

RENCANA INSTALASI PENGOLAHAN LINDI (IPL) TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) REGIONAL KABUPATEN DAN KOTA MAGELANG

Fx. Ganesa Satria Widyatama^{*)}, Wiharyanto Oktiawan^{**)}, Arya Rezagama^{**)}

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

JL. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

email: ganesha.widyatama@gmail.com

Abstrak

Pengelolaan serta manajemen sampah dan limbah merupakan suatu masalah serius yang harus dihadapi tidak hanya oleh negara-negara berkembang tetapi juga di negara-negara maju. Tempat pemrosesan akhir atau yang disingkat TPA merupakan sarana penting suatu daerah untuk manajemen sampah. Pemerintahan Kabupaten dan Kota Magelang merencanakan akan membangun TPA baru dikarenakan masa pakai TPA eksisting daerah tersebut sudah habis. Pada pengoperasian sebuah TPA tentu akan menghasilkan limbah cair berupa lindi, oleh karena itu pembangunan TPA tersebut perlu disertai dengan pembangun sarana pendukungnya yaitu IPL (Instalasi Pengolahan Lindi) yang sesuai dan cocok pada kondisi eksisting TPA. Dari hasil penelitian dan survei lapangan yang dilakukan, timbulan lindi pada TPA regional adalah 139,104 m³/hari dengan konsentrasi BOD = 1362,61 ; COD = 5798,36 ; TSS = 629. Terdapat empat unit proses pengolahan pada IPL, yaitu proses anaerob, proses fakultatif, proses aerasi, dan proses karbon aktif. Kolam anaerob dengan volume 4968 m³, waktu tinggal 35,90 hari dan penurunan BOD sebesar 70% kemudian dilanjutkan ke kolam fakultatif dengan luas kolam sebesar 1464,25m², waktu tinggal 12,19 hari dan penurunan BOD sebesar 64,8551% kemudian dilanjutkan ke kolam aerasi dengan volume kolam sebesar 556,416 m³, waktu tinggal 4 hari dan penurunan BOD sebesar 72,46% terakhir diolah dengan menggunakan karbon aktif dengan volume reaktor sebesar 2,898 m³ massa GAC yang diperlukan 1.275.120 g dan penurunan BOD sebesar 55%. Konsentrasi effluent yang dihasilkan oleh IPL dan kemudian dibuang ke badan air adalah TDS = 72mg/l ; TSS = 6mg/l ; BOD = 24,087mg/l ; COD = 90mg/l.

Kata kunci: TPA, IPL, lindi, kolam, stabilisasi, limbah cair, COD, BOD, TSS

Abstract

[Leachate Treatment Plan (IPL) Of Sanitary Landfill (TPA) for Regional District And The City Of Magelang] Waste and wastewater management is a serious problem that must be faced not only by developing countries but also in developed countries. Final processing or abbreviated landfill is an important means an area for garbage management. Magelang District Government and the City are planning to build a new landfill because the lifetime of the existing landfill area is already depleted. In the operation of a landfill would generate liquid waste in the form of the leachate, therefore the construction of the landfill should be accompanied by a means of supporting the builder is IPL (Leachate Treatment Plant) appropriate and fit the existing condition of the landfill. From the results of research and field surveys were conducted, the regional landfill

leachate generation is 139.104 m³ / day with a BOD concentration = 1362.61; COD = 5798.36; TSS = 629. There are four units at IPL processing, namely the process of anaerobic, facultative processes, process aeration, and activated carbon process. anaerobic pond with volume of 4968 m³, tinggal time 35.90 days and a 70% reduction in BOD and then proceed to the facultative pond with pond area of 1464.25 m², a residence time of 12.19 days and amounted to 64.8551% reduction in BOD and then proceed to an aeration pond with a volume of 556.416 m³, a residence time of 4 days and a decrease of 72.46% BOD Last post processed by using active carbon with a volume of 2.898 m³ reactor mass necessary GAC g 1.27512 million and decreased by 55% BOD. The concentration of effluent produced by IPL and then discharged into water bodies is TDS = 72mg/l ; TSS = 6mg/l ; BOD = 24,087mg/l ; COD = 90mg/l.

Keyword: TPA, IPL, leachate, pond, stabilization, wastewater, COD, BOD, TSS

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pengelolaan serta manajemen sampah dan limbah merupakan suatu masalah serius yang harus dihadapi tidak hanya oleh negara-negara berkembang tetapi juga di negara-negara maju. Keterbatasan teknologi dan ekonomi merupakan salah satu faktor bermasalahnya pengelolaan sampah. Di Indonesia budaya, kebiasaan lama, perilaku dan cara pandang masyarakat tentang pengolahan dan manajemen sampah dan limbah yang buruk harus diubah sedikit demi sedikit.

TPA sebagai sarana pengolahan dan manajemen sampah perkotaan sangat diperlukan di setiap kota. Magelang, merupakan daerah yang berada di provinsi Jawa Tengah memiliki kendala dalam pengolahan dan manajemen sampah kabupaten dan kotanya. TPA eksisting Kabupaten dan Kota Magelang yang saat ini sudah hampir penuh memerlukan tempat baru (TPA) untuk mengolah serta memanajemen sampah yang timbul di Kabupaten dan Kota Magelang. TPA baru yang direncanakan adalah TPA regional Kabupaten dan Kota Magelang yang berada di Kecamatan

Tempuran, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah.

Dengan adanya TPA baru perlu direncanakan juga sarana-sarana pendukung TPA dan saranya yang paling penting diantaranya adalah sarana pengolahan lindi. Adanya peraturan daerah yang mengatur tentang standar baku mutu limbah yang diperbolehkan dibuang ke badan air mengharuskan TPA regional Kabupaten dan Kota Magelang mengolah lindi yang timbul. Untuk mengolah lindi yang timbul perlu direncanakan Unit Pengolahan Lindi yang pas sesuai dengan debit serta karakteristik lindi yang dihasilkan agar nantinya tidak mencemari badan air dan air tanah di daerah sekitar TPA.

Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi besarnya debit dan kualitas air lindi yang dihasilkan dari TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang.
2. Merencanakan dan menganalisis alternatif unit pengolahan air lindi TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang.
3. Mendesain unit pengolahan air lindi TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang.

