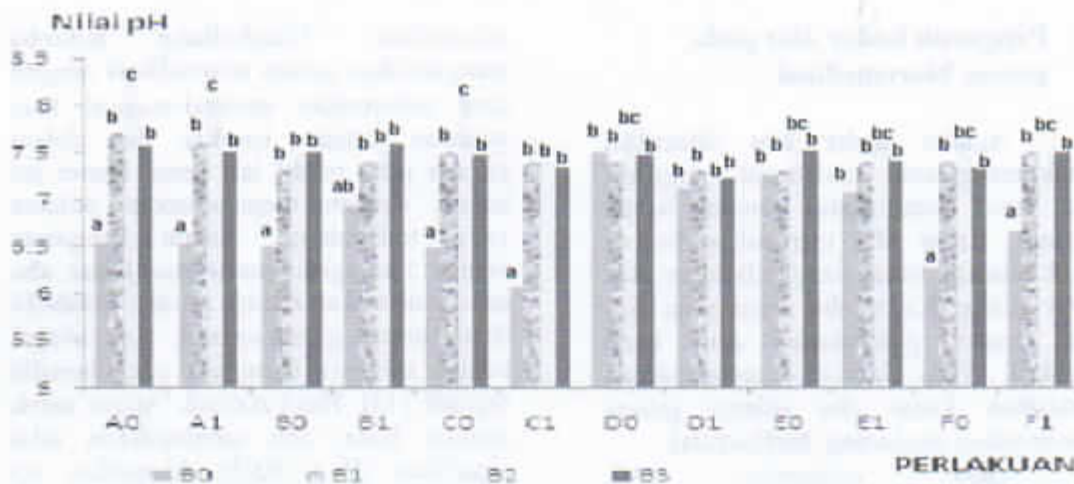


Gambar 1. Pengukuran suhu pada bioremediasi lahan tercemar lumpur minyak.

B. Pengaruh pH pada proses bioremediasi

Pada Gambar 2 ditunjukkan kondisi pH tanah mendekati kisaran 6,1 – 8,3. Hasil pengukuran nilai pH selama 90 hari pengamatan menunjukkan bahwa nilai pH tanah tidak selalu bersifat asam. Pada hari ke-30 nilai pH campuran cenderung agak asam, namun masih sesuai dalam jangkauan pH yang dipersyaratkan. Hal ini disebabkan adanya aktivitas mikroba menghasilkan produk pertama berupa alkohol, aldehid dan asam karboksilat [3]. Produk yang diharapkan adalah CO_2 dan H_2O . Sedang pada hari ke-60 hingga hari ke-90 rata-rata hampir seluruh perlakuan menunjukkan terjadi peningkatan nilai pH hingga cenderung bersifat basa. Terjadinya peningkatan pH pada penelitian mikrokosmos diduga disebabkan oleh adanya kemampuan bakteri dalam melakukan respon toleransi asam dengan mekanisme pompa hidrogen. Beberapa bakteri memiliki kemampuan untuk melakukan upaya homeostatis terhadap keasaman lingkungan sebatas masih dalam toleransi adaptasinya. Caranya dengan melakukan pertukaran kation K^+ dari dalam sel dan menukarnya dengan H^+ yang banyak terdapat di

lingkungannya, sehingga keasaman lingkungan dapat dikurangi [4]. Pada umumnya semua perlakuan juga mengalami penurunan nilai pH. Penurunan nilai pH tersebut diduga disebabkan oleh aktivitas konsorsium bakteri yang membentuk metabolit – metabolit asam. Biodegradasi alkana yang terdapat dalam minyak bumi akan membentuk alkohol dan selanjutnya menjadi asam lemak. Asam lemak hasil degradasi alkana akan dioksidasi lebih lanjut membentuk asam asetat dan asam propionat, sehingga dapat menurunkan nilai pH medium [14]. Nilai pH tanah secara signifikan akan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme. pH akan mempengaruhi reaksi transformasi biotis, kemampuan fungsi-fungsi sel, seperti transportasi melalui membran sel, dan keseimbangan reaksi yang katalisis oleh enzim [13]. Pertumbuhan mikroorganisme akan meningkat apabila pH berada pada kisaran 6 hingga 9 [8]. Dari statistic Anova untuk analisis pH menunjukkan nilai signifikan ($P \leq 0,05$) dilanjutkan uji Duncan yang memperlihatkan beda nyata pengaruh campuran media (serbuk gergaji dan *shudge* biogas) dan mikroorganisme fungsional berbasis kompos iradiasi terhadap pH proses bioremediasi.



