

**DESAIN MULTI SOIL LAYERING (MSL) BIOMINERAL UNTUK PENYARINGAN
LIMBAH CAIR KILANG MINYAK GUNA AIR IRIGASI**

***Multi Soil Layering (MSL)-Biomineral Design for Filtration the Oil Refinery
Wastewater Pollutants as Irrigation Water***

Oleh
Tamad dan Joko Maryanto

Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman
Jl. dr. Soeparno, Karangwangkal, Purwokerto

Alamat korespondensi: Tamad (tamad_1965@yahoo.com)

ABSTRAK

Berdasarkan hasil penelitian tahun 2010 didapatkan bahwa kombinasi zeolit, batuan fosfat, arang aktif dan Andisol dengan inokulasi *Pseudomonas* sp., dan *Bacillus* sp. 10 mL 10⁹ UPK/kg bahan sebagai pengisi MSL efektif menurunkan cemaran air limbah industri kilang minyak. Sebagai tindak lanjut pada tahun berikutnya dilakukan penelitian dengan tujuan merancang blok MSL *biomineral* sebagai penyaring air limbah kilang minyak di *inlet*. Blok MSL *biomineral* dibuat dengan ukuran 5 cm x 15 cm x 30 cm dengan mineral pengisi 80-95 %, dan bahan perekat liat (Vertisol), kapur (kalsit) dan semen 5-20 %. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap dua faktor (jenis perekat dan dosis perekat). Perlakuan bahan penyemen terdiri atas: liat (Vertisol) (B₁), kapur (B₂), semen (B₃), liat + kapur (B₄), dan liat + kapur + semen (B₅); Dan dosis bahan penyemen terdiri atas: 5 % (D₁), 10 % (D₂), dan 20% (D₃). Variabel yang diamati adalah: pH, hidrokarbon, Cd, Pb, Hg, dan As. Konsentrasi cemaran air limbah hasil penyaringan MSL dibandingkan dengan baku mutu FEPA 1991, PP 85 tahun 1999, dan Permen LH No. 04 Th. 2007. Variabel pH dan kadar Hg air limbah kilang minyak pada lagun satu di bawah baku mutu, sedangkan variabel hidrokarbon/minyak, Cd, Pb, dan As masih di atas baku mutu. Materi perekat MSL liat, kapur, semen, dan campurannya berpengaruh berbeda terhadap efektifitas MSL dalam menyaring polutan air limbah kilang minyak. Liat, dan campuran liat dan kapur paling efektif menyaring polutan air limbah kilang minyak. Komposisi perekat MSL 10% paling baik dalam menurunkan kadar polutan air limbah kilang minyak.

Kata kunci: biomineral, multi soil layering, limbah cair kilang minyak, irigasi

ABSTRACT

Based on the research in 2010 found that the combination of zeolite, rock phosphate, activated charcoal and Andisol with inoculation of *Pseudomonas* sp., and *Bacillus* sp. 10 mL 10⁹ CFU/kg MSL filler material as effectively lowering contaminant oil refinery industry wastewater. As a follow-up study conducted in 2011 with the purpose of the MSL design blocks *biomineral* as refinery waste water filter on the inlet. Block MSL *biomineral* created with a size of 5 cm x 15 cm x 30 cm with 80-95 % mineral filler, and an adhesive/cementing clay (Vertisol), limestone (calcite) and 5-20 % cement. Experiment was arranged in a completely randomized design of two factors (type of adhesive and adhesive doses. Treatment consisted of cementing material: clay (Vertisol) (B₁), lime (B₂), cement (B₃), clay + lime (B₄), and clay + lime + cement (B₅); And dose cementing material consists of: 5 % (D₁), 10 % (D₂), and 20 % (D₃). The variables measured were: pH, hydrocarbons, Cd, Pb, Hg, and As. Concentration of wastewater contamination screening results compared to the standard quality MSL FEPA, 199, PP 85 of 1999, and Permen LH. No. 04 Th. , 2007. Variable pH and Hg levels in the refinery wastewater lagoon below the quality standard, while the variable hydrocarbon /oil, Cd, P, and As are still on uper of the standard. MSL adhesive material clay, lime, cement, and mixtures of different influence on the effectiveness of the MSL filter oil refinery wastewater pollutants. Clay, and a mixture of clay and lime most effective filter oil refinery wastewater pollutants. MSL adhesive composition of 10 % is best in lowering oil refinery wastewater pollutants.