4. Menghitung besarnya biaya yang dibutuhkan untuk membangun unit pengolahan tersebut.

STUDI PUSTAKA

Pengertian Air Lindi

Menurut Tchobanoglous (1993) menyatakan bahwa lindi (*Leachate*) adalah cairan yang melewati *landfill* dan bercampur serta tersuspensi dengan zat-zat atau materi yang ada dalam tempat penimbunan (*landfill*) tersebut. Cairan dalam *landfill* tersebut berasal dari luar diantaranya air hujan, aliran atau drainase permukaan, air tanah, dan cairan yang dihasilkan dari dekomposisi sampah.

Timbulan Lindi

Timbulan lindi dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan keseimbangan massa berikut (Vesilind and Worrell, 2012) :

$$C = P(1-R) - S - E$$

Dimana :

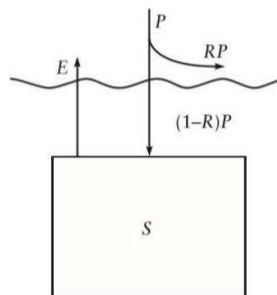
C = total perlokasi ke dalam lapisan tanah (mm/tahun)

P = presipitasi (mm/tahun)

R = koefisien runoff/limpasan

S = storage / kapasitas penyimpanan air pada tanah dan sampah (mm/tahun)

E = evapotranspirasi (mm/tahun)



Gambar 1. Keseimbangan massa air di TPA
(Sumber: Vesilind, 2002)

Pemilihan Lokasi pengolahan Lindi

Pemilihan lokasi untuk sarana pengolahan limbah harus dievaluasi berdasarkan topografi, tata guna lahan, pengaruhnya terhadap lingkungan sekitar dan analisa ekonomi. Beberapa prinsip yang harus dipertimbangkan dalam memilih lokasi sarana pengolahan air limbahantara lain adalah sebagai berikut (Qasim, 1999):

1. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sebaiknya dibangun pada tempat dengan elevasi rendah agar memungkinkan penyaluran secara gravitasi,
2. Lokasi IPAL bukan pada tanah atau area yang akan dikembangkan,
3. Lokasi bukan pada daerah atau tempat yang sering terjadi banjir,
4. Terdapat jalur untuk akses masuk ke lokasi IPAL yang dapat selalu dilewati,
5. Lokasi IPAL tidak jauh dengan saluran atau sungai atau badan air alami yang mampu menerima efluen dari pengolahan,
6. Struktur tanah mampu untuk mendukung IPAL,
7. Lokasi IPAL mempunyai slope yang dapat mengalirkan air limbah secara gravitasi dari unit pengelohansatu unit ke pengolahan lainnya,
8. Lokasi bukan merupakan tempat yang mempunyai nilai sejarah atau arkeologi atau wilayah yang dilindungi oleh pemerintah.

Teknologi Alternatif Pengolahan

Pemilihan alternatif pengolahan air limbah sebaiknya menggunakan anggapan bahwa air

limbah adalah sumber daya, bukan sesuatu yang harus dibuang. Air limbah harus dipandang sebagai sumber daya karena didalamnya terdapat 4 (empat) komponen yaitu : air + energi + nutrien + peluang kerja. Air, yang merupakan komponen utama dari air limbah, bila telah diolah dan memenuhi standar akan dapat dipergunakan untuk irigasi ataupun usaha perikanan. Zat organik, yang merupakan polutan dalam air limbah, bila pengolahannya tepat akan dapat diubah menjadi energi yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan masyarakat. Nutrien yang terdapat dalam air limbah juga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk untuk lahan pertanian. Sedangkan. Apabila tepat pemlhan teknologinya, pengelolaan air limbah akan memberikan peluang kerja yang tidak sedikit (Nayono, 2005).

Kolam Stabilisasi

Kolam stabilisasi menggunakan proses fisis dan biologis untuk mengurangi kandungan bahan pencemar yang terdapat pada limbah air. Proses tersebut meliputi pengendapan partikel padat, pengurangan zat organik, pengurangan nutrient (P dan N) serta pengurangan organisme patogenik seperti bakteri, telur cacing dan virus (Polprasert, 1996; Penavaron dan Mara, 2004).

Prinsip dasar dari kolam stabilisasi adalah (Veenstra, 2000):

- menyeimbangkan dan menjaga fluktuasi beban organik dan beban hidrolis limbah air,
- mengendapkan partikel padatan dari air limbah di kolam pertama, - memanfaatkan proses

fotosintesis yang dilakukan oleh algae sebagai sumber utama oksigen,

- proses penguraian zat organik secara biologis yang dilakukan oleh mikroorganisme (baik secara aerobik maupun anaerobik), dan
- pengurangan organisme patogenik melalui beberapa proses interaktif antara alga dan bakteri.

Kolam stabilisasi dapat diklasifikasikan berdasarkan pada proses biologis yang utama pada kolam tersebut, pola pembebanan hidrolis atau tingkat pengolahan yang diinginkan. Berdasarkan pada hal tersebut, kolam stabilisasi dapat digolongkankan menjadi: kolam anaerobik, kolam fakultatif dan kolam pematangan (Polprasert, 1996).

1. **Kolam anaerobik** (*anaerobic ponds*). Kolam anaerobik didesain agar partikel padat yang dapat terurai secara biologis dapat mengendap dan diuraikan melalui proses anaerobik. Kolam ini biasanya mempunyai kedalaman 3 sampai 5 meter dengan masa tinggal hidrolis (hydraulic retention time) antara 1 sampai 20 hari.
2. **Kolam fakultatif** (*facultative ponds*). Kolam fakultatif biasanya mempunyai kedalaman berkisar 1 sampai 2 meter dengan proses penguraian secara aerobik dibagian atas dan penguraian secara anaerobik di lapisan bawahnya. Jenis kolam ini mempunyai masa tinggal hidrolis antara 5 sampai 30 hari. Penggunaan kolam fakultatif

bertujuan untuk menyeimbangkan input oksigen dari proses fotosintesis alga dengan pemakaian oksigen yang digunakan untuk penguraian zat organik.

3. **Kolam pematangan** (*maturation ponds*). Kolam pematangan adalah kolam dangkal dengan kedalaman hanya 1 sampai 1,5 meter. Hal ini ditujukan agar keseluruhan kolam tersebut dapat ditumbuhi oleh alga sehingga oksigen yang dihasilkan selama proses fotosintesis dapat dipergunakan untuk proses penguraian secara aerobik. Kolam ini digunakan untuk memperbaiki kualitas air yang dihasilkan oleh pengolahan di kolam fakultatif dan untuk mengurangi jumlah organisme patogenik.

