

ANALISA WATER BALANCE BERDASARKAN BESARAN CURAH HUJAN DAN TIMBULAN LINDI PADA SIMULASI LANDFILL (LISIMETER) SAMPAH KOTA DI INDONESIA

WATER BALANCE ANALYSIS BASED ON LOW RAIN AND LEACHATE LEVEL IN SIMULATION OF LANDFILL MUNICIPAL WASTE IN INDONESIA

Nurcholis Salman¹

Abstrak— Masalah utama aplikasi landfill adalah timbulnya lindi yang dapat mencemari lingkungan terutama sumber air minum terutama di daerah yang curah hujannya tinggi. Lindi ditimbulkan oleh beberapa faktor dimana salah satu faktor yang paling dominan adalah faktor meteorology, yaitu hujan. Untuk itu dilakukan suatu penelitian mengenai hubungan antara curah hujan dan ketinggian sampah dengan timbulan lindi. Penelitian ini diharapkan mampu melihat pola timbulan lindi dengan menggunakan metode neraca air (Metode Thornthwaite dan HELP) melalui lisimeter sebagai model fisik landfill guna memprediksi produksi lindi dari sebuah TPA sampah di Indonesia yang selanjutnya membentuk suatu hubungan fungsional yang dapat memberikan suatu prediksi timbulan lindi apabila terjadi hujan dengan intensitas tertentu. Penelitian ini menggunakan suatu model operasional TPA yaitu Open Dumping dan Sanitary Landfill, serta variasi ketinggian dari sel sampah. Hasil yang diperoleh menunjukkan timbulan lindi sangat dipengaruhi oleh pola operasional dan ketinggian timbunan sampah, dimana dalam hal ini faktor ketinggian merupakan faktor yang memperlambat perkolasi air huja menjadi lindi. Selain mendapatkan pola timbulan lindi juga untuk mendapatkan metode perhitungan perkolasi lindi dengan metode neraca air Thornthwaite dan aplikasi program HELP dengan data hasil pengukuran. Hasil yang didapat kemudian dibandingkan yaitu percobaan lisimeter, Thornthwaite dan HELP. Akhirnya diperoleh suatu pola timbulan lindi menggunakan neraca air pada kondisi landfill di Indonesia sesuai ketersediaan data setempat.

Kata kunci — lindi, lisimeter, sampah kota, neraca air Thornthwaite, HELP

Abstract— The main problem of landfill application is the emergence of leachate that can pollute the environment, especially the source of drinking water, especially in areas with high rainfall. Leachate is caused by several factors where one of the most dominant factors is meteorology, namely rain.

For those reasons, a research had done on the relationship between rainfall and the height of waste with leachate. This research is expected to be able to see leachate pattern using water balance method (Thornthwaite and HELP method) through *lysimeter* as landfill physical model to predict leachate production from a waste landfill in Indonesia which further form a functional relationship that can give a prediction of leachate if Rain falls with a certain intensity. This research uses an operational model of waste landfill that is Open Dumping and Sanitary Landfill, as well as variation of height from waste cell. The results obtained show that leachate is greatly influenced by the operational pattern and the height of waste heap, where in this case the altitude factor is a factor that slows down the percolation of rain water into leachate. In addition leachate pattern and method of calculating leachate percolation are obtained with Thornthwaite water balance method and HELP program application with measurement data. The results obtained were then compared with the experiments of *lysimeter*, Thornthwaite and HELP. Finally, a leachate pattern is made using water balance in landfill condition in Indonesia according to the availability of local data.

Keywords - leachate, *lysimeter*, municipal waste, Thornthwaite water balance, HELP

I. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang dihadapi dalam pengelolaan sampah kota

di Indonesia adalah pada proses akhir yaitu pada TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Pada umumnya proses yang

dilaksanakan di TPA di Indonesia berupa landfilling (pengurugan) dan sebagian besar dilaksanakan dengan open-dumping. Namun proses ini berpotensi mendatangkan masalah pada lingkungan, salah satunya adalah timbulnya lindi (leachate) yang dapat mencemari air tanah terutama di daerah yang memiliki curah hujan yang tinggi serta timbulnya bau, asap dan lalat yang mengganggu terutama apabila TPA tidak disiapkan dan dioperasikan dengan baik.

Menentukan produksi leachet di suatu landfill dapat dilakukan dengan metode water balance menggunakan model – model yang telah dikembangkan di berbagai negara seperti Thornthwhite dan HELP Model, namun demikian hingga saat ini belum ditemukan model yang sesuai untuk penentuan kuantitas leachate di Indonesia

Mengingat permasalahan yang di timbulkan oleh leachate terhadap lingkungan maka harus ditangani secara benar dan penanganan leachate dapat dimulai dengan penentuan produksi leachate secara tepat menggunakan konsep water balance (keseimbangan air) baik ketika pengoperasian TPA maupun setelah selesai pengoperasiannya.