Gambar 2. Pengukuran pH dalam proses bioremediasi selama 90 hari

C. Pengaruh kadar air pada bioremediasi

Kadar air sangat penting untuk hidup, tumbuh dan aktivitas metabolik mikroba. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan setiap bulan, kadar air yang terukur berkisar antara 30,03–83,65% seperti yang tertera pada Gambar 3. Nilai yang bervariasi ini diakibatkan karena perbedaan perlakuan pada tiap sampel. Setiap minggunya dilakukan penambahan air pada sampel secara teratur. Pada proses bioremediasi hidrokarbon, kadar air merupakan faktor penting, karena diperlukan untuk aktivitas metabolik dari mikroorganisme pada limbah minyak bumi karena mikroorganisme akan hidup aktif antara interfase air dan minyak [20]. Menurut Fletcher (1992) selama bioremediasi, jika kandungan air terlalu tinggi akan berakibat sulitnya oksigen untuk masuk kedalam tanah sedangkan tanpa air mikroba tidak dapat hidup dalam limbah minyak. Hal ini terlihat pada *composter* A0, A1, B0, B1, C0 dan C1 dengan kandungan tanah bersih 50% - 80% dan *sludge* biogas 10% - 20% sebagai

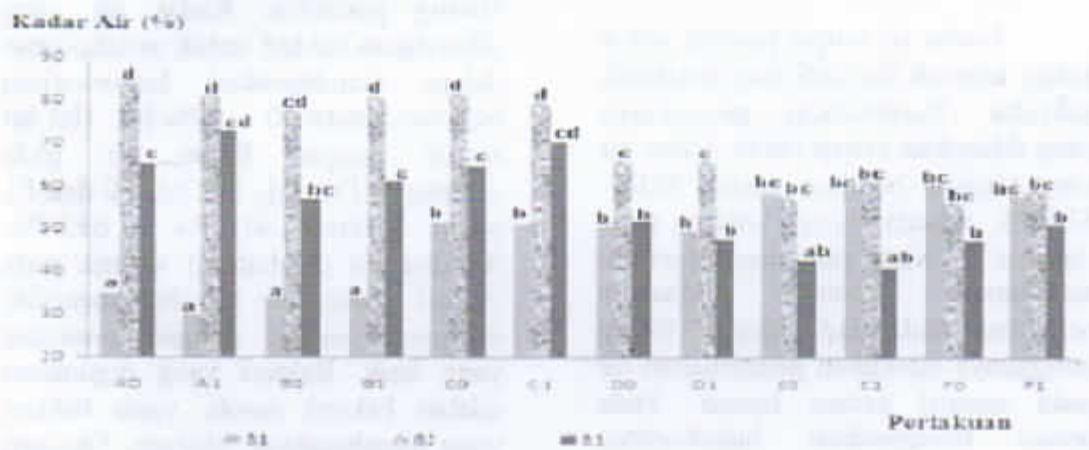
campuran media menyebabkan campuran tersebut terlalu padat dan kurang porositas. Kadar air yang dibutuhkan bakteri untuk metabolisme dalam mendegradasi hidro-karbon berkisar antara 30 – 90% [6]. Hal ini sesuai dengan kadar air pada *composter* D0, D1, E0, E1, F0 dan F1 yakni berkisar 41,13% - 65,84%. Kondisi ini disebabkan karena pada variasi *composter* tersebut memiliki campuran media dengan porositas yang baik. Bakteri yang digunakan adalah bakteri aerob, yaitu bakteri yang membutuhkan oksigen. Oksigen tersebut dapat diperoleh dari udara melalui proses pengadukan dan air. Kadar air yang terlalu tinggi akan berakibat sulitnya oksigen masuk ke dalam tanah dan penurunan kadar air dapat terjadi karena penguapan. Hasil statistik Anova untuk analisis kadar air menunjukkan nilai signifikan ($P \leq 0,05$) dilanjutkan uji Duncan yang memperlihatkan bahwa campuran media (serbuk gergaji + *sludge* biogas) dan mikroorganisme fungsional berbasis kompos iradiasi memberikan beda nyata pengaruh terhadap % kadar air.

