

PENGUNAAN PROGRAM GEO-STUDIO SEEP/W UNTUK MENENTUKAN REMBESAN AIR LINDI PADA TANAH LEMPUNG

I Nyoman Aribudiman¹, Yohanes Erik Kurniawan Nggae²

^{1,2}*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana*

E-mail: n.aribudiman@gmail.com

ABSTRAK:

Tanah merupakan bahan dan tempat konstruksi bangunan sipil berdiri yang terdiri dari beberapa unsur yang berperan penting bagi kehidupan manusia. Masalah yang sering dijumpai terkait tanah adalah pencemaran akibat air lindi yang dihasilkan oleh penumpukan sampah yang terlalu lama. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rembesan air lindi pada tanah lempung dengan menggunakan program Geo-Studio Seep/W. Sampel limbah cair yang digunakan adalah air lindi dari TPA Suwung. Sampel tanah menggunakan tanah lempung yang diperoleh di Daerah Suwung, Denpasar, Bali. Pemodelan rembesan dengan Geo-Studio dilakukan pada kondisi tanah lempung yang dialiri oleh air murni (tanpa limbah) dan air lindi dari TPA Suwung. Pemodelan rembesan di Geo-Studio Seep/W dilakukan pada kondisi *Saturated/Unsaturated*. Hasil penelitian viskositas limbah cair menunjukkan bahwa air lindi TPA Suwung memiliki viskositas sebesar 0.002061309 N s/m². Viskositas suatu fluida mempengaruhi nilai konduktivitas hidraulik tanah. Akibat pencampuran dengan air lindi, nilai konduktivitas hidraulik tanah juga mengalami penurunan. Nilai konduktivitas hidraulik tanah menurun dari 0.0001165 cm/s menjadi 0.0000328 cm/s untuk tanah lempung. Debit rembesan dan kecepatan rembesan terbesar pada tanah lempung melalui pemodelan di Geo-Studio Seep/W adalah akibat pengaliran air murni (tanpa limbah). Besarnya pengaruh perubahan debit rembesan atau kecepatan rembesan tanah lempung TPA Suwung akibat pengaliran air limbah lindi TPA Suwung terhadap debit rembesan atau kecepatan rembesan air murni sebesar 28,320%.

Kata Kunci : viskositas, jenis tanah, air lindi, rembesan, *saturated/unsaturated*

GEO-STUDIO SEEP/W PROGRAM FOR DETERMINING THE SEEPAGE LEACHATE ON CLAY SOIL

ABSTRACT:

Soil is a material and place of civil construction which consists of several elements that very usefull for human life. The problem that is often encounter related to soil is pollution due to leachate generated by the long lasting accumulation of solid wasted. This study aims to determine leachate seepage on clay by using Geo-Studio Seep / W program. The sample of leachate comes from Suwung Landfill and soil sample uses clay soil obtained in Suwung District, Denpasar, Bali. Geo-Studio seepage modeling is done on clay soil condition which is using water and leachate from Suwung Landfill. Seepage modeling in Geo-Studio Seep / W is done in saturated / unsaturated condition. The result of leachate viscosity research shows that Suwung leachate has a viscosity of 0.002061309 N s / m². The viscosity of a fluid affects the soil hydraulic conductivity value. As a result of mixing with leachate water, the soil hydraulic conductivity value also decreases. The soil hydraulic conductivity value decreased from 0.0001165 cm / s to 0.0000328 cm / s for clay soil. The changing effect of seepage permeability in clay by modeling in Geo-Studio Seep / W is due to the drainage of pure water. The amount of influence seepage discharge change or velocity seepage of clay soil of Suwung Landfill due to the leachate of Suwung Landill leachate to seepage discharge or pure water seepage rate of 28,320%.

Keywords: viscosity, soils, leachate, seepage, saturated / unsaturated

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan bahan dan tempat konstruksi bangunan sipil yang terdiri dari beberapa unsur yang berperan penting bagi kehidupan manusia. Pencemaran tanah akibat buangan limbah cair kedalam tanah menjadi masalah yang sering dijumpai dewasa ini. Limbah rumah tangga, limbah industri maupun air lindi yang dihasilkan akibat timbunan sampah merupakan sumber air limbah yang dapat mencemari tanah. Sebagian besar rumah tinggal, industri dan tempat pembuangan akhir (TPA) masih belum memiliki instalasi pengolahan air limbah buangan yang memadai, sehingga biasanya tanpa diolah terlebih dahulu langsung dibuang ke badan air atau dibiarkan mengalir ke tanah.