II. GAMBARAN UMUM

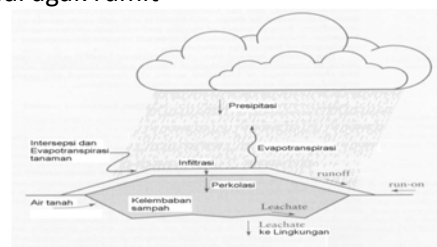
Sampah didefinisikan sebagai limbah yang bersifat padat terdiri dari zat organik dan anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan (SNI 19-2454-1991). Sampah umumnya dalam bentuk sisa makanan (sampah dapur), daun – daunan, ranting pohon, kertas/karton, plastik dan sebagainya. Sampah menurut Undang – undang No 18 tahun 2008 tentang pengelolaan sampah adalah sisa kegiatan sehari – hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat.

Sebagaimana dijelaskan dalam (undang-undang RI No.18 tahun 2008)

bahwa pembuangan akhir harus dilakukan secara aman bagi manusia dan lingkungan. Sistem penutup sampah pada model controlled landfill dan sanitary landfill akan mengurangi timbulan lindi, lalat dan bau yang terjadi di TPA.

Lindi (*Leachate*) adalah cairan yang merembes melalui tumpukan sampah dengan membawa materi terlarut atau tersuspensi terutama hasil proses dekomposisi materi sampah atau dapat pula didefinisikan sebagai limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah melarutkan dan membilas materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi biologis

Secara teoritis *leachate* tidak akan keluar dari timbunan sampah sebelum kapasitas serap air dari sampah terlampaui. Kuantitas lindi yang dihasilkan akan banyak tergantung pada masuknya air dari luar. Sebagian besar dari air hujan, disamping dipengaruhi oleh aspek operasional yang diterapkan seperti aplikasi tanah penutup, kemiringan permukaan, kondisi iklim di samping kemampuan tanah dan sampah untuk menahan uap air atau *field capacity* dan kemudian menguapkannya bila memungkinkan seperti tampak pada gambar 2.1, sehingga prediksi timbulan lindi agak rumit

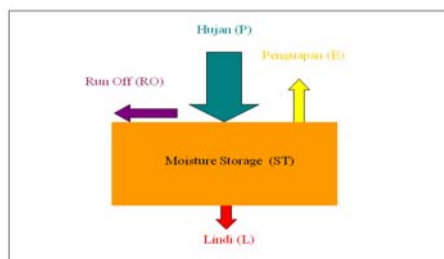


Gambar 1. Skema terjadinya lindi pada landfill tertutup

Sumber. Vesilind, 2002 dalam Damanhuri 2008

Konsep keseimbangan air di TPA merupakan konsep yang menerangkan keseimbangan air di TPA, seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa Secara teoritis leachate tidak akan keluar dari

timbunan sampah sebelum kapasitas serap air dari sampah terlampaui. Konsep ini ditunjukkan pada Gambar 2.2, dimana ketika terjadi hujan di suatu landfill, maka hujan tersebut akan diuraikan menjadi aliran run-off, evapotranspirasi, terinfiltrasi melalui lapisan tanah penutup dan lapisan sampah. Sampah dan tanah penutup karena sifat-sifat dan proses yang terjadi, air dapat tertahan atau tersimpan dengan jumlah sesuai dengan kemampuan materialnya atau moisture storage. Setelah kapasitas tampungan terlampaui dan akibat gaya gravitasi maka air tersebut akan mengalir dan keluar dari landfill menjadi leachate



Gambar 2. Skema Keseimbangan Air

III. PREDIKSI TIMBUL LINDI

Prediksi jumlah air lindi diperlukan dalam perencanaan system pengelolaan lindi (Leachate). Beberapa perangkat lunak tersedia di pasaran untuk mempermudah perhitungan prediksi lindi, diantaranya seperti Thornthwaite dan HELP model yang dikembangkan oleh USEPA.

IV. HASIL PENGUKURAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan data – data hasil observasi lapangan (hasil penelitian), yang mencakup tinjauan terhadap sampah, temperatur udara luar dan sampah lisimeter, pola timbulan lindi, penurunan muka sampah (settlement), Tinjauan terhadap hasil perhitungan

Thornthwaite dan perhitungan HELP. Data dikelompokkan dalam bentuk mingguan dan bulanan yang asalnya merupakan data dalam bentuk harian. Kemudian akan membahas juga pengaruh dari parameter – parameter yang diamati selama penelitian terhadap timbulan lindi. Analisis data ini meliputi :

A. Tinjauan Terhadap Sampah

Sampel sampah yang dipakai dalam penelitian ini diharapkan akan mewakili komposisi tipikal dari sampah kota di Indonesia, sampel sampah yang digunakan berasal dari TPS Tamansari. Dari data karakteristik, terutama komposisi sampahnya, terlihat bahwa proporsi bahan - bahan organiknya cukup besar mengingat sampah tersebut berasal dari daerah pemukiman, instansi dan pasar yang ada di sekitar TPS Tamansari, selain itu sampah – sampah yang masih memiliki nilai jual telah dipilah oleh pemulung.