D. Pengaruh kadar abu pada proses bioremediasi

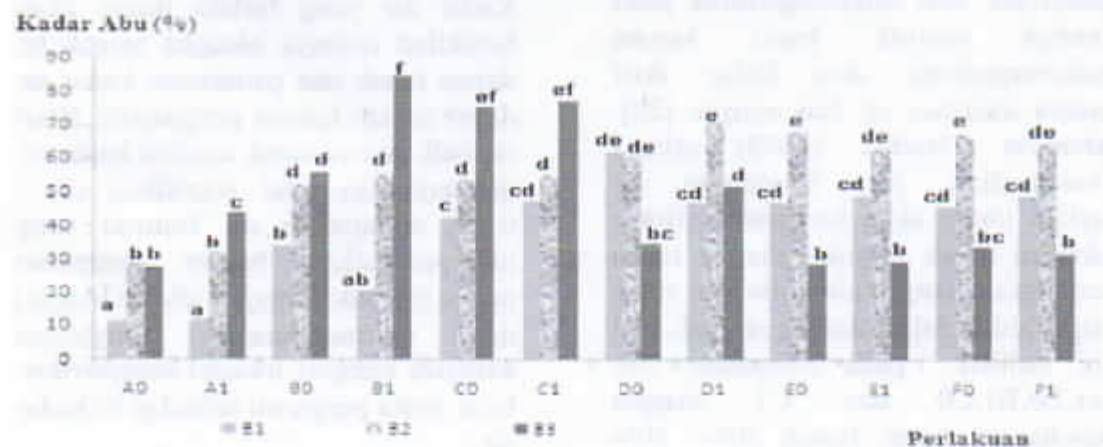
Analisa kadar abu dilakukan untuk mengetahui jumlah zat anorganik sisa hasil pembakaran suatu bahan organik. Kadar abu merupakan bagian berat mineral bahan yang didasarkan atas berat kering. Kadar abu merupakan sisa dari proses pembakaran atau hasil oksidasi. Pada Gambar 4 menunjukkan perubahan kadar abu selama proses bioremediasi cenderung berfluktuasi.

Pada *composter* A0, A1, B0, B1, C0 dan C1 dengan kandungan tanah bersih 50% - 80% sebagai campuran media, akan memiliki kandungan mineral yang lebih besar dibandingkan *composter* D0, D1, E0, E1, F0 dan F1. Kenaikan kadar abu disebabkan oleh adanya proses

mineralisasi. Metabolisme mikroba menyebabkan proses mineralisasi dengan cara melepaskan mineral-mineral hara tanaman dengan lengkap dan dalam jumlah yang relatif tak tentu. Proses ini terjadi dengan memanfaatkan polutan yang terkandung dalam campuran media. Sedangkan penurunan kadar abu mengindikasikan adanya produk metabolit dalam bentuk garam organik atau sebagai bentuk senyawa kompleks yang bersifat organik [12]. Hasil statistik Anova untuk analisis kadar abu menunjukkan nilai signifikan ($P \leq 0,05$) dilanjutkan uji Duncan yang memperlihatkan bahwa campuran media (serbuk gergaji + *sludge* biogas) dan mikroorganisme fungsional berbasis kompos iradiasi memberikan beda nyata pengaruh terhadap % kadar abu.



Gambar 3. Pengukuran kadar air dalam bioremediasi selama 90 hari.



Gambar 4. Pengukuran kadar abu dalam bioremediasi selama 90 hari.

E. Pengaruh kadar bahan organik pada bioremediasi.

Bahan organik tanah merupakan salah satu bahan pembentuk agregat tanah, yang berperan sebagai bahan perekat antar partikel tanah untuk bersatu menjadi agregat tanah. Perubahan kadar bahan organik dalam sampel dapat dilihat pada Gambar 5, yang menunjukkan penurunan kadar bahan organik pada *composter* A0, A1, B0, B1, C0 dan C1 dan peningkatan kadar bahan organik pada *composter* D0, D1, E0, E1, F0 dan F1. Bahan organik tanah berpengaruh terhadap peningkatan porositas tanah. Porositas tanah adalah ukuran yang menunjukkan bagian tanah yang tidak terisi oleh udara dan air. Pori dalam tanah menentukan kandungan air dan udara dalam tanah serta menentukan perbandingan komposisi udara dan air yang baik. Aerasi tanah terkait dengan O_2 dalam tanah. Oleh karena itu bahan organik tanah memberikan pengaruh terhadap aerasi tanah, yang terkait dengan pernafasan mikroorganisme dalam tanah dan akar tanaman [16]. Hasil statistik Anova untuk analisis kadar bahan organik menunjukkan nilai signifikan ($P \leq 0,05$) dilanjutkan uji Duncan yang memperlihatkan bahwa campuran media (serbuk gergaji + *sludge* biogas) dan mikroorganisme fungsional berbasis kompos iradiasi memberikan beda nyata pengaruh terhadap % kadar bahan organik.

