

POTENSI PENGGUNAAN *LIMESTONE* SEBAGAI FILTER PADA KONSTRUKSI *SANITARY LANDFILL*

LIMESTONE POTENTIAL AS A FILTER IN *SANITARY LANDFILL* CONSTRUCTION

Ratna Yuniarti dan Tri Sulistyowati
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik - UNRAM
email: ratna_yuniarti@yahoo.com,
trisulistyo_wati@yahoo.com

Abstrak

Secara umum, *sanitary landfill* dilengkapi dengan *liner* lempung dan *geomembrane*. Meskipun *geomembrane* tersebut sangat kedap, tapi mudah rusak sehingga menimbulkan kebocoran. *Clay liner* juga mudah rusak oleh cairan lindi yang bersifat asam atau basa. Oleh karena itu, di atas *clay liner* perlu dipasang lapisan *limestone* yang diperkirakan dapat meningkatkan kualitas lindi sehingga kerusakan pada *clay liner* dapat dikurangi. Serangkaian percobaan telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik *limestone* yaitu kadar air asli, ukuran butir, berat jenis, batas-batas Atterberg, pemadatan serta nilai *hydraulic conductivity limestone* yang dirembesi lindi. Di samping itu, dilakukan pengujian kualitas lindi sebelum dan sesudah dirembeskan ke *limestone* untuk mengetahui perubahan konsentrasi polutannya serta dampak dari proses filtrasi itu terhadap sifat kimia *limestone*. Dari hasil analisis diketahui bahwa nilai rata-rata *hydraulic conductivity limestone* yang dirembesi lindi adalah $1,86 \times 10^{-6}$ cm/detik. Setelah dialirkan melalui *limestone*, pH lindi berubah dari 7,72 menjadi 7,03. Nilai BOD menurun dari 390 mg/L menjadi 260 mg/L, nilai COD juga berkurang sebesar 33,33%. Mengingat kemampuan *limestone* untuk mengurangi kadar polutan pada lindi, maka dianjurkan untuk memasang lapisan *limestone* sebagai filter pada konstruksi *sanitary landfill*.

Kata kunci: *limestone*, filtrasi, *sanitary landfill*

Abstract

In general, a liner system in sanitary landfill consists of both geomembrane barrier and clay liner. Although geomembrane is an absolute barrier against advection, pollutants can permeate it by diffusion so that leakage may occur through the liner. Since clay liner can be damaged by leachate which has low or high pH, it is necessary to develop sanitary landfill by placing limestone as a filter between geomembrane and clay liner. Due to its common use in water treatment, limestone may increase the quality of leachate and provide protection for the clay liner. A series laboratory experimental study was carried out to investigate characteristics of limestone: natural water content, particle size, specific gravity, Atterberg limit and compaction. Hydraulic conductivity test of limestone with leachate as permeant is also conducted. Finally, the qualities of lindi before and after permeate into limestone are measured to determine the change in concentration of pollutants, and the effect of this filtration process on limestone's chemical characteristics. Analysis showed the overall hydraulic conductivity of limestone to leachate is $1,86 \times 10^{-6}$ cm/s. After permeating into limestone, the pH value of leachate reduced from 7,72 to 7,03. Pollutants in leachate decreased with regard to BOD from 390 mg/L to 260 mg/L and COD reduced by 33,33%. Due to its ability to remove pollutant in leachate, it is suggested to place limestone as a filter in sanitary landfill.

Keywords: limestone, filtration, sanitary landfill

1. PENDAHULUAN

Metode pengelolaan sampah yang paling umum dilakukan di Indonesia adalah membuangnya ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dengan sistem *open dumping*. Metode pembuangan ini membahayakan, karena lindi akan mengalir masuk ke dalam tanah dan mencemari air tanah. Metoda yang lebih baik adalah sistem *sanitary landfill*,

yang didesain untuk mencegah perembesan lindi ke dalam tanah. Di dasar TPA, dipasang *clay liner* dan *geomembrane* yang berfungsi untuk mencegah merembesnya lindi ke dalam tanah (Bagchi, 1994).