Tabel 1. Kelebihan dan keterbatasan pengolahan air limbah dengan kolam stabilisasi

Kelebihan	Keterbatasan
- Biaya untuk investasi relatif rendah	- Area yang dibutuhkan relatif luas (2-5 m ² /PE)
- Mempunyai kemampuan untuk menghindari kelebihan pembebanan bahan organik	- Air hasil pengolahan mempunyai kandungan algae yang tinggi
- Kebutuhan energi relatif rendah	- Adanya kehilangan air karena penguapan
- Pengoperasian dan pemeliharaan relatif mudah	- Ada kemungkinan menjadi tempat berkembang biak nyamuk dan agen penyakit lainnya
- Lumpur (biomass) yang dihasilkan dapat digunakan sebagai kompos untuk keperluan pertanian	

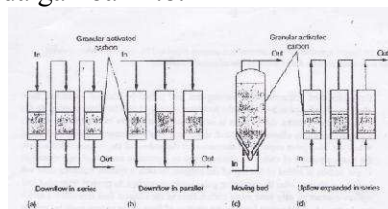
Sumber : Veenstra, 2000, Pescod, 1992 dan Pena-Varon and Mara, 2004

Karbon Aktif

Pengolahan air limbah dengan menggunakan karbon aktif biasanya dipergunakan sebagai

proses kelanjutan dari pengolahan secara biologis. Di samping inti dari pengontakan karbon dengan air maka benda-benda partikel juga bisa ikut dihilangkan. Proses ini biasanya dipergunakan untuk melengkapi proses pengolahan secara biologi dari limbah industri yang mana proses biologisnya tidak lengkap, sehingga masih terdapat masalah pada air limbah.

Pengolahan menggunakan GAC adalah dengan melewati limbah cair untuk diolah karbon aktif yang berada di dalam reaktor (kadang disebut kontraktor). Beberapa reaktor karbon aktif digunakan untuk pengolahan limbah tahap lanjut. Tipikal sistem karbon aktif biasanya menggunakan sistem *pressure* (pompa) atau grafitasi, dan bisa menggunakan sistem *downflow* atau *upflow* dua atau tiga reaktor secara paralel atau seri, atau tipe *expanded*. Diagram skematik tipikal reaktor karbon aktif dapat dilihat pada gambar II.8.

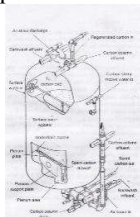


Gambar 2 Tipe-Tipe Reaktor Karbon Aktif (Sumber : Metcalf & Eddy, 2003)

Granular-activated carbon (GAC) reaktor biasanya digunakan untuk menyerap bahan organik dan menyaring partikel terlarut dari pengolahan sebelumnya. Air yang akan diolah dimasukan dari atas reaktor dan keluar melalui bagian bawah reaktor. Tipikal reaktor GAC bisa dilihat pada gambar II.9. Ketentuan untuk *backwash* dan pencucian permukaan

dilakukan berkala antara 1-2 hari, keduanya dilakukan untuk membatasi penumpukan kehilangan tekanan (*headloss*) yang disebabkan karena pengurangan padatan tersuspensi oleh karbon aktif di dalam kolom reaktor. Sayangnya *backwash* mempunyai efek samping menghancurkan proses adsorpsi pada karbon aktif.

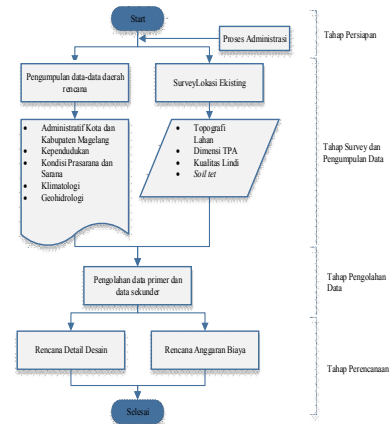
Gambar 3 Tipikal Reaktor Karbon Aktif



(Sumber :
 Metcalf & Eddy, 2003)

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam perencanaan Instalasi Pengolahan Lindi TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang ini diperlukan susunan metode perencanaan pekerjaan yang sistematis mulai dari awal sampai selesainya. Tahapan perencanaan Instalasi Pengolahan Lindi TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang yang dilakukan secara garis besar dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini



Gambar 4 Skema Perencanaan

Tahap Persiapan - dilakukan proses administrasi hingga diperoleh persetujuan pelaksanaan tugas akhir yang dipilih, berikut merupakan objek dari tugas akhir saya yaitu pembangunan Unit Pengolahan Air Lindi TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang. Pada tahap ini juga sudah dimulai melakukan studi literature.

Tahap Survey dan Pengumpulan Data - Survey yang dilakukan meliputi pengamatan langsung ke daerah perencanaan untuk memperoleh data-data primer dan ke instansi terkait untuk memperoleh data-data sekunder.

Tabel 2.Keperluan Data

No	Data	Instansi Terkait	Jenis Data	
			Primer	Sekunder
1	Kondisi Rencana TPA Regional			
	a Data topografi lahan	T.Geologi UNDIP		✓
	b Data dimensi TPA	T.Geologi UNDIP		✓
	c Data soil test	BPIK dan T.Sipil UNDIP		✓
	d Data kualitas lindi (TPA Eksisting Banyuwirip Kota Magelang)	T. Lingkungan Undip	✓	✓
2	Kondisi daerah studi			
	a Administratif	Bappeda dan BPS		✓
	b Aspek Prasarana dan Sarana	BPS		✓
	c Demografi (pendudukan)	BPS		✓
	d Klimatologi. • Curah hujan • Temperatur • Kelembapan • Arah & kecepatan angin • Posisi alat pemantau cuaca	BMKG Provinsi		✓
	e Geohidrologi	BLH dan KLH Magelang		✓

Tahap Analisis Data - menganalisis data-data yang telah diperoleh baik data primer maupun data sekunder. Serta menyesuaikannya dengan literatur (pustaka) yang ada.

Tahap Perencanaan - memaparkan tentang perencanaan desain IPL TPA baru sesuai kondisi eksisting TPA dan literature (pustaka) yang ada.