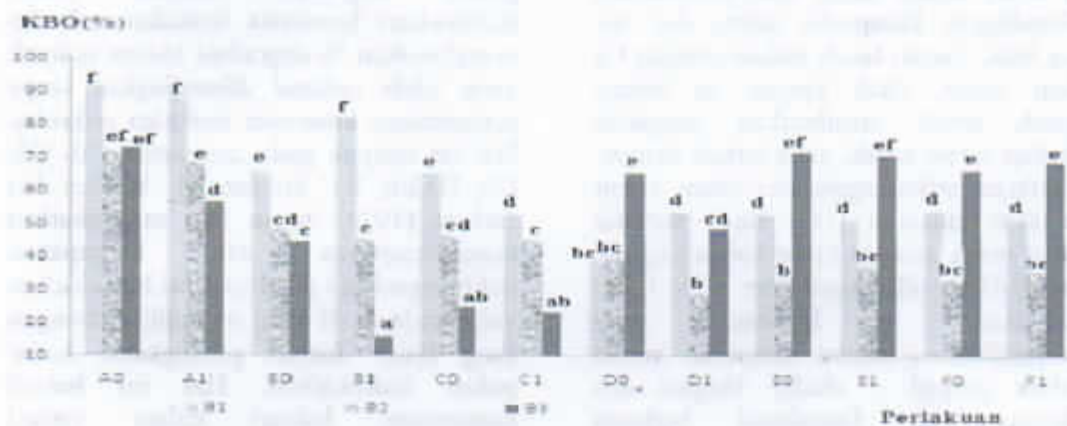
F. Degradasi Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) pada bioremediasi

TPH merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan keberhasilan proses bioremediasi. Dari Gambar 6 terlihat bahwa *composter* E1 yakni bioremediasi selama 60 hari memberikan % efisiensi degradasi TPH yang optimal sebesar 83,14 %. *Composter* E1 menggunakan campuran media berupa serbuk gergaji 20%, *sludge* biogas 30% serta tanah 30% mampu mendegradasi hidrokarbon dalam *oil sludge* sebesar 20% yang diperkaya dengan konsorsium inokulan mikroba berbasis kompos radiasi.

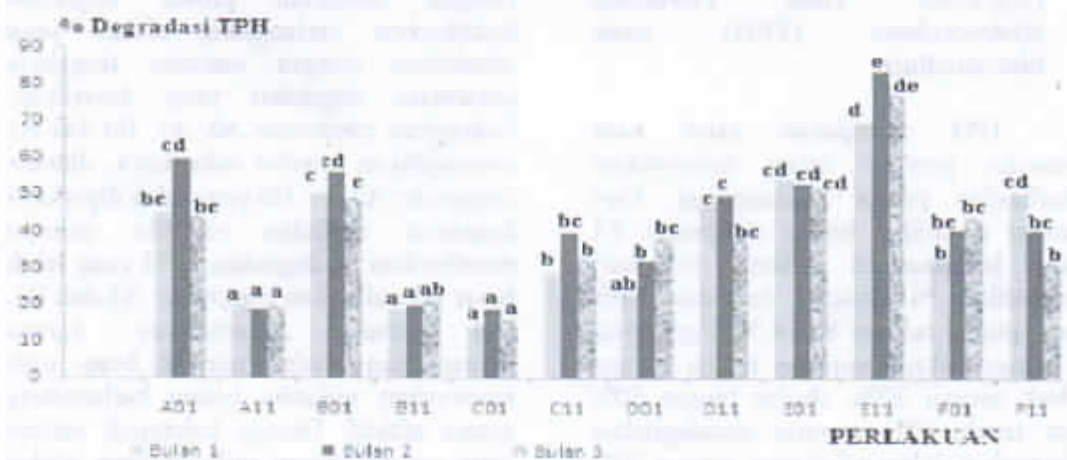
Ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada pemilihan bahan campuran media dalam bioremediasi lahan tercemar lumpur minyak selama 42 hari, mendapatkan % efisiensi degradasi TPH yang optimal sebesar 81,32 % menggunakan konsorsia inokulan mikroba berbasis kompos iradiasi dalam 30 % serbuk gergaji pada konsentrasi tanah 50% [19]. Susunan senyawa yang kompleks seperti minyak bumi menyebabkan suatu spesies tunggal mikroorganisme tidak dapat mendegradasi keseluruhan komponen penyusun minyak bumi tersebut, karena setiap spesies bakteri membutuhkan substrat yang spesifik. Beberapa bakteri yang berinteraksi saling menguntungkan dalam bentuk konsorsium sangat berperan selama berlangsungnya proses degradasi minyak bumi. Keberadaan konsorsia inokulan mikroba menghasilkan % degradasi *sludge* minyak yang lebih optimal dibandingkan tanpa penambahan konsorsia inokulan mikroba. Hal ini tampak pada *composter* C0, C1, D0, D1, E0, E1, F0 dan F1. Walker dan Colwel (1974, dalam [4]) menyebutkan keanekaragaman dan kelimpahan mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon yang terdapat di alam memiliki hubungan yang linier dengan peningkatan kadar polusi hidrokarbon. Hal ini berarti konsorsium bakteri dalam variasi perlakuan ini dapat memanfaatkan *sludge* minyak bumi sedemikian rupa sehingga kelimpahannya semakin meningkat. Dengan demikian proses degradasi hidrokarbon berlangsung efektif yang dibuktikan dengan semakin tingginya persentase degradasi yang dihasilkan. Sedangkan *composter* A0, A1, B0 dan B1 menunjukkan kondisi sebaliknya, dimana *composter* A0 dan B0 yang tidak diperkaya konsorsia inokulan mikroba mampu memberikan % degradasi TPH yang lebih besar dibandingkan *composter* A1 dan B1. Hal tersebut disebabkan karena pemanfaatan *sludge* minyak bumi oleh konsorsium mikroba belum berlangsung secara efektif. Diduga kelompok bakteri yang mendominasi mikrokosmos adalah kelompok mikroba indigenous. Menurut Doerffer [7] senyawa hidrokarbon yang