1. Komposisi dan Karakteristik Sampah

Salah satu faktor yang turut mempengaruhi timbulan lindi pada suatu landfill adalah komposisi dan karakteristik sampah, sehingga peninjauan terhadap komposisi dan karakteristik sampah dianggap penting karena akan mempengaruhi daya serap sampah terhadap air. Hasil pengukuran terhadap komposisi sampah yang masuk kedalam lisimeter memiliki prosentase terbesar pada jenis sampah organik yaitu sebesar 68.5% , kemudian kertas 20.4%, plastik 9.4%, kain 0.8%, kayu 0.6% dan logam 0.4% berat sampah. Prosentase ini juga disebabkan bahan – bahan yang masih dapat dimanfaatkan kembali telah diambil oleh pemulung. Hasil uji komposisi sampah yang digunakan dalam penelitian atau yang masuk kedalam

lisimeter dapat dilihat pada gambar 4.1 (tabel lampiran A)

Selain mempengaruhi daya serap sampah terhadap air prosentase ini dalam kaitannya dengan kuantitas lindi, adalah merupakan suatu faktor yang dapat berkontribusi lindi, karena sampah tersebut akan teruraikan oleh mikroorganismenya. Hal ini dapat dianalogikan seperti dalam proses pengomposan dimana mikroorganismenya aerobik mengekstraksi energi dari bahan organik melalui suatu rangkaian reaksi eksothermik dapat menghancurkan material sampah menjadi bahan – bahan yang lebih sederhana. Proses tersebut dijabarkan dalam reaksi sebagai berikut

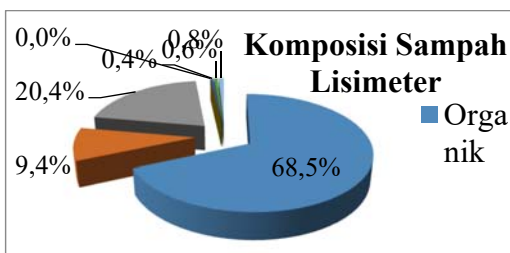
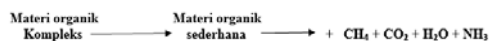


Dari reaksi diatas, terlihat bahwa senyawa organik yang dirombak oleh mikroorganismenya diantaranya akan menghasilkan air, dengan demikian komposisi sampah yang mempunyai bahan organik tinggi sedikit banyaknya mempunyai kontribusi menghasilkan sejumlah lindi melalui reaksi perombakan oleh mikroorganismenya.

Begitu juga halnya dengan reaksi anaerob Secara umum reaksi anaerob terjadi menurut dua tahap proses yaitu :

1. Pemecahan materi organik oleh bakteri anaerob menjadi asam – asam organik
2. Pemecahan asam – asam organik menjadi metana dan karbondioksida.

Persamaan reaksi anaerob yang terjadi dalam timbunan sampah adalah :



Gambar 3. Komposisi sampah pada lisimeter hari ke-1

2. Berat Sampah dan Densitas Sampah

Densitas sampah yang direncanakan adalah sebesar +/- 400 kg/m³, sehingga untuk masing – masing lisimeter mempunyai data sampah yang dimasukan ke dalam lisimeter setelah dipilah menurut versi pemulung dan dicacah ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Densitas sampah dalam lisimeter

No	Spesifikasi	Satuan	Lisimeter Kuning	Lisimeter Biru	Lisimeter Orange
1	Luas lisimeter	m ²	0.515	0.515	0.515
2	Berat sampah	kg	317	508	322
3	Tinggi sampah	m	160	2.3	1.4
4	Tinggi tanah penutup	m	0	0.2	0.2
5	Tinggi sampah + tanah	m	1.6	2.5	1.6
6	Densitas sampah	kg/m ³	384.68	394.534	390.747
7	Keterangan		Open Dumping	Sanitary landfill	Sanitary landfill

Densitas sampah dalam lisimeter adalah 384.680 kg/m³ untuk OD 2 m, 394.534 kg/m³ untuk SL 3 m dan 390.747 kg/m³ untuk SL 2 m. Adapun pengaruh densitas terhadap timbulan lindi adalah semakin besar densitas sampah dalam lisimeter maka kecenderungan air untuk berinfiltrasi dan perkolasi semakin kecil tetapi run off akan semakin besar sehingga lindi yang dihasilkan akan lebih sedikit jika dibandingkan dengan lisimeter yang densitasnya jauh lebih kecil.

3. Kadar Air dan Kadar Volatil Sampah

Hasil pengukuran kadar air dan volatil sampah yang masuk di lisimeter ditunjukkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Kadar air dan kadar volatile sampah

Kadar air sampah	53.40%
Kadar volatil	36.50%

Kadar air merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses penguraian sampah oleh mikroorganisme. Kelembaban atau kadar air ini dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri. Kadar air dalam timbunan sampah pada penelitian ini adalah sebesar 53.40 %, dengan kadar air sebesar itu mikroorganism dalam timbunan sampah diperkirakan dapat hidup sehingga perombakan oleh mikroorganisme dapat berlangsung dengan baik.

Kadar air yang tinggi dalam sampah merupakan faktor yang menunjang proses pelindian apabila dilihat dari aspek saturasi, karena absorpsi air oleh materi sampah dalam lisimeter akan lebih sedikit karena materi sampah telah mengalami sedikit jenuh. Akibatnya apabila terdapat air yang berinfiltrasi melalui sampah air tersebut akan banyak mengalami perkolasi kelapisan yang paling rendah dan akhirnya banyak keluar sebagai lindi.