HASIL DAN PEMBAHASAN Perhitungan Timbulan Lindi Persipitasi

Dari data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Provinsi Jawa Tengah didapatkan curah hujan tahunan untuk 5 tahun terakhir sebagai berikut :

Tabel 3. Rata-rata Curah Hujan menurut Bulan dan Tahun

No.	Bulan	2008 (mm)	2009 (mm)	2010 (mm)	2011 (mm)	2012 (mm)	2013 (mm)	Rata-rata (mm)
1.	Januari	212	425	475	350	470	476	401.33
2.	Februari	259	419	453	277	345	447	366.67
3.	Maret	382	313	396	370	271	440	362.00
4.	April	215	291	192	229	235	299	243.50
5.	Mei	81	193	365	281	181	305	234.33
6.	Juni	27	103	154	11	54	188	89.50
7.	Juli	-	5	114	18	7	238	76.40
8.	Agustus	-	-	118	-	3	-	60.50
9.	September	3	5	328	68	3	4	68.50
10.	Oktober	222	96	382	128	127	184	189.83
11.	November	394	311	274	475	362	221	339.50
12.	Desember	142	161	334	404	395	285	286.83

Sumber: Kabupaten Magelang Dalam Angka tahun 2014

Dalam perhitungan dibutuhkan debit lindi maksimal untuk menghindari terjadinya overflow maka digunakan data curah hujan tahunan tertinggi yaitu 3.585 mm/tahun.

Run off

Untuk menentukan koefisien runoff digunakan Tabel 4 sebagai berikut :

Jenis permukaan	koefisien of runoff
Bituminous Streets	0.70 - 0.95
Concrete Streets	0.80 - 0.95
Driveways Walks	0.75 - 0.85
Roofs	0.75 - 0.95
Lawns; Sandy Soil	
Flat, 2%	0.05 - 0.10
Average, 2-7%	0.10 - 0.15
Steep, 7%	0.15 - 0.20
Lawns, Heavy Soil	
Flat, 2%	0.13 - 0.17
Average, 2-7%	0.18 - 0.2
Steep, 7%	0.25 - 0.35

Sumber: Joint Committee of WPCF dan ASCE (1970)

Berdasarkan hasil laboratorium, menyatakan bahwa jenis tanah yang akan digunakan untuk lahan TPA regional Magelang adalah tanah berjenis Heavy Soil dan dengan kemiringan sekitar 2%, maka koefisien runoff yang akan digunakan adalah 0,17.

Storage/Kapasitas Penyimpanan Tanah dan Sampah

Pada TPA regional direncanakan menggunakan tanah penutup clay loam dengan ketinggian 0,5 m dan tinggi sampah 4 m tiap layer dengan asumsi kadar air pada sampah sudah ada (sampah dalam keadaan basah) maka kadar air yang dapat ditampung adalah $(356 \times 0,5) + (224 \times 4) = 178 + 896 = 1074$ mm/tahun.

Evapotranspirasi

Turc, Langbein dan Wundt telah merumuskan besarnya evapotranspirasi dengan mengabaikan storage yang ada. Evapotranspirasi yang dirumuskan adalah rata-rata AET (mean actual evapotranspirasi). Maka :

$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

dimana :

E = rata-rata actual evapotranspirasi tahunan (mm/tahun)

L = evaporasi = $300 + 25 t + 0,05 t^3$
 t = rata-rata temperatur tahunan ($^{\circ}\text{C}$)

jika :

$$\frac{L^2}{P^2} < 0,1, \text{ maka } E = P$$

Dari data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Provinsi Jawa Tengah didapatkan temperatur maksimal Kabupaten Dan Kota Magelang adalah 32°C dan temperetur terendah adalah 20°C dengan rata-rata temperatur 25°C . Maka :

$$E = \frac{3.585}{\sqrt{0,9 + \frac{3.585^2}{(300+25(25)+0,05(25)^3)^2}}}$$

$$E = 1.555,081628\text{mm/tahun}$$

Total Timbulan Lindi

$$C = P(1-R) - S - E$$

$$C = 3585(1-0,17) - 1074 - 1555,08$$

$$C = 3585 - 609,45 - 1074 - 1555,08$$

$$C = 346,47\text{mm/tahun}$$

Timbulan lindi pada TPA regional adalah C x luas area zona TPA :

$$Q = C \times A$$

$$Q = 346,47 \text{ mm/tahun} \times 146300 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,34647 \text{ m/tahun} \times 146300 \text{ m}^2$$

$$Q = 50688,56 \text{ m}^3/\text{tahun} = 0,00161$$

$$\text{m}^3/\text{detik} = 1,61 \text{ l/detik} = 139,104$$

$$\text{m}^3/\text{hari}$$

Kualitas Air Lindi

No	Parameter	Satuan	Magelang (eksisting)	Semarang	Estimasi Influent (Damanhuri)
I. FISIKA					
1.	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	27,7	27,3	27
2.	Residu Terlarut	mg/l	312	479	400
3.	Residu Tersuspensi	mg/l	629	150	500
II. KIMIA ORGANIK					
1.	pH	-	7,54	8,18	6,0
2.	Besi terlarut (Fe)	mg/l	<0,05	<0,05	60
3.	Mangan terlarut (Mn)	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04
4.	Barium (Ba)	mg/l			
5.	Tembaga (Cu)	mg/l	<0,006	<0,006	<0,006
6.	Seng (Zn)	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005
7.	Khrom heksavalen	mg/l	<0,004	<0,004	<0,004
8.	Khrom total (Cr)	mg/l	<0,004	<0,004	<0,004
9.	Kadium (Cd)	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001

10.	Raksa (Hg)	mg/l			<0,1
11.	Timbal (Pb)	mg/l	<0,008	<0,008	<0,008
12.	Timah (Sn)	mg/l			
13.	Arsen (As)	mg/l	<0,025	<0,025	<0,025
14.	Selenium (Se)	mg/l	<0,50	<0,50	<0,50
15.	Nikel (Ni)	mg/l	<0,50	<0,50	<0,50
16.	Kobalt (Co)	mg/l	<0,50	<0,50	<0,50
17.	Sianida (CN)	mg/l	0,000	0,000	0,000
18.	Sulfida (H ₂ S)	mg/l	1,600	0,000	0,000
19.	Flourida (F)	mg/l	0,000	0,000	0,000
20.	Klorin bebas (Cl ₂)	mg/l	0,000	0,000	0,000
21.	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/l	311,14	290,96	200
22.	Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	0,39	0,26	0,25
23.	BOD ₅	mg/l	1362,61	646,83	2000
24.	COD	mg/l	5798,36	2752,46	6000
25.	Kalsium (Ca)	mg/l			1000
26.	Potasium (K)	mg/l			
27.	Magnesium (Mg)	mg/l			250
28.	Sodium (Na)	mg/l			
29.	Phosphate (P)	mg/l			50
30.	Sulphate (SO ₄)	mg/l			
31.	Amonia				200