Limbah cair atau lindi yang masuk kedalam tanah akan dapat mencemari tanah akibat dan mempengaruhi karakteristik tanah, salah satunya adalah permeabilitas. Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori dimana aliran rembesan dari cairan mengalir melalui pori (Hardiyatmo, 2012). Pengetahuan tentang rembesan dan pola aliran air dalam tanah tidak terlepas dari hukum *Darcy*. Salah satu indikator yang termuat dalam persamaan hukum *Darcy* yaitu koefisien permeabilitas atau koefisien rembesan. Koefisien rembesan tergantung pada beberapa faktor antara lain kekentalan cairan atau yang biasa disebut viskositas, distribusi ukuran butir, angka pori, kekasaran butiran permukaan tanah dan derajat kejenuhan tanah. Jadi selain jenis tanah, viskositas atau kekentalan cairan juga mempengaruhi perilaku rembesan dan pola aliran air dalam tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rembesan air lindi pada tanah lempung berpasir dengan menggunakan aplikasi Geo-Studio Seep/W. Viskositas suatu cairan sangat berpengaruh terhadap berat jenis dan berat volume cairan itu sendiri bahkan berpengaruh terhadap koefisien rembesan atau konduktivitas hidraulik tanah. Pada penelitian ini, nilai konduktivitas hidraulik tanah akibat air limbah akan digunakan sebagai salah satu parameter yang akan diinput pada model yang dibuat menggunakan aplikasi Geo-Studio Seep/W dan untuk mengetahui aliran yang terjadi pada model tersebut. Hasil yang diperoleh dari analisis menggunakan aplikasi Geo-Studio Seep/W kiranya mampu menjelaskan bagaimana distribusi laju rembesan suatu cairan (air limbah) kedalam tanah. Dengan mengetahui debit rembesan suatu fluida yang merembes kedalam tanah maka dapat diperhitungkan pula kecepatan rembesan fluida tersebut kedalam tanah.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian untuk studi kasus ini bila disusun dalam sebuah diagram yang terstruktur adalah sebagai berikut:



METODE PENGUMPULAN DATA

Terdapat dua jenis data dalam penelitian ini yakni data tanah dan data air limbah. Data tanah yang digunakan yaitu tanah lempung di Suwung, Denpasar, Bali. Beberapa parameter tanah yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain porositas tanah, data analisis saringan untuk menentukan jenis tanah yang akan dianalisis dan konduktivitas hidraulik tanah. Perhitungan nilai porositas tanah menggunakan persamaan 1 di bawah:

$$w = \frac{n}{(1 - n)Gs} \dots\dots\dots(1)$$

Air limbah yang digunakan adalah air lindi TPA Suwung. Data air limbah meliputi data parameter pencemar air limbah yang diperoleh melalui percobaan di UPT Laboratorium Analitik Universitas Udayana. Sedangkan data viskositas, berat jenis dan berat volume air limbah diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium Kimia Fisik Universitas Udayana. Data viskositas air limbah di peroleh melalui percobaan menggunakan alat viskometer ostwald. Besaran suatu viskositas cairan dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan Poiseulle atau *Poiseulle's equation* (Dogra & Dogra, 2008):

$$\eta = \frac{\pi r^4 t}{8vl} \dots\dots\dots(2)$$

atau dengan mengalikan viskositas cairan perbandingan dengan perbandingan nilai masa jenis cairan dan waktu hasil penelitian dengan masa jenis dan waktu penelitian cairan perbandingan, yang secara umum dapat ditulis dengan persamaan 3 di bawah:

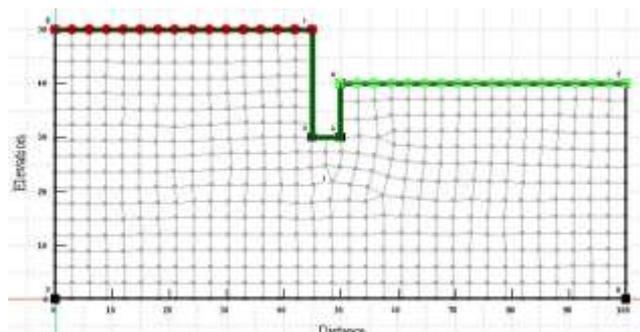
$$\eta_x = \eta_0 \frac{t_x \rho_x}{t_0 \rho_0} \dots\dots\dots(3)$$

Salah satu nilai viskositas yang telah diketahui nilainya adalah viskositas air murni yakni 0,01008 Poisse atau setara dengan 0,001008 N s/m².