tertumpah di alam akan mengalami degradasi secara alamiah karena faktor-faktor lingkungan, meskipun laju degradasinya berlangsung lambat. Proses degradasi tersebut meliputi penguapan, teremulsi dalam air, teradsorpsi pada partikel padat, tenggelam dalam perairan serta mengalami biodegradasi oleh mikroba pengguna hidrokarbon. Suhu dapat menyebabkan terjadi penguapan hidrokarbon, terutama senyawa berberat molekul rendah yang biasanya bersifat toksik [10]. Pada penelitian di laboratorium, pengocokan medium dapat berlangsung lebih efektif karena menggunakan *shaker incubator*, tidak demikian dengan penelitian skala mikrokosmos. Faktor pengadukan

mikrokosmos secara manual diperkirakan menyebabkan pencampuran antara tanah sebagai media, *sludge* minyak bumi sebagai sumber polutan serta konsorsium bakteri dalam mikrokosmos kurang homogen. Oleh karena itu suplai oksigen menjadi kurang efektif. Hal ini pun dapat mempengaruhi besarnya persentase degradasi. Hasil statistik Anova untuk analisis % degradasi TPH menunjukkan nilai signifikan ($P \leq 0,05$) dilanjutkan uji Duncan yang memperlihatkan bahwa campuran media (serbuk gergaji + *sludge* biogas) dan mikroorganisme fungsional berbasis kompos iradiasi memberikan beda nyata pengaruh terhadap % degradasi TPH. Pada Gambar 7. Ditunjukkan pengukuran ekstraksi TPH pada hari ke - 60.



Gambar 5. Pengukuran kadar bahan organik pada bioremediasi selama 90 hari.