Desain Kolam Anaerob

Berikut ini adalah kriteria design kolam anaerobik

Source	Optimal Depth [m]	Surface Loading [kg ha.d]	Detention Time [d]	BOD Removal [%]	TSS Removal [%]	Optimal Temperature [C]
Metcalfe & Eddy (1993)	2,5 – 5	225 – 560	20 – 50	50 – 85	20 – 60	30
WHO EMRO Technical Report No. 12 (1987)	2,5 – 5	> 1,000	5	50 – 70	NA	25 – 30
Lagoon Technology International (1992)	2 – 5	> 3,000	1 – 2	75	NA	25
World Bank Technical Paper No. 7 (1983)	4	4,000 – 16,000	2	NA	NA	27 – 30

Volume Kolam

Kolam anaerob dirancang atas dasar beban volumetrik (λ_v , g/m³.d), dimana diberikan persamaan (Ashworth, J dan Skinner, M.2011:57 ; Kayombo *et al.*2005:20) :

$$\lambda_v = L_i Q / V_a$$

Dimana :

L_i = influent BOD (mg/l)

Q = flow rate (m³/day)

V_a = volume anaerobic (m³)

Kisaran beban volumetrik yang dipakai dari adaptasi Metclaf & Edy yang direvisi Tchobanoglous (2003) adalah 22,5-56 g/m³.d, maka:

$$56 \text{ g/m}^3 \cdot \text{d} = \frac{2000 \text{ mg/l} \times 139,104 \text{ m}^3/\text{hari}}{V}$$

$$V_a = 4968 \text{ m}^3$$

Waktu Retensi

Waktu tinggal dapat dicari dengan:

$$t_a = V_a / Q$$

$$t_a = \frac{4993,92 \text{ m}^3}{139,104 \text{ m}^3/\text{hari}} = 35,90 \text{ hari}$$

(sesuai kriteria desain min 20 hari)

BOD Tersisih

Rumusan hubungan antara pengurangan BOD dan temperature oleh Mara, 1997 dirumuskan sebagai berikut :

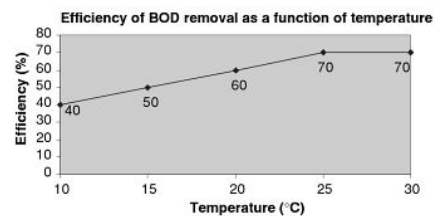
$$E = 2T + 20$$

Dimana :

E = efesiensi penurunan BOD (%), $E = 70\%$ untuk $T > 25$

T = temperature (°C)

Hubungan antara efesiensi pengurangan BOD pada kolam anaerobik dan temperature dapat dilihat pada grafik berikut :



Sumber: Mara, 1997

Maka, konsentrasi effluent BOD adalah :

$$\text{BOD}_{\text{eff}} = (1 - 70/100) \times 2000 \text{ mg/l} = 600 \text{ mg/l}$$

Timbulan lumpur

Untuk menghitung timbulan lumpur pada proses anaerob pada suhu 25° dan kemampuan penyisihan COD 90% menggunakan persamaan sebagai berikut (Wesley.2000:408):

$$\Delta X_v = aS_r - bX_v t$$

Dimana :

ΔX_v = timbulan lumpur (kg/hari)

a = proses parameters, 0,136 mg VSS/mg BOD₅

b = proses parameter, 0,021 mg VSS/(mgVSS.d)
 S_r = total COD tesisih (mg COD/l)
 X_v = volatile suspended solid (VSS/TSS = 0.7 sampai 0.8 mgBOD₅/mgVSS)
t = waktu tinggal kolam (hari)

Sehingga diperoleh nilai timbulan lumpur sebagai berikut :734,4-301,56

$$\Delta X_v = 0,136 \times (90\% \times 6000) - 0,021 \times (500 \times 0,8) \times 35,90 = 432,84 \text{ mg/l.hari}$$

$$\Delta X_v = 432,84 \text{ mg/l} \times 0,1 \text{ million gal/day} \times 8,34 \frac{\text{lb/million gal}}{\text{mg/l}}$$

$$\Delta X_v = 360,988 \text{ lb/hari} = 163,741 \text{ kg/hari}$$

Umur Lumpur

Untuk mengetahui umur lumpur digunakan persamaan (Wesley, 2000:408) :

$$\text{SRT} = \frac{X_v t}{\Delta X_v}$$

Dimana :

SRT = sludge age

X_v = volatile suspended solid (VSS/TSS = 0.7 sampai 0.8 mgBOD₅/mgVSS)

t = waktu tinggal kolam anaerob

ΔX_v = timbulan lumpur

Sehingga umur lumpur (SRT) adalah :

$$\text{SRT} = \frac{400 \times 35,90}{360,988} = 39,77971 \text{ hari} \approx 39,8 \text{ hari (min 20 hari)}$$

Faktor keamanan SRT adalah 1,5 maka nilai SRT adalah 1,5 x 39,8 = 59,7 hari

Desain Kolam Falkutatif

Berikut ini adalah kriteria design kolam falkutatif

Source	Optimal Depth [m]	Surface Loading [kg/ha.d]	Detention Time [d]	BOD Removal [%]	TSS Removal [%]	Optimal Temperature [°C]
Metcalf & Eddy (1993)	1.2 - 2.5	60 - 200	5 - 30	80 - 95	70 - 80	20
WHO EMRO Technical Report No. 10 (1987)	1.5 - 2	200 - 400	NA	80	NA	20 - 30
Lagoon Technology International (1992)	1 - 2	100 - 400	NA	70 - 80	NA	NA
World Bank Technical Paper No. 7 (1983)	1 - 1.8	200 - 600	NA	NA	NA	15 - 30

Volume Kolam

Rumus empirik berdasarkan beban kolam λ_s (kg/ha.d) (Ashworth, J dan Skinner, M.2011: 58 ; Kayombo et al.2005:22 ; Lin, Shundar.2001:673):

$$\lambda_s = 10L_i Q/A_f$$

Dimana :

L_i = influent BOD (mg/l)

Q = debit influent (m³/hari)

A_f = luas area falkutatif (m²)