Key words: biomineral, multi soil layering, liquid waste of oil refinery, irrigation

PENDAHULUAN

Jenis limbah cair yang dihasilkan oleh kilang minyak berupa *oily strom water* dan *non oily water* (PT Pertamina (Persero) UP-VI Balongan, 2004). Limbah cair yang dihasilkan oleh PT Pertamina (Persero) UP-VI Balongan Indramayu melalui *inlet* disalurkan pada *lagoon area* seluas 11,57 hektar, yang terdiri atas 18 lagun. Sebelum limbah cair masuk ke lagun 1, pada saluran *inlet* dipasang beberapa instrument penyaring, dengan pengisi ijuk. Perpindahan limbah cair dari lagun 1 ke 2 dan seterusnya diatur dengan pintu air. Berdasarkan hasil analisis limbah cair pada lagun 18, terlihat bahwa semua parameter berada di bawah baku mutu (Tim Faperta UNSOED, 2007). Namun penggunaan limbah padat (sedimen lagun) dan limbah cair dari lagun 1, 9, dan 18 sebagai media tanam dan pengairan padi mati, dan ditunjukkan adanya akumulasi beberapa logam berat (Cd, Hg dan Pb) pada jaringan tanaman.

Teknik pengolahan limbah secara biologi yang umum ialah penggunaan mikroba dengan tujuan mengurangi tingkat keracunan senyawa organik dan logam berat pada lingkungan. Pendekatan pengelolaan ini mengacu pada teknik *bioremediasi*. Pada teknik ini menggunakan mikroba sebagai pendekompos zat pencemar dan proses ini dikenal dengan *bioremoval*. *Bioremoval*

lebih efektif dibandingkan dengan teknik penukaran ion dan osmosis balik dalam kaitannya dengan kepekaan terhadap keberadaan padatan terlarut dan zat organik. Selain itu teknik *bioremoval* lebih baik dari teknik pengendapan bila dibandingkan kemampuannya dalam merubah pH cemar, sehingga menurunkan konsentrasi logam beratnya (Suhendrayatna, 2001). Bahan organik biasanya mempunyai sifat *kebioremovalan* yang baik.

Suhendrayatna (2001) menyatakan bahwa, proses *bioremoval* melibatkan mekanisme penyerapan pasif (*passive uptake*) dan penyerapan aktif (*active uptake*). Istilah *passive uptake* sering disebut dengan istilah proses *biosorpsi*. Dalam *biosorpsi* logam berat terikat pada dinding sel mikroba akibat: (1) pertukaran ion (Na, Ca dan Mg) dengan ion logam berat, dan (2) pengomplekan ion logam berat oleh gugus karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil. Kedua proses ini bersifat bolak-balik, cepat, dan berlangsung pada sel hidup dan sel mati dari suatu biomassa.

Penyerapan aktif (*Active uptake*) adalah penggunaan ion logam secara simultan untuk pertumbuhan mikroba dan penumpukan ion logam ke dalam sel. Pengendapan logam berat dilakukan oleh mikroba sebagai hasil metabolisme dan ekresinya. Proses ini dipengaruhi oleh pH,

suhu, kekuatan ikatan ionik dan cahaya (Suhendrayatna, 2001).