Walaupun demikian, bukan berarti metode *sanitary landfill* tidak memiliki kelemahan. *Geomembrane* bersifat kedap (koefisien rembesannya $< 1 \times 10^{-7}$ cm/detik), namun mudah rusak. Kerusakan dapat

terjadi pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi, akibat terjadinya regangan, sobek akibat perbedaan penurunan tanah pendukung, bocor akibat *coarse aggregate* pada lapisan di bawahnya, bocor karena benda tajam ketika kelebihan beban (Davis, 1998).

Selain itu, kepadatan *clay liner* sangat dipengaruhi oleh kadar air. Setelah dialiri lindi, partikel *clay liner* dapat berubah atau mengalami kerusakan. Lindi dengan pH rendah dapat mengubah atau menghancurkan struktur butiran *clay liner*. Demikian pula lindi dengan $\text{pH} \geq 11$ dapat merusakkan butiran lempung, yang mengakibatkan koefisien rembesan meningkat (Mochtar, 2001). Karena partikel *clay liner* dapat berubah setelah dialiri lindi, di atasnya perlu dipasang lapisan material (filter) yang dapat memperbaiki mutu lindi, agar *liner* tidak rusak jika terjadi kebocoran.

Material yang digunakan adalah *limestone* (salah satu batuan sedimen yang unsur utamanya CaCO_3 , dan biasanya merupakan campuran MgCO_3 , silika dan oksida besi). *Limestone* dapat dipakai dalam pekerjaan konstruksi, misalnya sebagai bahan lapis pondasi bawah pada konstruksi jalan raya (Yuniarti, 1997).

Penelitian ini bertujuan menguji potensi penggunaan *limestone* sebagai filter pada konstruksi *sanitary landfill* guna mencegah kerusakan *clay liner* yang ditimbulkan oleh rembesan lindi. Dengan terlindungnya *clay liner*, maka pencemaran *lindi* terhadap air tanah dapat dicegah.

Cairan Lindi Sampah

Di TPA sampah akan mengalami proses dekomposisi oleh mikroba yang mengakibatkan terjadinya perubahan fisik-kimia-biologis secara simultan, dengan menghasilkan lindi. Menurut Bagchi (1994), faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas *lindi* adalah komposisi sampah, umur *landfill*, temperatur di lokasi *landfill*, kadar air sampah dan ketersediaan oksigen. Sampah kota merupakan jenis sampah yang komposisinya sangat bervariasi, mulai dari jenis yang mudah membusuk hingga yang tidak dapat diuraikan. Mengingat komposisi sampah kota yang sangat bervariasi, kualitas lindi sampah kota mempunyai rentang nilai konsentrasi yang sangat besar.

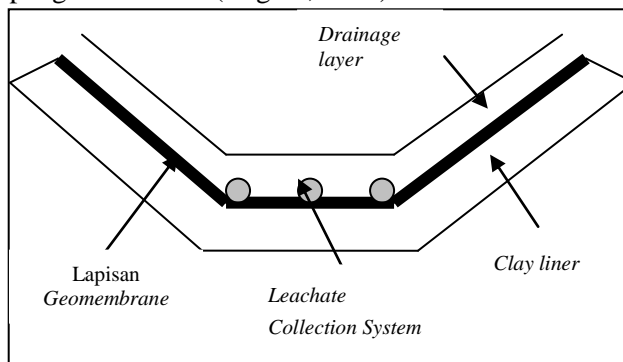
Kualitas lindi juga dipengaruhi oleh umur *landfill*. Secara umum, konsentrasi polutan yang terkandung pada tahun pertama lebih rendah diban-

dingkan tahun-tahun berikutnya, dan mencapai puncaknya setelah beberapa tahun.

Selain itu, kualitas lindi dipengaruhi oleh temperatur, yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri dan reaksi-reaksi kimia yang berlangsung. Di lain pihak, kadar air dan ketersediaan oksigen memegang peranan yang sangat penting dalam proses biodegradasi sampah.