Design yang diizinkan untuk beban kolam (λ_s) biasanya berdasarkan pada temperatur. Nilai λ_s naik mengikuti naiknya temperatur. Hubungan antara λ_s dan temperature dirumuskan sebagai berikut (Kayombo et al.2005:21) :

$$\lambda_s = 20T - 120$$

sehingga luasan kolam falkutatif dimana kedalaman efektif kolam falkutatif adalah 1,5m adalah

$$20T - 120 = 10L_i Q/A_f$$

$$20 \times 25 - 120 = \frac{400 \text{ mg/l} \times 139,104 \text{ m}^3/\text{hari}}{A_f}$$

$$380 \text{ kg/ha.hari} = \frac{55641,6 \text{ g/hari}}{A_f}$$

$$A_f = 0,1464252632 \text{ ha} = 1464,25 \text{ m}^2$$

Waktu Retensi

Waktu detensi dapat dicari dengan persamaan (Kayombo et al.2005:23) :

$$t_f = A_f D/Q_m$$

Dimana D adalah depth(kedalaman kolam, 1,5 m, nilai kedalaman optimal kolam fakultatif) dan Q_m adalah Q mean, yaitu debit yang telah dikurangi oleh evaporasi dan rembesan, maka :

$$t_f = \frac{2A_f D}{[2Q_i - 0,001A_f e]}$$

$$t_f = \frac{2 \times 32,24 \times 32,24 \times 1,5}{[2 \times 130,104 - 0,001 \times 32,24 \times 32,24 \times 4,17139631]}$$

$$t_f = 12,18675994 \text{ hari} \approx 12,19 \text{ hari (sesuai kriteria desain 5-30 hari)}$$

BOD Tersisih

Total BOD yang keluar adalah jumlah dari *dissolved organic matter* (soluble BOD) dan *suspended organic matter* (particular BOD),

- **Total Soluble BOD**

Total effluent BOD Soluble dapat dicari dengan persamaan (Ashworth, J dan Skinner, M.201:59 ; Kayombo et al.2005:21) :

$$L_e = \frac{L_i}{1 + K_{1T} t_f}$$

Dimana,

L_e = BOD effluent (mg BOD/l)

L_i = BOD influent (mg BOD/l)

T = waktu tinggal

K_{1T} = konstanta tingkat urutan pertama, dimana $K_{1T} = K_{1(20)}(1,05)^{T-20}$, $K_{1(20)} = 0,3$ perhari untuk kolam primer dan 0,1 perhari untuk kolam sekunder, maka :

$$L_e = \frac{400 \text{ mg/l}}{1 + (0,3 \times 1,05^{25-20} \times 12,19)}$$

$$L_e = 70,57957883 \text{ mg/l}$$

- **Total Particulate BOD**

Dengan asumsi proses pada kolam anaerob mampu mengurangi TSS sebesar 60%, sehingga effluent yang diperoleh dari kolam anaerobik adalah 200 mgTSS/l dan mengingat bahwa setiap 1 mgTSS/l, merujuk pada BOD₅ sekitar 0.35 mg/l

(Sperling, 2007). Maka total particular BOD adalah :

$$BOD_{part} = 0,35 \text{ mgBOD/mgTSS} \times 200 \text{ mgTSS/l} = 70 \text{ mgBOD/l}$$

Maka total effluent BOD pada kolam fakultatif = BOD_{sol} + BOD_{part}

$$= 70,57957883 + 70 =$$

140,5796 mg/l

Efisiensi penghilangan BOD pada kolam fakultatif adalah

$$\left(\frac{400 - 140,5796 \text{ mg/l}}{400 \text{ mg/l}} \times 100\% \right) =$$

64,8551% (sesuai kriteria 65-85%)

Desain Kolam Aerasi

Volume

Kolam aerasi yang akan direncanakan adalah complete-mix aerated lagoons dengan menggunakan vertical shaft slow speed floating aerator (aerasi mekanik).Kelebihan menggunakan aerasi secara mekanik antara lain:

- Lebih Efektif dalam penurunan BOD (80-90%)
- Oksigen yang ditambahkan dapat diatur
- Mudah dalam maintenance karena terlihat secara langsung

Kriteria desain kolam aerasi paling utama adalah kriteria waktu tinggal. Berikut ini adalah kriteria utama kolam aerasi:

Kriteria	Waktu tinggal	Kedalaman kolam	BOD removed
Sperling (2007)	2-4 hari	2,5-4 m	-
Beychock (1971)	1-10 hari	1,5-5 m	80-90%
Arthur, J.P. (1983)	2-4 hari	2-5 m	70-90%
Metcalf & Edy (2003)	Max 5 hari	1,2-2 m	80-95%

Dengan persamma empiric diperoleh volume dan luas kolam :

- **Volume Kolam**

$$V = t \cdot Q$$

$$V = 4 \text{ hari} \times 139,104 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$V = 556,416 \text{ m}^3$$

• **Luas Kolam**

$$A = \frac{V}{h} = \frac{556,416 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}} = 370,944 \text{ m}^2$$

BOD Tersisih

Total BOD yang keluar dari kolam aerasi adalah jumlah dari *dissolved organic matter* (soluble BOD) dan *suspended organic matter* (particular BOD), sehingga :

$$BOD_{tot} = BOD_{sol} + BOD_{part}$$

• **Total Soluble BOD**

Total Soluble BOD adalah (Sperling,2007:60) :

$$BOD_5; S = \frac{S_0}{1 + K' \cdot t}$$

Dimana :

S = total BOD effluent

S₀ = total BOD influent

K' = BOD removal koefisien.

Nilai K' = K₂₀ 1,036^(T-20) dimana nilai K₂₀ = 1,087 untuk complete mix dan 0,12 untuk partial mix

t = waktu tinggal kolam aerasi dengan mengasumsikan nilai K' adalah 0.018 (mg/l)⁻¹(d)⁻¹ suhu 25°C (dengan meresponden bahwa K' untuk suhu 20°C adalah 0.015(mg/l)⁻¹(d)⁻¹) sehingga soluble BOD adalah :

$$S = \frac{140,5796 \text{ mg/l}}{1 + 1,087 (1,036^{(25-20)}) \times 4 \text{ hari}}$$

$$S = 22,71422528 \text{ mg/l}$$

• **Total Particular BOD**

Sperling menyatakan untuk mengestimasi effluent dari particulate BOD dapat dilihat berdasarkan hubungan dengan VSS atau TSS, yaitu :

BOD_{part} = 0,4 sampai 0,8 mgBOD₅/mgVSS

atau,

BOD_{part} = 0,3 sampai 0,6 mgBOD₅/mgSS

Maka effluent particulate BOD dengan asumsi kolam fakutatif dapat mengurangi TSS sebesar 80% adalah :

$$BOD_{part} = 0,4 \text{ mgBOD}_5/\text{mgVSS} \times 40 \text{ mgVSS/l}$$

$$BOD_{part} = 16 \text{ mg/l}$$

Atau

$$BOD_{part} = 0,3 \text{ mgBOD}_5/\text{mgs} \times 50,32 \text{ mgSS/l}$$

$$BOD_{part} = 15,096 \text{ mg/l}$$

Untuk mengantisipasi kinerja kolam yang kurang maksimal maka dipakai BOD_{part} terbesar yaitu 16 mg/l