Salah satu Teknik *bioremoval* adalah *Multi Soil Layering* (MSL). MSL adalah sistem pengelolaan limbah cair yang tersusun dari tanah (kandungan bahan organik tinggi sebagai sumber mikroba), mineral (zeolit dan/batuan fosfat), dan arang yang disusun seperti pola susunan batu bata dalam tembok yang dilengkapi dengan pipa pengudaraan untuk memperoleh oksigen. Ketiga bahan tersebut berperan berbeda tetapi bekerja pada laka (*site*) dan bahan yang sama. Sistem MSL dikembangkan untuk meningkatkan fungsi tanah yang banyak mengandung mikroba untuk pengolahan air limbah sebelum dilepas ke badan perairan. Sistem MSL dapat menurunkan kadar BOD dan COD sampai dengan 90-99%, total nitrogen sebesar 70-90% dan total fosfat sebesar 80-95% dalam kondisi aerasi optimum (Luanmance *et al*, 1999; Wakatsuki *et al*, 1999).

Berdasarkan hasil penelitian Hibang Bersaing XVII tahun II (2010) didapatkan bahwa kombinasi, masing-masing 25%, zeolit, batuan fosfat, arang aktif dan Andisol dengan inokulasi *Pseudomonas* sp., dan *Bacillus* sp. 10 mL 10⁹ UPK/kg bahan sebagai pengisi MSL efektif menurunkan cemaran pada limbah cair industri kilang minyak UP VI Balongan Indramayu. Sebagai tindak lanjut pada

tahun 2011 dilakukan penelitian dengan tujuan desain blok MSL dengan *biomineral* sebagai penyaring limbah cair kilang minyak di *inlet*, sehingga limbah cair yang masuk ke lagun tidak mengandung cemaran (organik dan logam berat). Hasil yang diharapkan dari penelitian ini ialah paket teknologi blok MSL *biomineral* sebagai penyaring cemaran limbah cair industri kilang minyak yang optimal.

METODE PENELITIAN

Pembuatan Blok MSL *Biomineral*

Sampel limbah cair diambil dari lagun satu PT Pertamina (Persero) UP VI Balongan Indramayu. Penelitian dilaksanakan di Lab. Ilmu Tanah Faperta dan Lab. Riset, UNSOED, Purwokerto. Penelitian dilaksanakan dari April sampai Nopember 2011.

Mineral pengisi MSL berupa: 1) zeolit aktif, 2) arang aktif, 3) Andiosol, dan 4) batuan fosfat 100 mesh. Selain bahan mineral pengisi MSL, juga ditambahkan isolat *Pseudomonas* sp., dan *Bacillus* sp. 10 mL 10⁹ UPK/kg bahan (Subba Rao, 1999).

Blok MSL *biomineral* dibuat dengan ukuran 5 cm x 15 cm x 30 cm. Campuran bahan pengisi (zeolit aktif, arang aktif, Andisol dan batuan fosfat) dengan dosis yang sama 80-95 % dan bahan perekat liat (Vertisol), kapur dan semen 5-20 % dibuat

blok yang diadaptasi dengan ukuran penyaring di saluran pembuangan (*Inlet* lagun) di PT. Pertamina (Persero) UP VI Balongan indramayu. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap dua faktor (jenis perekat dan dosis perekat) dengan tiga ulangan. Perlakuan bahan penyemen terdiri atas: 1) Jenis bahan dengan 5 taraf yaitu: liat (Vertisol) (B₁), kapur (B₂), semen (B₃), liat + kapur (B₄), dan liat + kapur + semen (B₅); dan 2) Dosis bahan penyemen terdiri atas: 1) 5 % (D₁), 10 % (D₂), dan 20% (D₃) (Thomson, 2005). Variabel yang diamati adalah: 1) pH (pH meter), 2) hidrokarbon (SNI 06-6989.10-2004), dan 3) Cd, Pb, Hg, dan As (AAS). Konsentrasi logam berat hasil keluaran sistem MSL dibandingkan dengan baku mutu berdasarkan FEPA 1991, PP 85

tahun 1999, dan Permen LH No. 04 Th. 2007.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan rujukan baku mutu (Tabel 2) variabel pH dan kadar Hg air limbah kilang minyak pada lagun satu di bawah baku mutu, sedangkan variabel hidrokarbon/ minyak, Cd, Pb, dan As masih di atas baku mutu (Tabel 1). Zeolit, batuan fosfat, arang dan Andisol, mineral pengisi MSL, dengan pori mikro, KPK, dan luas permukaan tinggi mampu menyerap bahan cemaran (logam berat, karbon organik yang hidrofobik) pada aras konsentrasi rendah (Al-Haddad *et al.*, 2007; Bayoumi, 2009; Kumar *et al.*, 2009). Demikian juga mikrobia pengisi MSL, atraktif terhadap nanomolekul karena