Konstruksi Sanitary Landfill

Tujuan paling mendasar dari pelaksanaan konstruksi ini adalah untuk melindungi air tanah supaya tidak terkontaminasi oleh lindi. Agar *landfill* dapat berfungsi dengan baik, elemen-elemen strukturnya harus dirancang dengan tepat dan sesuai standar. Elemen-elemen struktur yang harus ada pada sebuah *landfill* adalah lapisan tanah dasar, lapisan *clay liner*, *geomembrane*, pipa pengumpul lindi, konstruksi lapisan drainase, konstruksi lapisan penutup serta kolam-kolam pengolahan lindi (Bagchi, 1994).



Gambar 1. Konstruksi Sanitary Landfill

Material Limestone

Limestone adalah salah satu batuan yang terbentuk dari proses sedimentasi yang sangat lama. Unsur utama *limestone* adalah CaCO_3 , dan terdapat unsur-unsur Magnesium karbonat, silika dan oksida besi. Akibat gabungan bahan-bahan ini, warna *limestone* bermacam-macam dari putih hingga merah coklat. (Das, 1998).

Kapur/gamping yang diperoleh dari pemanasan *limestone* pada suhu tinggi, bersifat menetralkan keasaman air (Miller, 1995). Pada proses penjerihinan air, kapur berperan cukup penting sebagai zat pereaksi (koagulan) yang dapat mengendapkan garam-garam Ca, Fe dan Al yang tidak larut dalam air (Kusnaedi, 1997). Di samping mengatur agar pH air netral, pemberian kapur juga membantu efektifitas proses selanjutnya (BPPT, 1999).

Kapur sudah dipakai secara luas dalam stabilisasi tanah pada pekerjaan konstruksi jalan raya, landas pacu lapangan terbang, tempat parkir, dll. Kapur bereaksi dengan silika dan alumina pada tanah sehingga mengikat tanah menjadi keras dan stabil (Lefond, 1983). Efek kapur pada tanah adalah mengubah batas cair dan plastis, indeks plastisitas, karakteristik kepadatan dan mengurangi potensi kembang susut (Terzaghi, 1996).

Penelitian Yuniarti (1997) menunjukkan bahwa *limestone* memiliki ketahanan yang cukup besar terhadap degradasi. Karena itu, perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut terhadap potensi pemanfaatan *limestone* pada pekerjaan-pekerjaan konstruksi yang lain, misalnya sebagai filter pada konstruksi *sanitary landfill*. Selain itu, mengingat sifat-sifat kapur yang merupakan hasil pembakaran dari *limestone*, penggunaan *limestone* ini diharapkan akan dapat memperbaiki kualitas lindi sampah.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari pengujian sifat-sifat fisik dan mekanis *limestone* yang meliputi gradasi, berat jenis, batas cair, batas plastis, batas susut, kadar air optimum dan tingkat kepadatan maksimum. Di samping itu, diteliti nilai koefisien rembesan *limestone* yang dialiri lindi serta kualitas lindi sebelum dan sesudah merembes pada *limestone*. Untuk memahami fenomena perubahan kimia lindi setelah melewati *limestone*, diuji pula sifat kimia *limestone* sebelum dan sesudah dirembesi lindi.

Uji gradasi *limestone* sesuai dengan prosedur AASHTO T-27-82 (*American Association of State Highway and Transportation Officials*, 1982). Adapun pengujian berat jenis *limestone* mengikuti prosedur AASHTO T-100-74 atau ASTM D-854-5 (*American Society for Testing and Materials*, 1991). Pengujian batas cair *limestone* mengikuti prosedur AASHTO T-89-81, pengujian batas plastis mengikuti prosedur AASHTO T-90-81, sedangkan percobaan batas susut mengikuti prosedur AASHTO T-92 atau ASTM D-427. Percobaan pemadatan *limestone* dilakukan berdasarkan prosedur AASHTO T-180-74, dan nilai *hydraulic conductivity* ditentukan setelah *porosity* (*volume of flow* (volume cairan yang keluar dibagi volume void sampel) ≥ 2 (US EPA, 1989).