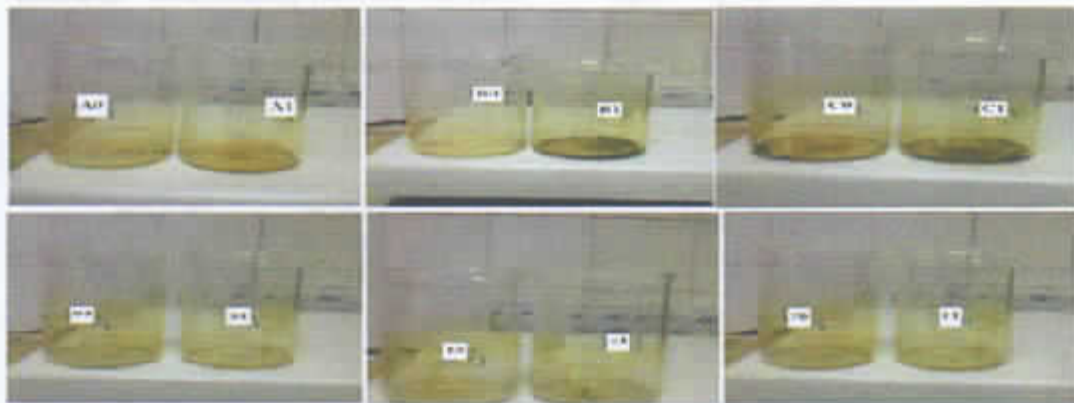


Gambar 6. Pengukuran % degradasi TPH dalam bioremediasi selama 90 hari

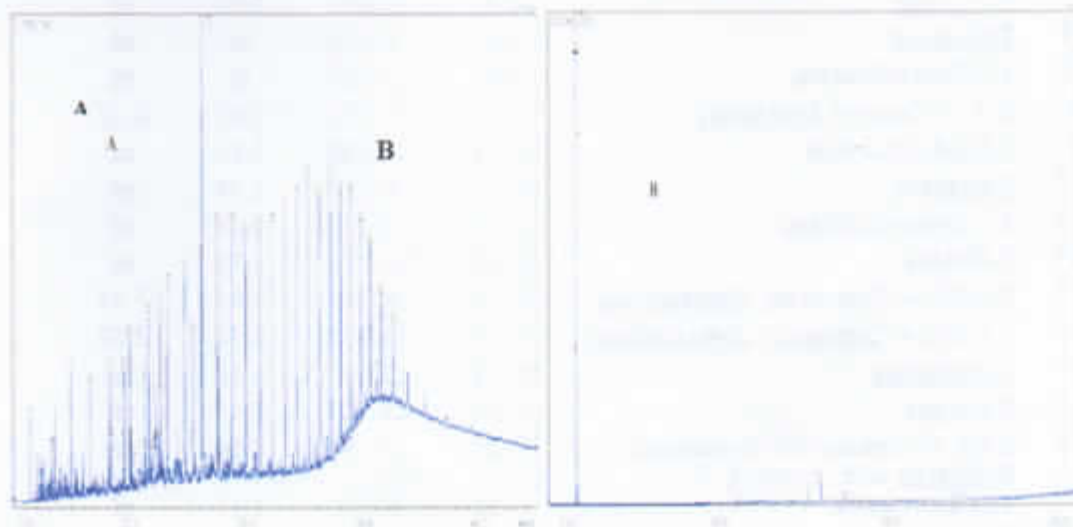
G. Analisis Senyawa dengan GC-MS

Kromatogram hasil GC-MS (*Gas Chromatography- Mass Spectrofotometri*) untuk perlakuan E1 kondisi awal dan akhir bioremediasi ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan kromatogram tersebut menunjukkan bahwa pada akhir bioremediasi yakni hari ke - 60 terjadi penurunan luas area puncak yang terdeteksi pada waktu tambat 1 - 30 menit dibandingkan dengan kondisi awal perlakuan (hari ke - 0). Hal itu

menunjukkan bahwa telah terjadi degradasi senyawa hidro-karbon. Pada Tabel 2 ditunjukkan kelimpahan senyawa hidrokarbon pada awal perlakuan. Pada awal perlakuan 2, 4, 6, 10-tetrametil heksadekana (C-20) merupakan senyawa yang memiliki % area tertinggi sebesar 8,6 sedangkan di akhir perlakuan senyawa heksana (C-6) memiliki % area tertinggi sebesar 88,09. Tingginya % area pada akhir perlakuan diduga merupakan sisa hasil degradasi dari n-alkana rantai panjang menjadi n-alkana rantai pendek.



Gambar 7. Hasil ekstraksi TPH pada proses bioremediasi hari ke-60



Keterangan : A = Kromatogram awal senyawa hidrokarbon perlakuan E1
B = Kromatogram akhir senyawa hidrokarbon perlakuan E1

Gambar 8. Kromatogram degradasi hidro-karbon.