Tabel 1. Variabel pengamatan air limbah kilang minyak hasil penyaringan blok MSL

Variabel Pengamatan	Perlakuan					
	K	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
pH	7,05 a	7,06 a	7,20 b	7,10 a	7,25 b	7,55 c
Hidrokarbon (mg/L)	123,00 e	15,44 a	16,84 b	109,65 d	13,87 a	69,42 c
Pb (mg/L)	8,24 d	0,34 a	0,51 a	5,33 c	0,37 a	2,83 b
Cd (mg/L)	2,48 d	0,34 a	0,38 a	1,66 c	0,37 a	0,63 b
Hg (mg/L)	Tu	Tu	Tu	Tu	Tu	Tu
As (mg/L)	11,86 c	0,53 a	0,57 a	1,34 b	0,54 a	0,94 ab

Variabel Pengamatan	Perlakuan			
	K	D ₁	D ₂	D ₃
pH	7,05 a	7,12 a	7,24 b	7,53 c
Hidrokarbon (mg/L)	123,00 d	26,33 b	12,41 a	49,35 c
Pb (mg/L)	8,24 b	2,35 b	0,22 a	3,62 b
Cd (mg/L)	2,48 c	0,71 b	0,12 a	0,52 b
Hg (mg/L)	Tu	Tu	Tu	Tu
As (mg/L)	11,86 b	0,58 a	0,51 a	1,28 b

Keterangan: 1) Angka dalam baris yang diikuti huruf sama tidak berbeda pada DMRT taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 5\%$); 2) K = kontrol, B₁ = liat, B₂ = kapur, B₃ = semen, B₄ = liat + kapur, B₅ = liat + kapur + semen, D₁ = 5 %, D₂ = 10 %, D₃ = 20 %, dan Tu = tidak terukur.

Tabel 2. Rangkuman baku mutu beberapa parameter air limbah kilang minyak

Parametar	Nilai	Sumber
1. Minyak (mg/L)	100-300	FEPA (1991)
	100	PP 85 tahun 1999
	20	Permen LH No. 04 Th. 2007
2. pH	6-9	FEPA (1991)
3. Pb (mg/L)	0,5	FEPA (1991)
	5	PP 85 tahun 1999
	0,2-10	Permen LH No. 04 Th. 2007
4. Cd (mg/L)	1,0	FEPA (1991)
	1,0	PP 85 tahun 1999
	0,2	PP 85 tahun 1999
6. As (mg/L)	5,0	PP 85 tahun 1999

mempunyai muatan permukaan dan afinitas biologi (Berry dan Saraf, 2005). Ikatan antara mikrobia dan nanomolekul lain (adhesi) diperantarai oleh kakas *van der Waals*, elektrostatik dan interaksi asam-basa (Hamadi *et al.*, 2008).

Interaksi mikrobia dengan permukaan molekul ditentukan oleh komposisi kimia permukaan luar sel. Grup karboksil dan fosfat/fosfat monoester menentukan muatan permukaan sel (Vidali, 2001; Shephard *et al.*, 2008). Wolicka dan Kowalski (2006) menyatakan bahwa, faktor yang mempengaruhi biodegradasi bahan cemar adalah aktifitas fotolitik, pelarutan, jerapan koloid, keberadaan surfaktan, oksigen, hara, suhu, dan pH. Kondisi optimum untuk biodegradasi pencemar logam berat dan hidrokarbon adalah: DO (oksigen terlarut) > 2 mg/L, rasio C:N:P = 120:10:1, Q10 (quition suhu) = 1,7-2,7, dan pH = 7-8,5.