Sampel *limestone* yang dipakai pada penelitian ini diambil dari Dusun Bombas, Desa Mengkung

Kecamatan Praya Barat, Kabupaten Lombok Tengah, sedangkan lindi diambil dari TPA di Desa Kebon Kongok, Kabupaten Lombok Barat.

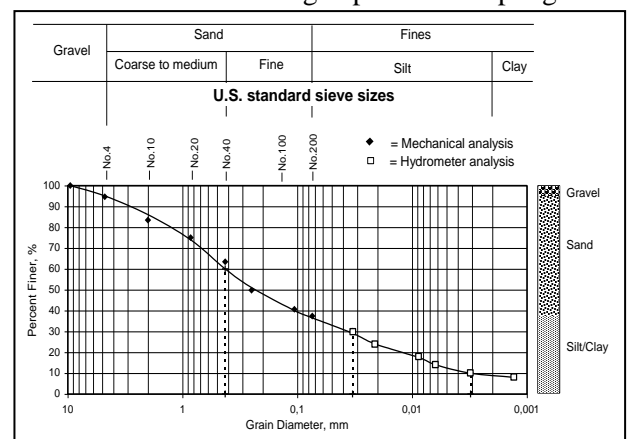
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat-Sifat Fisik *Limestone*

Kepadatan *liner* dibuat berdasarkan pemadatan *Proctor Standard* yaitu dipadatkan dengan 25 pukulan per lapis. Identifikasi sifat-sifat fisik tanah meliputi: kadar air asli dan spesifik gravity (Gs), distribusi ukuran butir, batas-batas Atterberg yang terdiri dari batas cair (LL), batas blastis (PL), batas susut (SL), dan indeks plastis (PI).

Dari hasil pemeriksaan, diperoleh kadar air awal 11,47%. Hal ini menunjukkan *limestone* diambil dalam kondisi lembab. Sedangkan hasil pengujian *specific gravity* didapatkan berat jenis adalah 2,70 yang menunjukkan *limestone* tersebut didominasi oleh mineral sodium dan *calcium feldspar*.

Pengujian distribusi ukuran butiran dilakukan untuk menentukan klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirnya. Dari hasil uji distribusi ukuran butiran dapat diketahui bahwa *limestone* yang digunakan ini mempunyai ukuran butiran *gravel* = 5,40%, *sand* = 57,20% dan *silt/clay* = 37,40%. Berdasarkan system klasifikasi USCS, *limestone* ini dapat diklasifikasikan sebagai SC soil, dengan ukuran butiran sama dengan pasir berlempung.

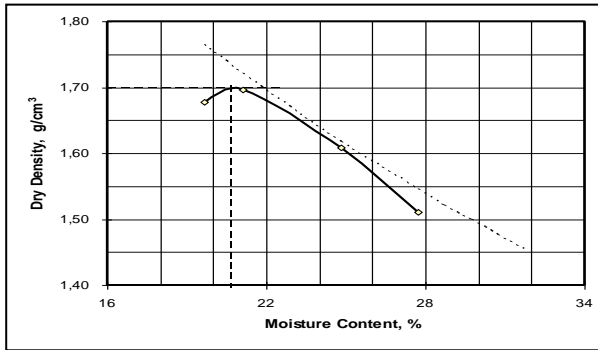


Gambar 3. Distribusi Ukuran Butiran *Limestone*

Batas-batas konsistensi tanah diperoleh harga LL=36,06%, PL=24,87%, PI=11,19%, SL=19,52% pada awal pengujian. Berdasarkan nilai tersebut, diketahui bahwa *limestone* banyak mengandung mineral kaolinite (LL=30%-110%), dan plastisitasnya sedang (PI=7%-17%). Karena plastisitasnya sedang, *limestone* sesuai digunakan sebagai filter.