PEMODELAN REMBESAN DI GEO-STUDIO SEEP/W

Pemodelan di *software* Geo-Studio Seep/W merupakan model penampang 2D terhadap bidang yang hendak dianalisis. Model analisis dibuat pada jarak geometri (0,0)cm, (0,100)cm, (100,40)cm, (50,40)cm, (50,30)cm, (45,30)cm, (45,50)cm dan (0,50)cm. Model material dikondisikan berada dalam keadaan *saturated/unsaturated*. Air diasumsikan mengalir dari bagian hulu ke bagian hilir dengan tinggi muka air dibagian hulu dibuat setinggi 2 cm, sehingga pemberian *boundary conditions* di bagian hulu adalah 52 cm. Model analisis dibuat dengan mesh atau area analisis setiap 3 cm.

Data-data tanah akan diinput untuk mengestimasi *Volume Water Content Function*. Tanah lempung menggunakan metode *sample fuctions* lalu dipilih *sample material* berupa lempung (*clay*). Sedangkan data konduktivitas hidraulik atau koefisien rembesan akan digunakan untuk mengestimasi *Hydraulic Conductivity Functions*.



Gambar 1. Model analisis dengan mesh area setiap 3 cm

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Kualitas Limbah

Tabel 1. Hasil Uji Kualitas Limbah Lindi

No	Parameter	Satuan	Metode	Hasil
1.	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	mg/L	Titrimetri	3210,0
2.	BOD (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>)	mg/L	Titrimetri	1506,2
3.	Minyak	mg/L	Gravimetri	480
4.	TDS (<i>Total Dissolved Solid</i>)	mg/L	Gravimetri	10780
5.	TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	mg/L	Gravimetri	237,91

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Analitik (2018)

Hasil uji kualitas limbah dari laboratorium analitik kemudian dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah sebagaimana diuraikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Baku Mutu Air Limbah

No	Parameter	Satuan	Kadar Paling Tinggi
1.	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	mg/L	100
2.	BOD (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>)	mg/L	50
3.	TDS (<i>Total Dissolved Solid</i>)	mg/L	2000
4.	TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	mg/L	200
5.	Minyak	mg/L	10

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.5 tahun 2014 memberikan batasan kualitas limbah cair untuk selanjutnya dapat dibuang ke alam. Namun, hasil penelitian terhadap air lindi TPA Suwung, Denpasar, Bali, memberikan gambaran bahwa limbah-limbah tersebut tidak boleh dilepas langsung atau dibuang langsung ke tanah karena masih mengandung bahan pencemar yang melebihi kadar yang ditetapkan. Oleh karena itu, limbah-limbah ini perlu diolah terlebih dahulu untuk mengurangi kadar pencemarnya, setelah itu dapat dibuang atau dilepas ke tanah.

Hasil Percobaan Viskositas Limbah

Tabel 3. Hasil Uji Viskositas Limbah cair

No	Jenis Limbah Cair	Viskositas (N s/m ²)
1.	Lindi TPA Suwung	0,002061309

Air lindi dari TPA Suwung mempunyai nilai viskoistas sebesar 0,002061309 N s/m². Nilai viskositas air lindi dipengaruhi oleh jumlah material terlarut dalam limbah tersebut, seperti TDS (*Total Dissolved Solid*) dan

kandungan minyak dalam limbah tersebut. Nilai TDS dan minyak yang tinggi dalam limbah akan menghasilkan viskositas limbah yang semakin besar.

Kadar Air Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan sampel tanah permukaan dari daerah Suwung, Denpasar, Bali. Hasil penelitian kadar air sampel tanah asli tidak terganggu menunjukkan kadar air pada lapisan permukaan tanah sebesar 36,85%.