Materi perekat MSL liat, dan campuran liat dan kapur paling efektif menyaring polutan air limbah kilang minyak. Ariffin (2003), dan Adamis dan Williams (2005) menyatakan bahwa mineral liat yang dominan pada Vertisol adalah bentonit yang terdiri atas montmorilonit, feldspar, biotit, dan kuarsa. Bentonit mampu menyerap air 12-15 kali bobot keringnya, sehingga baik digunakan sebagai perekat. Mineral liat utama bentonit adalah montmorilonit (Brindley dan Brown, 1980), KTK monmorilonit antara 70 dan 100 me/ 100g, dan luas permukaan antara 700 dan 800 m²/g, oleh karena besarnya nilai ini maka montmorilonit bersifat plastis, melekat kuat jika basah, dan dapat memfiksasi ion-ion logam (Adamis dan Williams, 2005). Kapur kalsit (CaCO₃) dengan air membentuk garam kalsium tidak larut dan reaksi karbonasi dengan CO₂ membuat lebih keras. Daya semen kapur dipengaruhi oleh jenis (kalsit lebih baik dibanding

dolomit), kemurnian, reaktifitas (ukuran partikel) dan kadar air (Thomson, 2005). Fungsi utama semen adalah sebagai perekat yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif, silikat dan aluminat merupakan unsur utama pembentuk semen. Apabila semen dicampur dengan air dan membentuk suatu adukan lambat laun akan mengeras sampai menjadi padat (Adamis *et al.*, 2005).

Komposisi perekat MSL 10% paling baik dalam menurunkan kadar polutan air limbah kilang minyak (Tabel 1). Kenyataannya komposisi 5% perekat MSL belum mampu merekatkan pengisi biomineral MSL, sehingga blok MSL mudah hancur, sedangkan komposisi 20% perekat membuat blok MSL terlalu kompak, sehingga air sangat lambat mengalir. Penambahan liat 16%, dan/atau 0,5-15% kapur meningkatkan kekuatan maksimum kompresi penyemenan bahan antara 3,5 dan 6,5 Mpa (Thomson, 2005; Reddy dan Kumar, 2009). Semen terdiri atas: trikalsium silikat (Ca_3SiO_5), dikalsium silikat (Ca_2SiO_4), trikalsium aluminat ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$), tetrakalsium aluminoferrit ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_{10}$), dan gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Adamis dan Williams, 2005). Pada saat air ditambahkan dalam semen, setiap senyawa tersebut mengalami reaksi hidrasi dan mempunyai andil masing-masing dalam pembentukan *concrete*. Tricalcium silicate berperan

sebagai pembentukan kekuatan awal (7 hari pertama), sedangkan dikalsium silikat berkontribusi dalam pembentukan kekuatan pada tahap berikutnya (Neville, 1981; Mulyono, 2005).

KESIMPULAN

1. Variabel pH dan kadar Hg air limbah kilang minyak pada lagun satu di bawah baku mutu, sedangkan variabel hidrokarbon/minyak, Cd, Pb, dan As masih di atas baku mutu.
2. Materi perekat MSL *biomineral* liat (Vertisol), kapur (kalsit), semen, dan campurannya berpengaruh berbeda terhadap efektifitas MSL menyaring polutan air limbah kilang minyak.
3. Liat, dan campuran liat dan kapur paling efektif menyaring polutan air limbah kilang minyak. Komposisi perekat MSL 10% paling baik dalam menurunkan kadar polutan air limbah kilang minyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamis, Z., and R.B. Williams. 2005. *Bentonite, kaolin, and Selected Clay Minerals: Environmental Health Criteria 231*. UNEP-ILO and WHO, Geneva.
- Al-Haddad, A., E. Chmielewska, and S. Al-Radwan. 2007. A Brief Comparable Lab. Examination for Oil Refinery Wastewater Treatment Using the Zeolitic and Carbonaceous Adsorbents. *Petroleum & Coal* 49(1): 21-26.