H. Aplikasi hasil remediasi

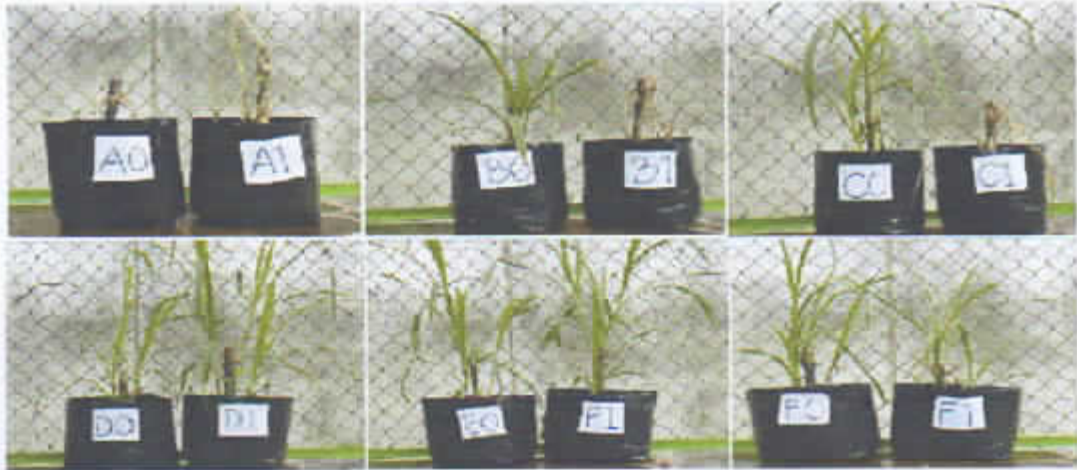
Perlakuan yang telah mengalami proses bioremediasi secara pengomposan selama 90 hari selanjutnya diaplikasikan dengan menggunakan tanaman rumput gajah (*Pennisetum purpureum* Schumacher) yang tahan terhadap kekeringan sehingga dapat tumbuh dengan baik dalam kondisi sub-tropis. Karena tidak semua tanaman dapat digunakan dalam remediasi, karena tidak semua tanaman dapat melakukan metabolisme, volatilisasi dan akumulasi polutan. Untuk menentukan tanaman yang dapat digunakan meremediasi lahan tercemar lumpur minyak, dipilih tanaman dengan

karakteristik antara lain : cepat tumbuh, mampu mengkonsumsi air dalam jumlah banyak dengan waktu tumbuh yang singkat dan toleransi tinggi terhadap polutan [Youngman,1999]. Pada Gambar 9 ditunjukkan pertumbuhan tanaman rumput gajah setelah melalui proses bioremediasi.

Selama 90 hari. Campuran media pada perlakuan kontrol A0 dan A1 masih tinggi cemaran polutannya sehingga tanaman rumput tidak dapat tumbuh. Campuran media pada perlakuan E1 memberikan hasil optimal, baik tanpa penambahan konsorsia mikroba fungsional maupun dengan penambahan konsorsia dapat memberikan pertumbuhan rumput gajah yang optimal.

Tabel 2. Senyawa Hidrokarbon pada awal dan akhir bioremediasi

No	Senyawa Hidrokarbon	C Ke-n	Waktu Retensi	% Area	
				Awal	Akhir
1	2-Metilpentana	C-6	1.542	td	td
2	Heksana	C-6	1.58	td	88.09
3	Metilsiklopentana	C-6	1.676	td	2.05
4	Metilsikloheksana	C-7	2.075	0.45	td
5	Metilbenzena	C-7	2.333	td	td
6	1,3-Dimetilsikloheksana	C-8	2.420	0.43	td
7	O-Xilena	C-8	3.260	0.60	td
8	Etilbenzena	C-8	3.162	td	td
9	1,2-Dimetilbenzena	C-8	3.530	td	td
10	2,6,10-Trimetil Dodekana	C-10	3.538	0.95	0.43
11	2-Methylnaftalen	C-11	10.068	0.81	td
12	Undekana	C-11	6.555	1.39	td
13	1,4-Dimetilnaftalen	C-12	12.130	0.91	td
14	2-Delana	C-12	8.272	1.56	td
15	2,6,10,14-Tetrametil Pentadekana	C-15	9.998	1.95	7.34
16	2,6,10,14-Tetrametil Heksadekana	C-16	11.332	0.74	2.09
17	Oktadekana	C-18	13.187	2.33	td
18	Eikosana	C-20	18.724	3.55	td
19	2,4,6,10-Tetrametilheksadekana	C-20	16.184	8.56	td
20	Sulfurous acid, dodecyl, 2-ethylhexylester	C-20	9.512	1.37	td
21	Heneikosana	C-21	14.675	2.69	td
22	Keksakosana	C-26	21.118	3.45	td
23	Dotrakontana	C-32	26.292	4.21	td
24	Heksatriakontana	C-36	28.100	3.59	td
25	Tetrapentakontana	C-54	31.549	1.94	td



Gambar 9. Remediasi menggunakan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Marwadi (PAIR-BATAN) atas bantuan teknis di lapangan selama penelitian ini berlangsung.