Prosentase Total Volatil Solid (TVS) sampah adalah sebesar 36.50 % berat kering. Nilai ini menggambarkan materi organik yang dapat terdekomposisi.

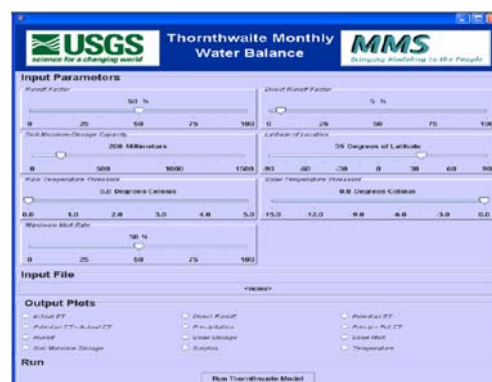
4. Tinjauan Terhadap Metode Thornthwaite

Metode Thornthwaite merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui keseimbangan air yang dalam hal ini diterapkan pada keseimbangan air pada timbunan sampah. Metode ini di dasarkan atas asumsi bahwa potensi evapotranspirasi hanya bergantung pada kondisi meteorologi dan mengabaikan faktor densitas dan pertumbuhan tanaman. Faktor lintang dan bulan menghasilkan rata – rata penyinaran matahari bulanan, hal ini merupakan input yang agak kasar dalam faktor penyinaran matahari yang berpengaruh terhadap besarnya evapotranspirasi. Dalam rumus yang digunakan tidak dimasukan faktor kelembaban dan kecepatan angin sebagai

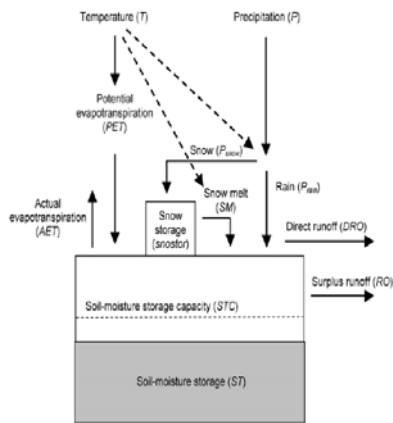
faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi. Namun metode Thornthwaite ini masih banyak digunakan karena kemudahan input datanya yaitu rata – rata temperature udara, Curah hujan bulanan dan lintang suatu daerah.

5. Perhitungan Thornthwaite

Perhitungan Thornthwaite program dikembangkan oleh (U.S.Dept. of Agriculture) dan dapat di download pada alamat www.usgs.gov/pubprod. Tampilan program ditunjukkan pada gambar 4.2. adapun input yang digunakan untuk program ini adalah curah hujan, run off factor, direct run off factor, soil moisture storage capacity, lokasi garis lintang, snow temperature threshold, maximum snow melt rate dan temperatur. Untuk perhitungan ini disesuaikan dengan kondisi di Indonesia yaitu untuk kolom snow atau salju di kosongkan.