Berat Jenis dan Berat Volume Limbah

Berat jenis suatu fluida didefinisikan sebagai perbandingan antara kerapatan atau massa jenis suatu fluida terhadap kerapatan air, sedangkan berat volume didefinisikan sebagai perbandingan antara berat dan volume cairan itu sendiri. Diketahui kerapatan air pada umumnya adalah $1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ ton/m}^3 = 1 \text{ gr/cm}^3$. Hasil penelitian berat jenis limbah ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Berat Jenis Air Lindi Suwung

Jenis Limbah Cair	Berat Jenis	Berat Volume (kN/cm ³)
Lindi TPA Suwung	0.976	9.5713×10^{-6}

Viskositas suatu cairan akan sangat mempengaruhi berat jenis dan berat volume cairan itu sendiri.

Berat Jenis Tanah

Percobaan berat jenis tanah (Gs) juga dilakukan pada tanah yang dicampur dengan air murni (tanpa limbah), limbah lindi TPA Mandung, lindi TPA Suwung dan limbah hasil pengolahan keramik. Hasil penelitian ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah

Sampel	Berat Jenis Tanah Yang Dicampur Beberapa Limbah	
	Air Murni/Tanpa Limbah	Lindi TPA Suwung
Tanah TPA Mandung	2.7050	2.3212

Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan berat jenis tanah seiring bercampurnya tanah dengan lindi. Hal ini dapat terjadi karena limbah-limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai nilai berat jenis yang lebih kecil dari berat jenis tanah yang diuji.

Porositas Tanah

Tabel 6. Nilai Porositas Tanah

Sampel	Porositas Tanah Yang Dicampur Beberapa Limbah	
	Tanpa Pencampuran	Lindi TPA Suwung
Tanah TPA Mandung	51.61%	47.79%

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai porositas tanah akibat penambahan limbah. Penurunan nilai porositas tanah ini menyebabkan pori-pori tanah mengecil sehingga akan menyebabkan kepadatan tanah meningkat.

Konduktivitas Hidraulik Tanah

Nilai konduktivitas hidraulik sangat penting dalam analisis rembesan suatu cairan pada suatu lapisan tanah. Oleh karena itu, penelitian ini juga menyertakan nilai konduktivitas hidraulik sebagai salah satu parameter yang akan diinput dalam Geo-Studio Seep/W. Hasil penelitian ditampilkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Konduktivitas Hidraulik Tanah

Sampel	Konduktivitas Hidraulik Yang Dicampur Beberapa Limbah	
	Air Murni/Tanpa Limbah (cm/s)	Lindi TPA Suwung (cm/s)
Tanah TPA Mandung	0.000102	0.000044
	0.000131	0.000021
Rata-Rata	0.0001165	0.0000328

Nilai viskositas atau kekentalan suatu cairan berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas hidrauliknya. Artinya semakin tinggi nilai viskositas suatu cairan maka akan semakin rendah nilai konduktivitas hidrauliknya seperti yang ditunjukkan dalam tabel 4.

Data Input Geo-Studio Seep/W

Model analisis yang dibuat dalam Geo-Studio Seep/W berada dalam kondisi *saturated/unsaturated* artinya model yang dibuat tidak selalu digenangi oleh air ataupun bahan pencemar. Hal ini mengingat keberadaan hujan yang tidak selalu terjadi setiap waktu sehingga tanah masih memiliki kesempatan untuk merembeskan air ke dalamnya. Beberapa parameter yang diinput dalam model analisis di Geo-Studio Seep/W ditampilkan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Data Input Geo-Studio Seep/W

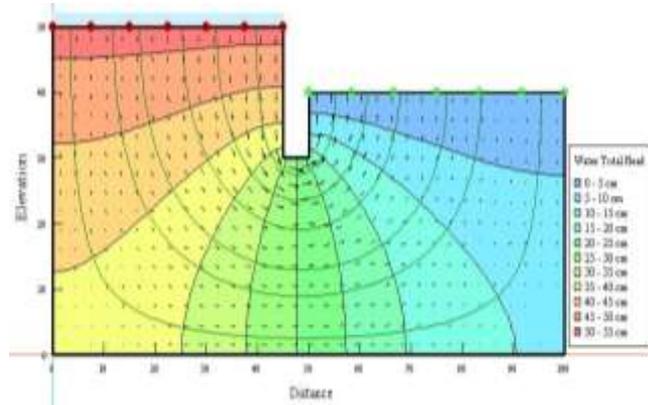
Data Input	Sampel Tanah	
	Tanah TPA Suwung	
Berat Volume air (kN/cm ³)	Air Bersih	9.8070 x 10 ⁻⁶
	Lindi TPA Suwung	9.5713 x 10 ⁻⁶
<i>Volume Water Content Function</i>		
Jenis Tanah	Lempung	
Porositas Tanah	Tanpa Limbah	51.61%
	Dengan Lindi TPA Suwung	47.79%
<i>Hydraulic Conductivity Functions</i>		
Konduktivitas Hidraulik (kx)	Tanpa Limbah	0.0001165
	Dengan Lindi TPA Suwung	0.0000328