KESIMPULAN

Hasil bioremediasi lahan tercemar lumpur minyak bumi menunjukkan bahwa perlakuan E1 menggunakan campuran media optimal, yakni berupa serbuk gergaji 20% dan *sludge* biogas sebesar 30% serta tanah 30% dan konsorsia inokulan mikroba berbasis kompos radiasi mampu mendegradasi hidrokarbon dalam 20% *oil sludge* dengan efisiensi degradasi TPH sebesar 83,14% selama 60 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Antizar-Ladislao, B., Beck, A. J., Spanova, K., Lopez-Real, J., Russell, N. J., 2007. *The influence of different temperature programmes on the bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a coal-tar contaminated soil by invessel composting*. J. Hazard. Mater. 144, 340 – 347.
- Atlas, R. M. and Berta, R. (1992). *Hydrocarbon biodegradation and oil spill bioremediation*, *Adv. Microbial Ecol.* 12 : 287 – 338.
- Budihardjo M, A. 2007. *Studi Pengaruh Bulking Agents Pada Proses Bioremediasi Lumpur minyak*, *Jurnal Purifikasi*, Vol.8 No.1, Juni 2007 : 55 – 60.
- Chator dan Somerville, *The Oil Industry and Microbial Ecosystems*, Heyden & Son Ltd. London, 1978.
- Deacon, J. W. 1984. *Introduction to Modern Mycology*, London : Blackwell Scientific Publication.
- Dibble, J. T., and R. Bartha. 1979. *Effect of Environmental Parameter on The Biodegradation of Soil Sludge*, *App. Environ. Microbiol.* 37 (4) : 729 – 739.
- Doerffer, J. W. *Oil Spill Response in the Marine Environment*, First Ed Pergamon Press, Tokyo.1992, p. 9–20, 91 – 99. 133 – 161.
- Eweis JB, Ergas SJ, Chang EDDPY, Schoroeder. 1998. *Bioremediation Principles*. New York : McGraw – Hill.

- FNCA Biofertilizer Project Group, (2006), *Biofertilizer Manual*, Pages 41 – 89, Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA), Japan Atomic Industrial Forum, Tokyo.
- Hirayama, S. K., *Biodegradation of Crude Oil*. Program and Abstracts in the First Asia – Pacific Marine Biotechnology Conference. Shimizu, Shizuoka, Japan, 1995.
- Ijah U. J. J Safiyanu, H & Abioye, O, P. 2008. *Comparative Study of Biodegradation of Crude Oil in Soil Amended With Chicken Dropping and NPK Fertilizer*. *Science World Journal Vol. 3 (No. 2)*.
- Mulyohardjo. 1998. *Teknologi Pengawetan Pangan*. U. I. Press. Jakarta.
- Notodarmojo, S. (2005). *Pencemaran Tanah & Air Tanah*, Penerbit ITB, Bandung.
- Rosenberg, E., Legmann, R., Kushmaro, A., Taube, R., dan Ron, E. Z. *Petroleum Bioremediation a Multiphase Problem: Biodegradation*, (1992), p. 337 – 350.
- Ryckeboer, J., Coosemans, J., Swings, J., Mergaert, J., Gestel, V. K. 2003. *Bioremediation of Diesel Oil-Contaminated Soil by Composting with Biowaste*. *Environ. Poll.*, 125:361 – 368.
- Stevenson, F. J. 1997. *Kimia Pengomplekan Ion Logam Dengan Organik Larutan Tanah*. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Sulistiyowati, A. (2001). *Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Hidrokarbon di PT. NNT, Tugas Akhir Teknik Lingkungan ITS, Surabaya (Tidak Dipublikasikan)*.
- Tim Perumus Bioremediasi BPMIGAS-KKKS (2003). *Pedoman Tata Cara Pengolahan Limbah Berminyak dan Tanah Terkontaminasi Minyak Bumi Secara Biologi*. BPMIGAS-Kontraktor – KKS. Kaltim : Total E & P Indonesia.
- Tri Retno D. L., Nana M. 2013. *Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Menggunakan Campuran Bulking Agents yang Diperkaya Konsorsia Mikroba Berbasis Kompos Iradiasi*, *Jurnal Ilmiah AIR*. Vol. No. Desember 2013 : ... - ...
- Udiharto, M., S. A. Rahayu, A. Haris dan Zulkifliani. 1995. *Peran Bakteri dalam Degradasi Minyak dan Pemanfaatannya dalam Penanggulangan Minyak Bumi Buangan*. *Proceeding Diskusi Ilmiah VIII PPTMGB*. Lemigas. Jakarta.