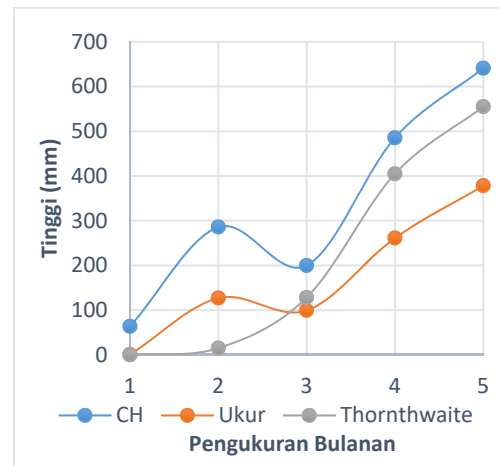


Gambar 4. Tampilan Program Thornthwaite

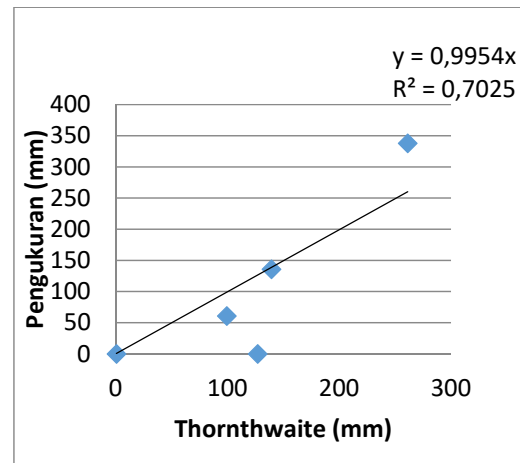


Gambar 5. Konsepampilan Program Thornthwaite

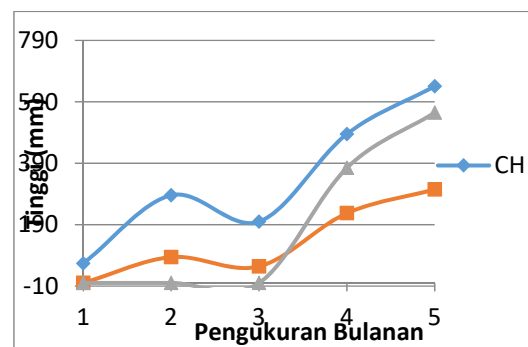
Hasil output dalam bulanan kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran lapangan. Ditunjukkan pada gambar 4.4, 4.6 dan 4.8. Pada gambar terlihat perbedaan antara hasil perhitungan Thornthwaite dengan timbulan lindi hasil pengukuran lebih besar hasil pengukuran dan memberikan kesalahan, dimana menurut Thornthwaite pada bulan pertama dan kedua tidak muncul lindi karena ST sampah masih bisa menahan air tetapi pada kenyataannya lindi telah keluar. Kenyataan demikian menunjukkan bahwa terdapat faktor lain yang turut mempengaruhi timbulan lindi yang keluar dari timbunan sampah selain faktor meteorologis. Diperkirakan faktor tersebut berasal dari sampah yaitu kemampuan sampah dalam menahan air (*field capacity*). Fenomena ini juga memperlihatkan bahwa metoda Thornthwaite sangat dipengaruhi oleh nilai (*field capacity*).



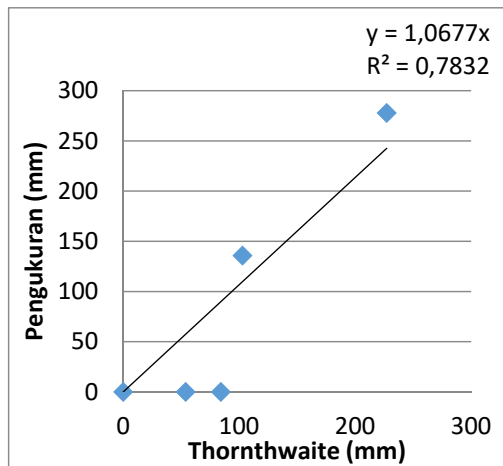
Gambar 6. Lindi pada OD 2 m dengan hasil Thornthwaite



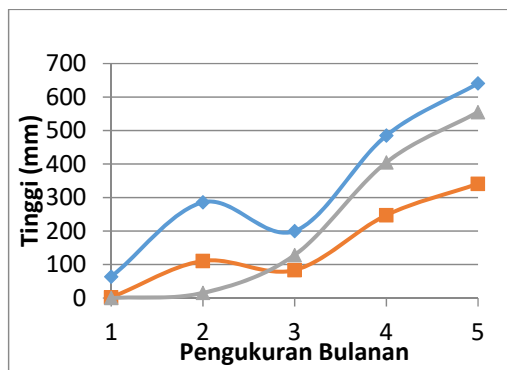
Gambar 7. Nilai R² lindi pada OD 2 m dengan hasil Thornthwaite



Gambar 8. Lindi pada SL 3 m dengan hasil Thornthwaite



Gambar 9. Nilai R² lindi pada SL 3 m dengan hasil Thornthwaite



Gambar 10. Lindi pada SL 2 m dengan hasil Thornthwaite

6. Tinjauan Terhadap Metode HELP

Pada perhitungan HELP input data yang dimasukan adalah data primer hasil pengukuran dilapangan dengan data yang diperoleh dari BMKG, kemudian akan disimulasikan perhitungan nilai timbulan lindi dari 3 lisimeter. Adapun data minimum yang harus ada sebagai input untuk simulasi program HELP adalah data klimatologi (data presipitasi, lama penyinaran matahari, temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin), data tanah dan data desain. Perbandingan hasil pengukuran dengan perhitungan disajikan pada (lampiran E), kemudian hasilnya diplot dalam grafik secara mingguan maupun bulanan yang terdapat pada gambar 4.10, 4.12 dan

4.14 (mingguan) dan gambar 4.11, 4.13 dan 4.15 (bulanan)

Hasil percobaan lisimeter baik lisimeter OD 2 m, SL 3 m dan SL 2 m dibandingkan dengan hasil perkolasi dari HELP secara bulanan menunjukkan kecenderungan yang sama. Hal ini dapat dijelaskan secara statistik dengan pengujian dua sampel, yaitu mengambil hipotesis-nol (Ho) dan hipotesis alternatifnya (H₁) (tabel 4.6) dan hasilnya dapat dilihat dalam tabel 4.7.