Pemadatan Limestone

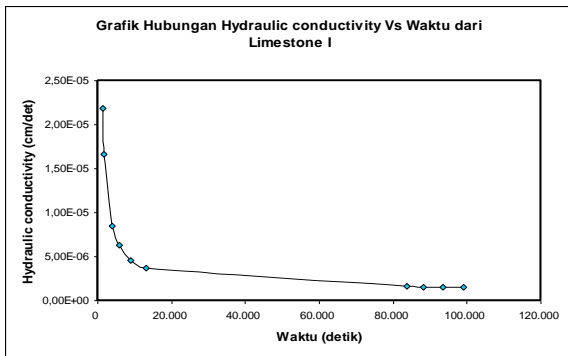
Dari hasil uji pemadatan (Gambar 4) diperoleh nilai kadar air optimum 20,70% dan berat volume kering maksimum $\gamma_{d_{maks}} = 1,70 \text{ gr/cm}^3$. Parameter ini digunakan sebagai dasar untuk membuat sampel limestone sebagai filter.



Gambar 4. Hubungan antara Kadar Air dan Tingkat Kepadatan Tanah

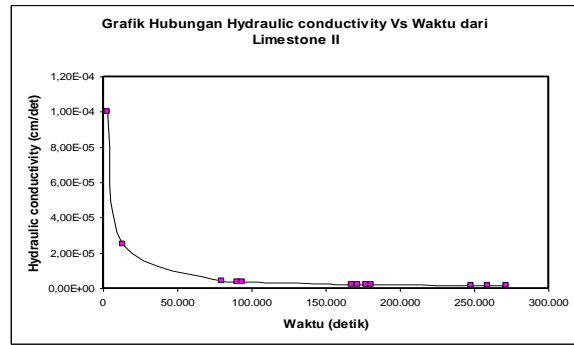
Hydraulic Conductivity dari Limestone

Seperti telah dijelaskan, limestone yang digunakan sebagai filter dalam penelitian ini dibuat berdasarkan Proctor Standard dengan kadar air optimum 20,70% dan berat volume kering maksimum $\gamma_{d_{maks}} = 1,70 \text{ gr/cm}^3$. Tes rembesan dilakukan dengan menggunakan lindi yang diambil dari TPA Kebon Kongok, Lombok Barat. Tes rembesan dihentikan bila pore volume of flow ≥ 2 atau bila harga k sudah konstan dengan waktu.

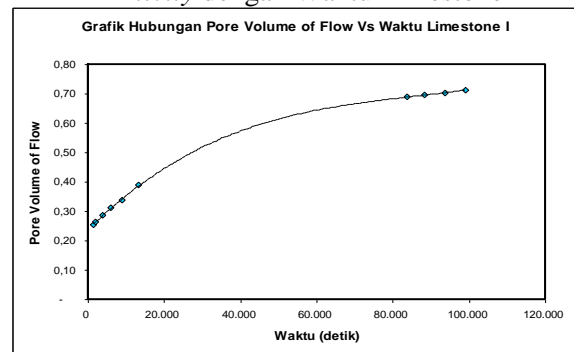


Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Hydraulic Conductivity dengan Waktu Limestone I

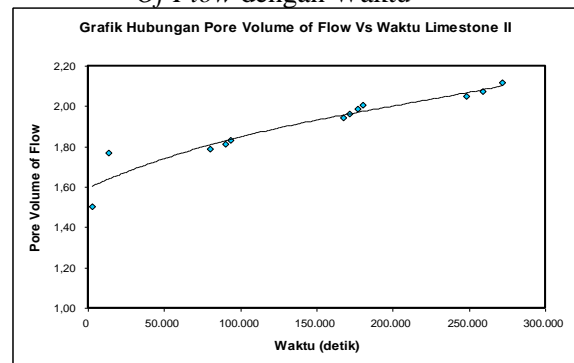
Gambar 5-6 memperlihatkan hydraulic conductivity limestone yang dialiri lindi mempunyai perilaku yang serupa. Harga hydraulic conductivity cukup besar pada awal pengujian, kemudian menurun dengan bertambahnya waktu dan akhirnya konstan. Hal ini menunjukkan bahwa lindi dengan mudah mengisi pori-pori limestone yang belum jenuh sehingga dengan cepat mengalir ke dalamnya pada awal pengujian. Setelah pori-pori cukup jenuh, kecepatan lindi menjadi stabil.