Total effluent pada kolam aerasi adalah 22,71422528 mg/l + 16 mg/l = 38,71 mg/l

Efisiensi penurunan BOD pada kolam aerasi adalah :

$$E = \frac{140,5796 \text{ mg/l} - 38,71 \text{ mg/l}}{140,5796 \text{ mg/l}} \times 100\% = 72,46399904\% \text{ (memenuhi kriteria 70-90\%)}$$

Kebutuhan Oksigen

Kebutuhan oksigen (a) berkisar antara 1.1 sampai 1.4 dari BOD yang dapat dikurangi (BOD_{rem}) (Sperling,2007:63), untuk itu diambil nilai tengahnya yaitu 1,2 kgO₂/kgBOD_{rem}.

$$RO = a \cdot Q \cdot (S_0 - S)$$

=

$$\frac{1,2 \text{ kgO}_2/\text{kgBOD}_{rem} \times 140,5796 \text{ m}^3/\text{hari} \times (140,5796 \text{ mg/l} - 38,71 \text{ mg/l})}{1000 \text{ g/kg}}$$

$$RO = 17.18494514 \text{ kgO}_2/\text{hari} = 0.716039381 \text{ kgO}_2/\text{jam}$$

Kebutuhan Energi

Pada keadaan normal efektifitas oksigenasi (OE berada diantara 1,2 sampai 2,0 kgO₂/kWh tetapi pada kenyataan dilapangan efisiensi oksigenasi cuma berkerja sekitar 60%, oleh karean itu efektifitas oksigenasi yang diasumsikan adalah 1,2 kgO₂/kWh, sehingga energy yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan (Sperling,2007:65) :

$$P = \frac{RO}{OE} = \frac{0.716039381 \text{ kgO}_2/\text{h}}{1,2 \text{ kgO}_2/\text{kWh}} = 0,669179$$

$$\text{kW} = 0,897383821 \text{ hp}$$

Desain Karbon Aktif

Jenis karbon aktif yang akan digunakan adalah Granular Activatrd Carbon (GAC), berikut ini adalah kriteria desain dan spesifikasi GAC menurut Metcalf & Edy (2003) :

Tabel 5.4. Kriteia desain dan spesifikasi

Parameter	Symbol	Unit	Value
Volumetric flowrate	V	m ³ /h	50-400
Bed Volume	V _b	m ³	10-50
Cross-sectional area	A _b	m ²	5-30
Length	D	m	1.8-4
Void fraction	α	m ³ /m ³	0.38-0.42
GAC density	ρ	kg/m ³	350-550
Approach velocity	V _f	m/h	5-15
Effective contact time	t	min	2-10
Empty bed contact time	EBCT	min	5-30
Operation time	t	d	100-600
Troughput volume	V _t	m ³	10-100
Specific throughtput	V _{sp}	m ³ /kg	50-200
Bed volumes	BV	m ³ /m ³	2000-20000
Total surface area		m ² /g	700-1300 ^o
Bulk density		kg/m ³	400-440 ^o
Particle density, wetted in water		kg/L	1.3-1.5 ^o
Effective size		mm	0.8-0.9 ^o
Uniformity coefficient		UC	≤ 1.9
Mean particle diameter		mm	1.5-1.7
Iodine number		-	850 min
Abrasion number		%	70 min
Ash		%	8 max
Moisture		%	4-6 max

Direncanakan GAC yang digunakan berasal dari “*Traget Product Ltd.*” Kelebihan GAC yang diproduksi adalah :

- Efektifitas dan pemurnian yang tinggi
- Efetikfitas regenerasi yang tinggi
- Mudah basah
- Diproduksi di bawah ISO 9002 sistem Quality Assurance.

Berikut ini adalah spesifikasi dari GAC yang akan digunakan :

Grade	GAC-L 4 x 8, 8 x 30, 12 x 40 & 20 x 50 Colour
Black Bulk Density	Approximately 28 lb/ft ³ (450 kg/m ³). Varies w/particle size.
Hardness (Abrasion No.)	95 – 99 (ASTM D3802)
Mesh Size (U.S. Sieve)	5% maximum on upper screen
	5% maximum through lower screen
Apparent Density, g/cc	0.44 – 0.50
Apparent Density, lb/ft ³	27.5 – 30
Moisture	2 – 3% maximum, as packed
pH	7 ± (ASTMD3838)
Ash	6% (ASTM D2866)
Surface Area	900 – 1100 m ² /g (BET N)
Pore Volume	1.11 ml/g
Iodine Number	>1000 mg/g (ASTM D4607)
Methylene Blue	260 mg/g (CEFCIC 2.4)
Phenol	5.7% (DIN 19603)
Dechlorination Half Length	2.9 cm (DIN 19603)
Molasses No.	200 minimum

Sumber : *Spesifikasi GAC Target Products*

Ldt.

Massa GAC

Direncanakan empty bed contact time (EBCT) = 30 menit (5-30 menit)

$\rho_{GAC} = 440 \text{ g/l}$ (spesifikasi GAC)

Massa GAC pada bed adalah =

$$V_b \cdot \rho_{GAC} = EBCT \times Q \times \rho_{GAC} = 30 \text{ menit} \times 96,6 \text{ l/menit} \times 440 \text{ g/l} = 1.275.120 \text{ g}$$

Bed Volume

$$EBCT = \frac{V_b}{Q}$$

$$30 \text{ menit} = \frac{V_b}{0,0966 \text{ m}^3/\text{menit}}$$

$$V_b = 2,898 \text{ m}^3$$

Dimensi Reaktor Karbon Aktif

Direncanakan kecepatan aliran (m/jam) adalah 5 m/jam (kriteria 5-20 m/jam)

$$\text{Linear Velocity (m/h)} = \frac{\text{Flowrate (m}^3/\text{jam)}}{\text{Surfacearea (m}^2\text{)}}$$

$$5 \text{ m/jam} = \frac{5,796 \text{ m}^3/\text{jam}}{\text{Surfacearea}}$$

$$\text{Surfacearea} = 1,1592 \text{ m}^2$$

$$\text{Area} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d \text{ (diameter)} = 121,49 \text{ m}$$

$$2,898 \text{ m}^3 = 1,16 \text{ m}^2 \times \text{tinggi}$$

$$\text{Tinggi} = 2,5 \text{ m}$$

Carbon Use Rate (CUR)