- Ariffin, K.S. 2003. Clay Mineralogy and Industry. *EBS* 425:1-18.
- Bayoumi, R.A.. 2009. Bacterial Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Heavy Oil Contaminated Soil. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(2): 197-211.
- Berry, V., and R.F. Saraf. 2005. Self-Assembly of Nanoparticles on Live Bacterium: An avenue to fabricate Electronic Devices. In Chemical and Biomolecular Engineering Research and Publications. Papers in Nanotechnology. University of Nebraska, Lincoln. 18p.
- Brindley G.W., and G. Brown. 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. London, Mineralogical Society, 495 pp (Monograph No. 5).
- Hamadi, F., H. Latrache, H. Zahir, A. Elghmari, M. Timinouni, and M. Ellouali. 2008. The Relation Between *Escherichia coli* Surface Functional Groups Composition and Their Physicochemical Properties. *Brazilian J. of Microbiology* 33:10-15.
- Kumar, A.V.A., N. A. Darwish, and N. Hilal. 2009. Study of Various Parameters the Biosorption of Heavy Metals on Activated Sledge. *World Applied Sciences Journal* 5: 32-40
- Luanmanee, S, T. Attanandana, B. Saitthiti, C. Panichajakul, and T. Wakatsuki. 1999. *Efficiency of the Multi Soil Layering with Various Organic Material Components on Domestic Wastewater Treatment*. Faculty of Life and Environmental Science Shimane University. Japan.
- Mulyono, T.. 2005. *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI, Yogyakarta
- Neville, A.M.. 1981. *Properties of Concrete*, 3 rd Edition, USA
- PT Pertamina (Persero) UP-VI Balongan. 2004. *Masterplan Lingkungan: Komitmen Meningkatkan Kualitas Lingkungan*. PT Pertamina (Persero) UP-VI Balongan Indramayu.
- Reddy, B.V.V., and P.P. Kumar. 2009. Role of Clay Content and Moisture on Characteristics of Cement Stabilized Rammed Earth. *Proceeding of the 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies*. 6-9 September 2009, Bath, UK.
- Shephard, J., A.J. McQuillan, and P.J. Bremer. 2008. Mechanisms of Cation Exchange by *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 and PAO1 *wbpL*, a Strain with a Truncated Lypopolysaccharide. *Applied and Environmental Microbiology* 74(22): 6980-6986.
- Subba Rao, N.S.. 1999. *Soil Microbiology (Fourth Edition of Soil Microorganisms and Plant Growth)*. Science Publisher, Inc. New Hampshire, USA.
- Suhendrayatna. 2001. *Heavy Metal Bioremoval by Microorganisms*. Department of Applied Chemistry and Chemical Engineering Faculty of Engineering, Kagoshima University, Japan. 1: 21-40.
- Thomson, M. 2005. Properties of Lime Mortar: Understanding the Nature of Lime-Sand Mortars. *SRTUCTUTE magazine*: 26-29.
- Tim Peneliti Faperta UNSOED. 2007. Studi Pemanfaatan Limbah Cair Industri Kilang Minyak dalam Laguna untuk Budidaya Pertanian di PT Pertamina (Persero) Unit Pengolahan VI Balongan Indramayu. *Laporan Akhir Penelitian*. Kerjasama Pertamina Unit Pengolahan VI Balongan Indramayu dengan Fakultas Pertanian UNSOED, Purwokerto.

Vidali, M.. 2001. Bioremediation. An overview. *Pure Appl. Chem.*, 73(7): 1163–1172.

Wakatsuki, T, S. Luanmanee, T. Masunaga, and T. Attanandana. 1999. *High Grade on-Site Treatment of Domestic Wastewater and Polluted River Water by Multi Soil*

layering Method. Faculty of Life and Environ. Sci. Shimane Univ. Japan.

Wolicka, D. and W. Kowalski. 2006. Biotransformation of Phosphogypsum in Petroleum-Refining Wastewaters. *Polish J. Environ. Stud.* 15(2): 355-360.