Gambar 6. Grafik Hubungan Hydraulic Conductivity dengan Waktu Limestone II

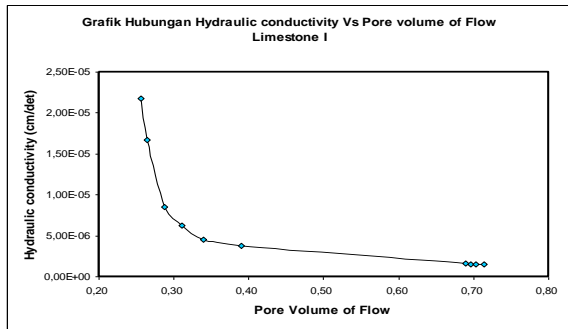


Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Pore Volume Of Flow dengan Waktu

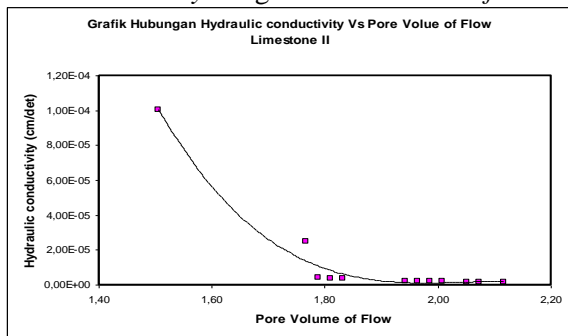


Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Pore Volume Of Flow dengan Waktu

Gambar 7 dan 8 menunjukkan hubungan pore volume of flow terhadap waktu, dimana semakin lama semakin besar dan akhirnya konstan. Hal ini menunjukkan volume lindi pada awal uji hanya mengisi pori-pori antara butiran. Lama-kelamaan butiran mengembang sehingga volume lindi dalam butiran limestone semakin besar. Berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa hydraulic conductivity telah konstan dengan nilai $k = 1,56 \times 10^{-6} \text{ cm/detik}$. Sedangkan dari Gambar 10, harga hydraulic conductivity mencapai konstan pada pore volume of flow ≥ 2 , yaitu dengan harga $k = 2,16 \times 10^{-6} \text{ cm/detik}$. Dengan demikian, harga hydraulic conductivity rata-rata dari kedua sampel benda uji tersebut adalah $k = 1,86 \times 10^{-6} \text{ cm/detik}$.



Gambar 9. Grafik Hubungan *Hydraulic Conductivity* dengan *Pore Volume Of Flow*



Gambar 10. Grafik Hubungan *Hydraulic Conductivity* dengan *Pore Volume Of Flow*

Perubahan Sifat Kimia *Leachate* Setelah Dialirkan Melalui *Limestone*

Tabel 1 menunjukkan BOD dan COD lindi TPA Kebon Kongok berada jauh di bawah tipikal pada umumnya. Hal itu berarti kualitas lindi tersebut lebih baik dibandingkan lindi secara umum. Unsur-

unsur seperti Cl, Ca, Mg, Na, Fe, dan Al seluruhnya berada di bawah nilai tipikal lindi.

Tabel 1. Perbandingan Kualitas *Leachate* TPA Kebon Kongok dengan Sampah Kota

No.	Parameter	Satuan	<i>Leachate</i>		Nilai*)	
			I	II	Range	Tipikal
1.	pH	-	7,72	7,03	3,7-8,9	6,3
2.	BOD	mg/L	390	260	ND-195.000	97.500
3.	COD	mg/L	600	400	6,6-99.000	49.503
4.	Cl	mg/L	237,2	386,1	2-11.375	5.689
5.	SO ₄	mg/L	21,22	24,87	-	-
6.	Ca	mg/L	149,8	441,6	3,0-2.500	1.252
7.	Mg	mg/L	213,8	35,92	4,0-780	392
8.	Na	mg/L	426	174,4	12-6.010	3.011
9.	Fe	mg/L	15,64	0,46	ND-4.000	2.000
10.	Al	mg/L	9,76	11,52	ND-85	43
11.	Si	mg/L	123,8	393	-	-

*) McGinley and Kmet (1984), Lu dkk (1981), Tharp (1991) dalam Bagchi (1994).