Tabel 4.3 Hipotesis yang diambil pada pengujian dua sampel

Hipotesis nol	Hipotesis-alternatif
Ho : X ₁ = Y ₁	Ho : X ₁ ≠ Y ₁
Ho : X ₂ = Y ₂	Ho : X ₂ ≠ Y ₂
Ho : X ₃ = Y ₃	Ho : X ₃ ≠ Y ₃

Keterangan : X menunjukkan rata – rata percobaan lisimeter sedangkan Y menunjukkan rata – rata simulasi program HELP

Berdasarkan analisa statistik yang telah dilakukan dengan nilai sb untuk hasil pengukuran OD 2 m = 93.35, SL 3 m = 91.46 dan SL 2 m = 89.67 sedangkan Untuk hasil HELP nilai sb OD 2 m = 105.36, SL 3 m = 87.74 dan SL 2 m = 93.92. Terlihat bahwa hasil percobaan Lisimeter OD 2 m, SL 3 m dan SL 2 m mempunyai kecenderungan yang sama dengan hasil simulasi program HELP pada tingkat signifikasi 99 %, begitu juga pada signifikasi 95%

Tabel 4.4 Hipotesis yang diambil pada pengujian dua sampel

Lisimeter	Nilai RK	Rentang Kepercayaan	Kesimpulan
OD 2 m	- 0.012	95%	Terima hipotesis nol
		99%	Terima hipotesis nol
SL 3 m	- 0.044	95%	Terima hipotesis nol
		99%	Terima hipotesis nol
SL 2 m	- 0.066	95%	Terima hipotesis nol
		99%	Terima hipotesis nol

Walaupun demikian tetap hasil dari simulasi HELP memberikan perbedaan dengan hasil pengukuran yaitu prosentase kesalahan yang ditunjukkan oleh tabel 4.8

Tabel 4.5 Prosentase Kesalahan HELP terhadap Percobaan Lisimeter

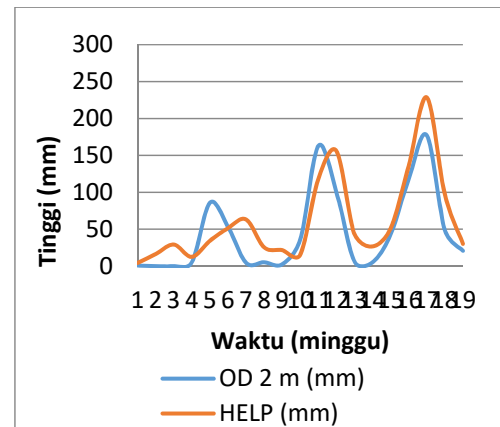
Lisimeter	Kuantitas Lindi		
	Pengukuran	HELP	% Kesalahan
OD 2 m	874.45	1136.64	24.65
SL 3 m	675.65	1094.452	29.96
SL 2 m	790.41	1171.84	34.05

Perbedaan hasil perkolasi lindi pada lisimeter OD 2 m, SL 3 m dan SL 2 m mungkin disebabkan oleh asumsi – asumsi yang digunakan pada input data program HELP, baik input data klimatologi maupun input data desain. Penggunaan asumsi dilakukan karena keterbatasan data yang tersedia pada percobaan lisimeter sehingga perlu dilakukan beberapa asumsi untuk memenuhi kriteria data program HELP.

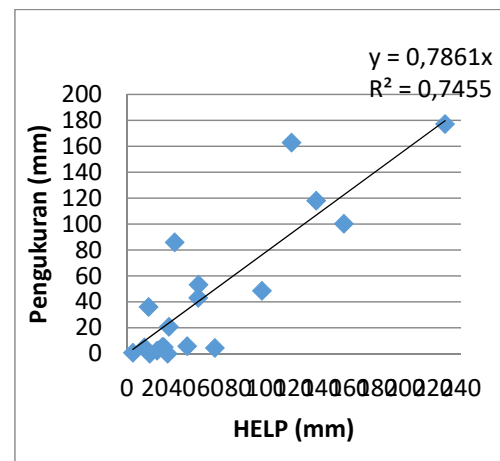
Pada input data klimatologi, hal yang sangat mempengaruhi adalah input data hujan, yang hanya dilakukan selama 133 hari atau (19 minggu), begitu juga dengan data lama penyinaran matahari, kelembaban udara dan kecepatan angin yang yang secara keseluruhan menggunakan data BMKG Bandung. Hal ini disebabkan pada percobaan lisimeter tidak dilakukan pengukuran parameter tersebut.

Pada input data desain, hal yang mempengaruhi adalah input nilai porositas, field capacity, wilting point dan konduktivitas hidrolis dalam program HELP. Pada percobaan lisimeter tidak

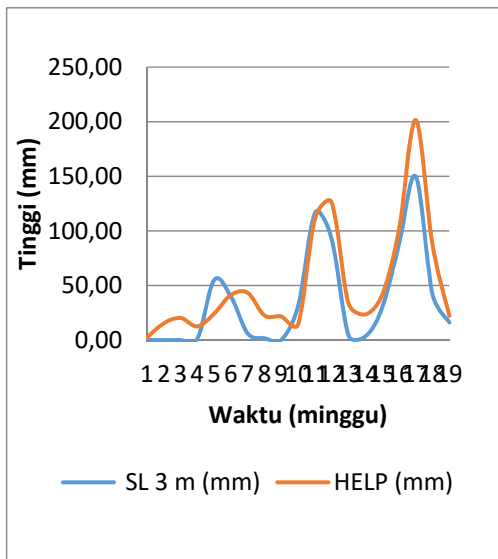
dilakukan pengukuran porositas sampah sehingga nilai porositas tanah dan sampah yang diinputkan dalam program HELP diasumsikan sesuai dengan default data yang tersedia. Sedangkan untuk nilai field capacity dan wilting point diambil nilai kemampuan menahan air yaitu field capacity dikurangi wilting point atau nilai wilting point dibuat nol sehingga nilai field capacity merupakan kapasitas menahan air. Selain itu pada percobaan lisimeter tidak dilakukan perhitungan kapasitas menahan air secara spesifik untuk sampah. Oleh karenanya, digunakan nilai yang tersedia pada program HELP. Sementara untuk konduktivitasnya hidrolis nilainya disesuaikan dengan default nilai yang diberikan pada program HELP.