Sumber: Hasil Penelitian (2018)

Hasil Perhitungan yang didapat dari analisis menggunakan Geo-Studio Seep/W adalah debit air yang melalui media porus tanah. Perhitungan kecepatan suatu fluida yang melewati media tanah (kecepatan rembesan/*infiltrasi*) menggunakan persamaan debit rembesan per luas media tanah atau dapat ditulis $v = Q / A$ dengan Luas total media tanah pada model analisis adalah 4400 cm² .

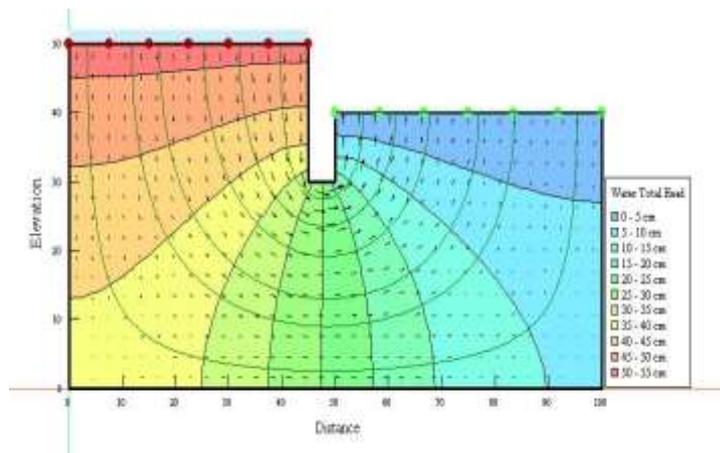
Hasil Analisis Rembesan Menggunakan Geo-Studio Seep/W Tanah TPA Suwung (Tanah Lempung)

Gambar 5. Hasil Pemodelan Tanah TPA Suwung dengan Air Murni/Tanpa Limbah



Sumber: Hasil Penelitian (2018)

Gambar 8. Hasil Pemodelan Tanah TPA Suwung dengan Limbah Lindi TPA Suwung



Sumber: Hasil Penelitian (2018)

Hasil pemodelan media tanah dengan jenis limbah dan tanpa limbah menggunakan Geo-Studio Seep/W menunjukkan adanya garis ekuipotensial dan garis aliran yang menandakan adanya pergerakan air dari sumber air di bagian hulu ke bagian hilir. Sedangkan gradasi warna pada hasil pemodelan menunjukkan adanya tegangan yang terjadi akibat tekanan air dibagian hulu. Tekanan air dibagian hulu akan menekan dan mengalirkan air dari bagian hulu ke hilir atau dari tempat yang memiliki elevasi yang tinggi ke tempat yang memiliki elevasi yang rendah. Warna merah pada hasil pemodelan menunjukkan bagian tanah yang mengalami tegangan paling besar akibat pengaruh air di bagian hulu, sedangkan warna biru tua menunjukkan bagian tanah yang mengalami tegangan paling kecil.

Tabel 9. Debit Rembesan dan Kecepatan Rembesan dalam Tanah

Jenis Fluida	Debit rembesan (cm ³ /s)	Kecepatan Aliran (cm/s)
	Tanah TPA Mandung	Tanah TPA Mandung
Air Tanpa Limbah	0,0256	5,818 x 10 ⁻⁶
Air Lindi TPA Suwung	0,00725	1,647 x 10 ⁻⁶

Sumber: Hasil penelitian (2018)

Hasil pada Tabel 9. menjelaskan bahwa jenis tanah dan jenis fluida yang mengalir media tanah mempengaruhi kecepatan rembesan dan jumlah air yang mampu dilewatkan tanah. Tanah TPA Suwung (tanah lempung) dengan variasi jenis limbah menunjukkan debit rembesan dan kecepatan aliran menjadi lebih kecil. Besarnya nilai konduktivitas hidraulik dari tanah ini menggambarkan kemampuan tanah untuk meloloskan air; dan nilai konduktivitas hidraulik tanah antara lain dipengaruhi oleh distribusi ukuran pori dan viskositas suatu fluida. Semakin tinggi nilai viskositas suatu fluida maka akan semakin rendah nilai konduktivitas hidraulik tanah sehingga kemampuan tanah untuk meloloskan air juga akan semakin rendah.