Setelah melalui *limestone*, lindi mengalami perubahan fisik dan kimia. Secara fisik, lindi terlihat jauh lebih bening dan berubah warna dari coklat tua menjadi kuning muda. Hal itu mengindikasikan terjadinya pengendapan/filtrasi, di mana partikel-partikel padat dari lindi mengisi pori-pori *limestone* sehingga nilai *hydraulic conductivity*nya mengecil seiring dengan waktu. Dengan adanya proses filtrasi ini, maka nilai BOD dan COD lindi berkurang cukup signifikan. Nilai BOD berkurang dari 390 mg/L menjadi 260 mg/L, demikian pula nilai COD berkurang sebesar 33,33% dari 600 mg/L menjadi 400 mg/L.

Tabel 2. Perbandingan Kualitas *Leachate* TPA Kebon Kongok Dengan Baku Mutu Air Limbah

No.	Parameter	Satuan	<i>Leachate 1</i>	<i>Leachate 2</i>	Baku Mutu Air Limbah*)			
					Gol. I	Gol. II	Gol. III	Gol. IV
1.	pH	-	7,72	7,03	6-9	6-9	6-9	6-9
2.	BOD	mg/L	390	260	20	50	150	300
3.	COD	mg/L	600	400	40	100	300	600
4.	Cl	mg/L	237,2	386,1	-	-	-	-
5.	SO ₄	mg/L	21,22	24,87	-	-	-	-
6.	Ca	mg/L	149,8	441,6	-	-	-	-
7.	Mg	mg/L	213,8	35,92	-	-	-	-
8.	Na	mg/L	426	174,4	-	-	-	-
9.	Fe	mg/L	15,64	0,46	1	5	10	20
10.	Al	mg/L	9,76	11,52	-	-	-	-
11.	Si	mg/L	123,8	393	-	-	-	-

Leachate 1: Sebelum dirembeskan ke *limestone*
Leachate 2: Sesudah dirembeskan ke *limestone*

*) Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1991)

Tabel 2 menunjukkan bahwa pH lindi turun setelah dirembeskan *limestone*. Hal ini disebabkan ion OH⁻ terikat pada *limestone* sehingga mempertinggi pH *limestone* (Tabel 3). Adapun unsur Mg, Na dan Fe berkurang sangat signifikan yaitu 83,20%; 59,06% dan 97,06%. Kemungkinan besar disebabkan oleh terikatnya kation-kation tersebut pada *limestone* mengingat kandungan Mg dan Na pada *limestone* justru bertambah. Fenomena yang berbeda terjadi pada Fe karena kandungannya

menurun. Fe adalah kation yang terjerap *limestone* dan sulit dilarutkan sehingga kandungannya kemungkinan tidak terdeteksi dengan uji pelarutan biasa. Nilai Cl, Ca, Al dan Si pada lindi bertambah masing-masing sebesar 62,77%; 194,79%; 18,03% dan 217,45%. Penambahan ini disebabkan perubahan kandungan kimia *limestone*, dimana unsur-unsur dari *limestone* terlarut ke dalam lindi dan mempengaruhi kualitas lindi yang bersangkutan.

Tabel 3. Perubahan Sifat Kimia *Limestone* yang Dialiri Lindi

No.	Parameter	Satuan	<i>Limestone 1</i>	<i>Limestone 2</i>
1.	pH	-	7,76	8,44
2.	Cl	%	1,706	1,094
3.	SO ₄	ppm	739,13	791,304
4.	Ca	%	20,08	20,02
5.	Mg	%	0,333	0,347
6.	Na	%	0,285	0,299
7.	Fe	%	0,407	0,395
8.	Al	%	0,179	0,188
9.	Si	%	29,57	28,59

Kualitas air limbah tersebut jika dibandingkan baku mutu air limbah golongan IV, sudah memenuhi persyaratan untuk dibuang ke lingkungan.