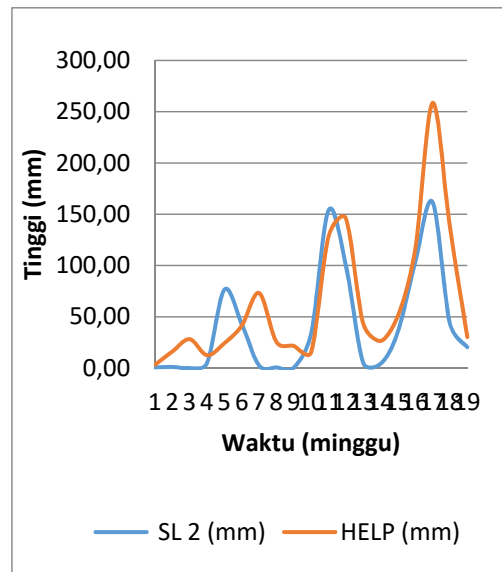
Gambar 11. Perbandingan lindi pada OD 2 m dengan HELP



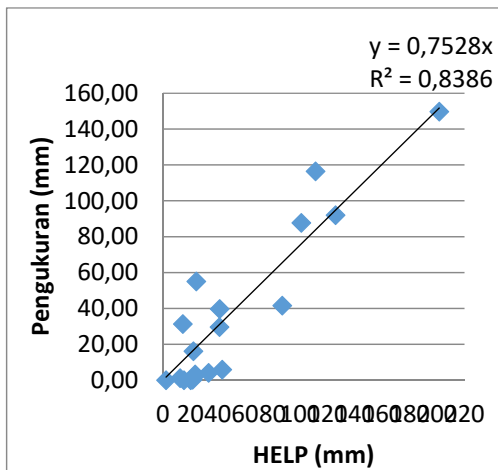
Gambar 12. Nilai R² lindi pada OD 2 m dengan hasil HELP



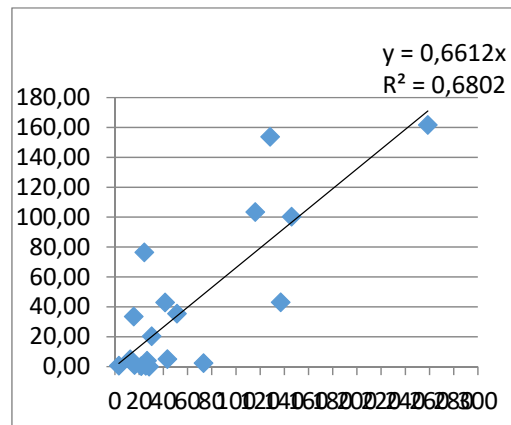
Gambar 13. Grafik lindi pada SL 3 m dengan hasil HELP



Gambar 15. Perbandingan lindi pada SL 2 m dengan HELP



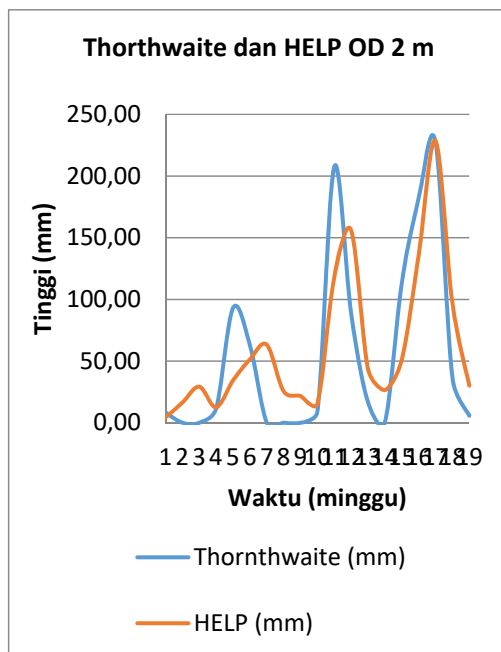
Gambar 14. Nilai R² lindi pada SL 3 m dengan hasil HELP



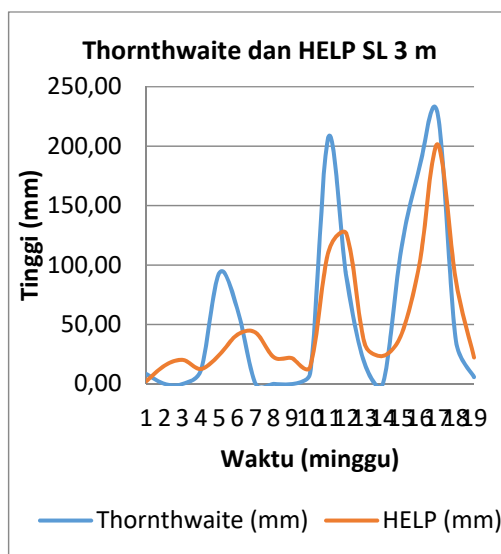
Gambar 16. Nilai R² lindi pada SL 2 m dengan hasil HELP