Gambar 13. Hubungan antara Viskositas Fluida dan Debit Rembesan
Sumber: Hasil penelitian (2018)

Gambar 13. menunjukkan bahwa tanah yang dialiri air (tanpa limbah) mempunyai debit rembesan paling besar dibandingkan tanah yang dialiri oleh air limbah yang memiliki nilai viskositas lebih besar dari air murni. Jika dinyatakan dalam persentase, besarnya penurunan debit rembesan atau kecepatan rembesan tanah lempung TPA Mandung akibat pengaliran air limbah keramik, limbah lindi TPA Mandung dan lindi TPA Suwung terhadap debit rembesan atau kecepatan rembesan akibat air murni beturut-turut adalah 75,781%, 50% dan 28,320%. Pada tanah pasir kelanauan di di Jalan Ida Bagus Oka, Denpasar, besarnya penurunan debit rembesan atau kecepatan rembesan tanah lempung TPA Mandung akibat pengaliran air limbah keramik, limbah lindi TPA Mandung dan lindi TPA Suwung terhadap debit rembesan atau kecepatan rembesan akibat air murni beturut-turut adalah 70,573%, 9,089% dan 5,313%. Hubungan antara debit rembesan dan kecepatan rembesan dalam tanah ditampilkan dalam Gambar 14.



Gambar 14. Hubungan antara debit rembesan (Q) terhadap kecepatan rembesan(v) tanah lempung TPA Mandung

Gambar 14. menunjukkan bahwa kecepatan rembesan berbanding lurus dengan debit rembesan dalam tanah. Artinya semakin banyak debit rembesan yang melalui suatu media tanah pada suatu waktu tertentu maka semakin cepat suatu fluida melalui media tanah tersebut. Begitupun sebaliknya, jika debit rembesan yang dihasilkan sedikit maka kecepatan rembesan suatu fluida pun akan semakin lebih rendah. Dalam penelitian ini, tanah di di Jalan Ida Bagus Oka, Denpasar mempunyai kecepatan rembesan atau kecepatan infiltrasi yang lebih besar dibandingkan dengan tanah lempung di TPA Mandung. Hal ini dapat terjadi karena sifat tanah berpasir yang lebih mudah meloloskan air dibandingkan tanah lempung.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Adapun simpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai viskositas limbah lindi TPA Suwung adalah $0.002061309 \text{ N s/m}^2$. Viskositas suatu fluida mempengaruhi nilai konduktivitas hidraulik tanah.
2. Akibat pencampuran dengan air limbah, Nilai konduktivitas hidraulik tanah juga mengalami penurunan. Nilai konduktivitas hidraulik tanah menurun dari 0.0001165 cm/s menjadi 0.0000328 cm/s untuk tanah lempung.
3. Besarnya pengaruh perubahan debit rembesan atau kecepatan rembesan tanah lempung Suwung akibat pengaliran air lindi TPA Suwung terhadap debit rembesan atau kecepatan rembesan air murni adalah 75,781%, 50% dan 28,320%.

Saran

1. Perlu dilakukan pemodelan biopori atau sumur resapan untuk mengurangi limpasan air atau air limbah diatas permukaan tanah menggunakan program Geo-Studio Seep/W.
2. Perlu dilakukan pemodelan rembesan air atau air limbah kedalam tanah jika tanah berada dalam keadaan jenuh (*saturated only*), menggunakan program Geo-Studio Seep/W.

Daftar Pustaka

- Anonim. 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah*.
- Dogra, S. K., & Dogra, S. 2008. *Kimia Fisik dan Soal-Soal*. Depok: Penerbit Universitas Indonesia.
- Firaah, S. R. 2015. *Pemodelan Numerik Flownet Lubang Pori untuk Tanah Pasir Berlempung dengan Software Geo-Studio Seep/W*. Diakses April 10, 2017, dari Respository.unhas.ac.id
- Hardiyatmo, H. C. 2012. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Ishibashi, I., & Hazarika, H. 2015. *Soil Mechanics Fundamentals and Applications*. 6000 Boken Sound Park Way NW: CrC Press.