5. KESIMPULAN

Limestone dalam penelitian ini diklasifikasikan sebagai *SC soil*, dengan ukuran butiran sama dengan pasir berlempung. Dari nilai *liquid limit*, diketahui bahwa *limestone* mengandung mineral kaolinite dan plastisitasnya sedang. Ditinjau dari sifat ini, *limestone* sesuai digunakan sebagai filter, karena dengan plastisitas sedang sangat memudahkan dalam pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

Dari hasil pengujian pemadatan diperoleh nilai kadar air optimum 20,70% dan berat volume kering maksimum $\gamma_{d_{maks}}=1,70 \text{ gr/cm}^3$. Tingkat kepadatan ini cukup tinggi, sehingga memenuhi syarat penggunaan *limestone* sebagai filter. Hasil uji rembesannya mempunyai nilai *hydraulic conductivity* $1,86 \times 10^{-6} \text{ cm/detik}$. Setelah dialirkan melalui *limestone*, pH berkurang dari 7,72 menjadi 7,03. Nilai BOD lindi berkurang 33,33% dari 390 mg/L menjadi 260 mg/L. Nilai COD lindi juga berkurang cukup signifikan yaitu 33,33% dari 600 mg/L menjadi 400 mg/L. Nilai Cl, Ca, Al dan Si bertambah pada rentang 18,03%-217,45%. Unsur Mg, Na dan Fe berkurang sangat signifikan yaitu 83,20%, 59,06% dan 97,06%. Jika dibandingkan dengan baku mutu air limbah golongan IV, kualitas lindi setelah dialirkan ke *limestone* sudah memenuhi persyaratan untuk dibuang ke lingkungan.

Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai perubahan orientasi partikel *limestone* dan tingkat kerusakannya setelah dialiri lindi untuk mengetahui sejauh mana kemampuan *limestone* sebagai filter pada konstruksi *sanitary landfill*.

DAFTAR PUSTAKA

American Association of State Highway and Transportation Officials (1982). **AASHTO Material**, Part I, Specification, Washington.

American Society for Testing and Materials (1991). **Annual Book of ASTM Standards**, Sec. 4, Vol. 04.08. Philadelphia.

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (1999). **Alat Pengolah Air Gambut Type TP2AS Sistem Batch**, Jakarta.

Bagchi, A. (1994). **Design, Construction and Monitoring of Landfills**, John Wiley & Sons, New York.

Das, B. M. (1998). **Principles of Geotechnical Engineering**, 4th Edition, PWS Publishing Company, Boston.

Davis, M. L. (1998). **Introduction to Environmental Engineering**, McGraw-Hill, Singapore.

Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1991). **Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup**, KEP-03/MENKLH/II/1991, Jakarta.

Kusnaedi (1997). **Mengolah Air Gambut dan Air Kotor untuk Air Minum**, Swadaya, Jakarta.

Lefond, S. J. (1983). **Industrial Minerals and Rocks**, 5th Edition, Society of Mining Engineers, New York.

Miller, M. M. (1995). **Lime in Mineral Yearbook 1995**. <http://minerals.cr.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/myb/>

Mochtar, N. E. (2001). **Perubahan Kandungan Kimia dan Orientasi Partikel Clay Liner Akibat Rembesan Leachate Sampah Perkotaan**, Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS, Surabaya.

Terzaghi, K., dkk. (1996). **Soil Mechanics in Engineering Practice**, 3th Edition, John Wiley & Sons, New York.

United State Environmental Protection Agency (1989). **Procedures for Modelling Flow Through Clay Liners to Determine Required Liner Thickness**, EPA/530/SW-84-001, Washington.

Yuniarti, R. (1997). **Tinjauan Terhadap Karakteristik Limestone Sebagai Bahan Lapis Pondasi Bawah pada Konstruksi Jalan Raya**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UNRAM, Mataram.