7. Perbandingan Metode Thorntwaite dengan HELP

Perbandingan hasil perhitungan timbulan lindi menggunakan metode neraca air simulasi program Thornthwaite dibandingkan dengan hasil simulasi program HELP hasil perbandingannya dapat dilihat pada gambar 4.16, 4.17 dan 4.18 di bawah ini .



Gambar 17. Grafik perbandingan hasil Thornthwaite dan HELP



Gambar 18. Grafik perbandingan hasil Thornthwaite dan HELP

Pada gambar diatas terlihat perbedaan antara perhitungan perkolasi metode neraca air Thornthwaite dengan hasil simulasi program HELP. Perbedaan utama kedua metode perhitungan ini adalah, bahwa program HELP menghitung perkolasi berdasarkan evaluasi harian sedangkan metode neraca air Thornthwaite bersifat bulanan

sehingga perhitungan program HELP memberikan akurasi perhitungan yang lebih baik. Hasil kedua perhitungan memang menunjukkan pola yang mirip dengan hasil pengukuran tetapi nilai program HELP lebih mendekati dengan hasil pengukuran apabila menggunakan data – data untuk SL 3 m dibandingkan perhitungan Thornthwaite, tetapi untuk SL 2 dan OD 2 perhitungan Thornthwaite lebih mendekati dengan pengukuran dilapangan dibandingkan dengan HELP. Hal ini dapat dilihat pada timbulan lindi minggu 7 – 10, dimana pada perhitungan perkolasi Thornthwaite menunjukkan nilai nol sedangkan pada hasil simulasi program HELP tetap menunjukkan adanya timbulan lindi. Perbedaan hasil ini dipengaruhi oleh perhitungan koefisien runoff. Koefisien runoff pada metode neraca air Thornthwaite diasumsikan tipikal seperti lawns, sandy soil datar dengan kemiringan 2%, sedangkan pada simulasi program HELP perhitungan koefisien runoff menggunakan SCS runoff curve number (U.S.Dept. of Agriculture, 1972)

Selain itu Thornthwaite menganggap lapisan sampah itu menjadi 1 lapis atau apabila ada 2 lapis yaitu tanah dan sampah maka untuk perhitungan Thornthwaite menggunakan FC gabungan. Selain itu model Thornthwaite merupakan model 1 dimensi yang mana hanya memodelkan air secara vertical. Sedangkan HELP merupakan model 2 dimensi dari pergerakan air di dalam landfill yaitu pergerakan air secara vertical dan horizontal. Model HELP dikembangkan sebagai penghitung neraca air di landfill hingga 20 layer dengan memodelkan tiap proses hidrologi yang terjadi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

1. Pola timbulan lindi pada tiap lisimeter mengikuti pola hujan
2. Pengaruh curah hujan dan ketinggian timbunan sampah terhadap timbulan lindi sangat berkaitan.
3. Pada perhitungan perkolasi, jika data klimatologi dan desain tersedia lengkap maka HELP merupakan metode yang direkomendasikan untuk diterapkan, akan tetapi jika tidak lengkap metode Thornthwaite dapat diterapkan.
4. Metode neraca air Thorntwaite merupakan metode yang cukup baik untuk diterapkan pada perhitungan debit timbulan lindi, walaupun hasil akhir dalam bentuk bulanan.
5. Perhitungan debit timbulan lindi menggunakan program HELP secara statistic menunjukkan kecenderungan sama pada tiap lisimeter dengan signifikansi 99%, sehingga dapat direkomendasikan untuk perhitungan debit timbulan lindi pada perancangan pengolah lindi untuk landfill di Indonesia
6. Hubungan fungsional antara curah hujan dan kuantitas lindi secara analisis regresi mempunyai suatu hubungan dengan gradient garis yang berbeda – beda dan tingkat korelasi yang tidak sama untuk tiap lisimeter. Hal ini menggambarkan ketidakaturan jalannya lindi yang timbul.

2. Saran

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan mengamati perubahan daya tampung sampah terhadap air (field capacity) akibat dekomposisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bendz, D., Singh, V.P., Akesson, M., 1997, Accumulation of water and generation of leachate in young landfill, *Jornal of Hidrology*. <http://www.scopus.com>.
- [2] Damanhuri, 2008, Landfilling limbah, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan – Institut Teknologi Bandung.
- [3] E.,Damanhuri : Solid and Hazardous Waste Management in Indonesia, *Proceedings on Environmental Technology & Managemen. Seminar*, 9 – 10 January 2002Byun, H. and Lee, S.W., 2003, A Survey on Pattern Recognition Applications of Support Vector Machines, *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol. 17, No 3, pp. 459 – 486.