Carbon user rate (CUR), $\frac{m_{GAC}}{Qt} =$

$$\frac{C_o}{q_e} = \frac{C_o}{K_f C_o^{1/n}}$$

Dimana :

K_f Freundlich capacity factor
 = 1,3 (mg/g) (L/mg)^{1/n} untuk methylene blue (Metcalf & Edy Table 11-32)

1/n , Freundlich intensity parameter
 = 1,16 untuk methylene blue (Metcalf & Edy Table 11-32)

C_o = COD influent

maka,

$$CUR = \frac{180\text{mg/l}}{1,3(\text{mg/g}) (\text{L/mg})^{1,16} \times 180\text{mg/l}^{1,16}} = 0,14894657761\text{g GAC/l}$$

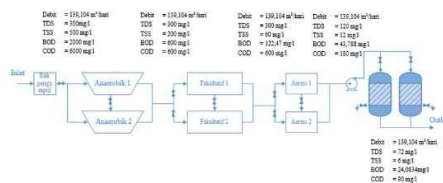
Volume limbah yang diolah

$$\text{Volume of water treated} = \frac{\text{massa GAC}}{CUR} = \frac{1.275.120}{0,14894657761} = 6075950,28044 \text{ liter}$$

Umur GAC

$$\text{Umur GAC} = \frac{\text{volume of water treated}}{Q} = \frac{6075950,28044 \text{ liter}}{139104 \text{ l/hari}} = 43,68 \text{ hari}$$

Diagram Alir pengolahan lindi TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang



Gambar 1 Skema Pengolahan Lindi TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang

KESIMPULAN

1. Debit yang dihasilkan dari TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang adalah 139,104 m³/hari dengan konsentrasi BOD

= 1362,61 ; COD = 5798,36 ; TSS = 629 dan TDS = 312.

2. Unit pengolahan air lindi TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang adalah Kolam Anaerob, Kolam Fakultatif, Kolam Aerasi dan Reaktor Karbon Aktif.
3. Desain unit pengolahan lindi TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang adalah :
- 4.

Unit	Jumlah kolam	Volume	Waktu tinggal
Anaerob	2	4968 m ³	35,90 hari
Fakultatif	2	2198m ³	12,18 hari
Aerasi	2	556,42 m ³	4 hari
Karbon aktif	2	2,8981 m ³	30 menit

5. Biaya yang dibutuhkan untuk membangun Instalasi Pengolahan Lindi di TPA Regional Kabupaten dan Kota Magelang adalah **4.222.365.499,40**rupiah.

SARAN

1. Sebaiknya dilakukan pengukuran curah hujan secara langsung yang terpusat pada lokasi TPA regional sehingga didapat debit yang lebih akurat.
2. Perawatan dan pemeliharaan direkomendasikan dilakukan secara teratur dan berskala sehingga unit pengolahan tidak cepat rusak dan berfungsi secara maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Ashworth, J dan Skiner, M.2011. *Waste Stabilization Ponds Design Manual*.
 Awuah, E., 2006. *Pathogen Removal Mechanisms in Macrophyte and Algal Waste Stabilization Ponds*. Taylor and Francis/Balkema: Leiden-The Netherlands.

- Crites, R.W., Middlebrooks, J. and Reed. S.W., 2006. *Natural Wastewater Treatment Systems*. Francis and Taylor: Boca Raton-USA
- Damanhuri, Enri. 1996. *Teknik Pembuangan Akhir*. Bandung: Jurusan Teknik Lingkungan ITB.
- Darmasetiawan, Martin. 2004. *Perencanaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA)*. Jakarta: Ekamitra Engineering.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya, Dinas Pekerjaan Umum. 2013. *Pedoman Penyusunan RPIJM (Rencana Program Investasi Jangka Menengah)*. Jakarta.
- Kayombo et. all. 2005. *Waste Stabilization Pond And Contruction Wetland Design Manual*. WSP & CW Research Project Prospective College of Engineering and Technology of Dar es Salaam.
- K.-U. Heyer and R. Stegmann. 2005. *Leachate management: leachate generation, collection, treatment and costs*. Jerman : *Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft* (Kantor Pengolahan Sampah).
- Lin, Shundar. 2001. *Water And Wastewater Calculation Manual*. Mc Graw-Hill Book Companies.
- Metcalf And Eddy. 1991. *Wastewater Engineering : Treatmen, Disposal, Reuse third Edition*. New York: Mc Graw-Hill Book Companies.
- Mulyono, Sri. 2002. *Riset Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbita Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Nayono, S.E. 2010. *Metode Pengolahan Air Limbah Alternatif Untuk Negara Berkembang*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Dan Perencanaan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Qasim, S.R. 1985. *Wastewater Treatment Plant: Palnning, Desingn and Operator*. Rineheart and Winston: Holt.
- Pena-Varon, M. and Mara, D., 2004. *Waste Stabilization Ponds*. IRC: Delft- The Netherlands.
- Pescod, M.B., 1992. *Wastewater Treatment and Use in Agriculture: FAO Irrigation and Drainage Paper 47*. Rome: FAO .
- Polprasert, C., 1996. *Organic Waste Recycling, 2nd ed*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Polprasert, C., Van der Steen, N.P., Veenstra, S., and Gijzen, H.J., 2001. *Wastewater Treatment II: Natural System for Wastewater Management*. Delft: International Institute for Infrastructure, Hydraulics and Environmental Engineering (IHE Delft).
- Sperling, Marcos von. 2007. *Biological Wastewater Treatment Series Volume Three – Waste Stabilization Ponds*. Brasil. Department Of Sanitary And Environmental Engineering Federal University Of Minas Geruis.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Tchobanoglous, G And F.L Burton. 1991. *Wastewater Enginerring: Treatment Disposal, Reuse third Edition*. New York: Mc Graw-Hill Companies. New York: Mc Graw-Hill Inc.
- Tchobanoglous. 1993. *Integrated Solid Waste Management Enginerring Principles and*



- Management Issues*. New York: Mc Graw-Hill Inc.
- Veenstra, S., 2000. *Wastewater Treatment. Delft: Institute for Infrastructure, Hydraulics and Environmental Engineering (IHE Delft)*.
- Vesilind *et. all.* 2002. *Solid Waste Engineering*. Amerika: Thomson Learning Inc.
- W. Wesley Eckenfelder, Jr.2000. *Industrial Water Pollution Control, third Edition*. Mc Graw - Hill Book Company.